



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA
Área Departamental de Engenharia de Sistemas de Potência e Automação



Desenvolvimento do sistema de protecção, monitorização e gestão de baterias de iões de lítio do tipo LiFePO_4 para aplicação em veículos eléctricos.

Celso Miguel de Carvalho Menaia
(Licenciado)

Dissertação de Mestrado para obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Electrotécnica, ramo de Energia.

Orientadores:

Professor Doutor José Carlos Lourenço Quadrado
Professor Doutor Acácio Galhardo Baptista

Júri:

Presidente: Professor Doutor Jorge Alberto Mendes de Sousa
Vogais:

Professor Doutor José Carlos Lourenço Quadrado
Professor Doutor Acácio Galhardo Baptista
Professor Doutor Paulo José Gameiro Pereirinha
Professor Manuel Lopes Ferreira

Março de 2013

RESUMO

A mobilidade é considerada um dos factores chave na sustentabilidade e desenvolvimento de qualquer economia. Em Portugal essa realidade não é diferente. Em 2011 verifica-se que 41% do consumo global de combustíveis pertence ao sector rodoviário [1] o que evidencia a sua relevância na economia do país.

No que concerne aos veículos de tracção eléctrica, começaram a surgir nos finais do séc. XIX, e no início do séc. XX nos Estados Unidos da América representavam 38% dos veículos [2]. Diversos factores económicos e tecnológicos conduziram a um crescente desinteresse por parte da indústria em investir na produção deste tipo de veículos. Contudo com a introdução de baterias de iões de lítio em veículos de tracção eléctrica, torna-os viáveis e competitivos.

Neste trabalho é proposto o desenvolvimento de um sistema de gestão de baterias de iões de lítio do tipo LiFePO_4 para aplicação em veículos eléctricos. O sistema deverá assegurar a protecção das baterias e indicar o estado de carga das mesmas. Este sistema permitirá uma optimização no uso deste género de baterias, proporcionará uma melhor utilização, aumentando a sua vida útil.

O sistema irá ser aplicado e testado experimentalmente no veículo eléctrico ecológico (Veeco).

No âmbito do projecto Veeco foi projectado e construído um banco de ensaios utilizado na análise do comportamento das baterias, e determinar quais os requisitos necessários para o sistema de gestão desenvolvido.

Foi também projectado e realizado um sistema de aquisição e processamento de dados que permite obter informações acerca da bateria, dados que estarão disponíveis no interface Homem-máquina do Veeco.

PALAVRAS-CHAVE

Baterias de iões de lítio; LiFePO_4 ; Veeco; BMS; Veículo eléctrico.

ABSTRACT

Mobility is considered a key factor in sustainability and development of any economy. In Portugal this reality is no different. In 2011 the transport sector accounted for 41% of energy consumption, of the global fuel consumption in Portugal [1] this evidence the importance in the country's economy.

At the end of the nineteenth century began to surface traction power and the beginning of the century XX had wide acceptance in the United States of America 38% of the vehicles [2]. However several factors, economic and technological, led to a growing disinterest on the part of industry to invest in the production of such vehicles, however with the introduction of lithium ion batteries for electric traction vehicles, begins to exceed the threshold is viability and competitiveness.

This paper proposes the development of a management system for lithium ion batteries like LiFePO_4 for application in electric vehicles. The system shall also ensure the protection of batteries, and indicate the charge status of the same, this system allows an optimum use of the batteries, it is thus possible to make better use of the batteries and increasing their useful life.

The system will be applied and tested in practice in the ecological electric vehicle (Veeco).

Within the project Veeco was built a test bench with batteries and equipment that was used to analyze the behavior of the batteries, and understand what the requirements for the system to be developed.

It will be necessary to design a system for acquiring and processing data from which to obtain information about the battery, data about the operation of the battery will be available in human-machine interface of Veeco.

KEYWORDS

Li-ion battery; LiFePO_4 ; Veeco; BMS; electric vehicle.

AGRADECIMENTOS

Aos meus amigos e colegas Engenheiro Paulo Almeida e Mestre Nuno Rodeia, por toda a colaboração diária e partilha de conhecimentos.

A Jack Rickard por todas as análises e testes efectuados a baterias de iões de lítio, pela partilha de vídeos semanais de forma gratuita, assim como pela organização do evento EVCCON (Electric Vehicle Conversion Convention). Ao Doutor Dennis Doerffel pelo tempo disponibilizado e pela apresentação do seu trabalho acerca de baterias de lítio.

A John Hardy por ter facultado os dados dos seus ensaios e análises a baterias de LiFePO_4 .

À VE – Fabricação de Veículos de Tracção Eléctrica e ao seu administrador, Sr. João Oliveira, pela liderança do projecto Veeco, empreendedorismo, partilha de conhecimento e disponibilidade, quer em termos técnicos como financeiros, e ainda pela cedência do material para a montagem do banco de ensaios de baterias no laboratório de máquinas eléctricas do Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL). A toda a equipa do projecto Veeco pela entre ajuda e amizade.

Ao Sr. Carlos Lucas todo o apoio na montagem do banco de ensaios.

Em especial à minha namorada Sandra por toda a dedicação e compreensão.

Por fim à minha família por todo o suporte e apoio ao longo deste processo.

ABREVIATURAS

ADI – Agência de Inovação
BMS – Battery Management System
CAN – Controller Area Network
CCS – PowerLab Charge Control Software
CC – Corrente contínua
CE – Conformidade Europeia
DOD – Depth of Discharge
IEEE – Institute of Electrical and Electronics Engineers
IM – Motor de Indução
IP – Índice de Protecção
ISO – Organização Internacional de Normalização
IHM – Interface homem máquina
LCO – Baterias de iões de lítio do tipo, Lítio óxido de cobalto (LiCoO_2)
LFP – baterias de iões de lítio do tipo, Lítio ferro fosfato (LiFePO_4)
LMO – baterias de iões de lítio do tipo, Lítio óxido de manganês (LiMn_2O_4)
MISO – SPI Master input – Slave output
MOSI – SPI Master output – Slave input
Ni-MH – Níquel-hidreto metálico
OEM – Original Equipment Manufacturer
QREN – Quadro de Referência Estratégico Nacional
USB – Universal Serial Interface
SI – Sistema Internacional de Unidades
SCLK – SPI Clock signal
SPI – Serial Peripheral Interface bus
SS – SPI Slave select
SOC – State of Charge
Veeco – Veículo Eléctrico Ecológico

LISTA DE PROGRAMAS UTILIZADOS

Arduino uno
LabView
NI Multisim TM 11.0
NI Ultiboard TM 11.0

Revolectix PowerLab Charge Control Software (CCS)
Texas Instruments Inc. bq76PL536 Evaluation
West Mountain Radio CBA III

CONVENÇÕES

Na presente dissertação as referências bibliográficas são efectuadas de acordo com a norma portuguesa, NP 405 onde as citações são realizadas entre parênteses rectos com o número respectivo atribuído na bibliografia.

As referências realizadas ao longo do texto são listadas segundo a primeira invocação no texto.

É considerada a utilização de abreviaturas de acordo com NP 139 e são utilizadas palavras e termos utilizados nas referências bibliográficas de acordo com a NP 3680.

Existem no entanto algumas designações que se encontram em Inglês pelo facto da Norma ISO 8713:2005 (*Electric road vehicles – vocabulary*) ainda não ter sido traduzida para Português. Por conseguinte, nesta dissertação diversas terminologias directamente ligadas ao veículo eléctrico e as respectivas abreviaturas vêm mencionadas em Inglês.

ÍNDICE

1 – Introdução.....	1
1.1– Objectivos da dissertação	4
1.2 – Motivação do trabalho	5
1.3 – Enquadramento do trabalho.....	6
1.4 – Estrutura da tese.....	7
1.5 – Ferramentas de <i>software</i>	7
1.6 – Pressupostos de conformidade do sistema de protecção, monitorização e gestão de baterias.....	8
1.6.1 – Conformidade de legislação e segurança	8
1.6.2 – Conformidade no sistema de tracção	9
1.6.3 – Conformidade no interface Homem-Máquina	9
2 – Baterias para veículos eléctricos	15
2.1– Baterias de chumbo ácido.....	15
2.2– Baterias de níquel-hidreto metálico.....	15
2.3– Baterias de iões de lítio.....	16
2.3.1 – Baterias de iões de lítio do tipo LCO (LiCoO ₂).....	18
2.3.2 – Baterias de iões de lítio do tipo LFP (LiFePO ₄).....	19
2.3.3 – Baterias de iões de lítio do tipo LMO (LiMn ₂ O ₄).....	20
2.4– Análise do estado da tecnologia de baterias	20
2.5– Sistemas para protecção, monitorização e gestão de baterias	21
2.6– <i>Hardware</i> para implementação do sistema de protecção, monitorização e gestão de baterias.....	21
2.6.1 – Microcontroladores	21
2.6.2 – Sistema para medição de correntes e tensões.....	23

2.7– Outros conhecimentos adquiridos	26
2.8 – Conclusões	27
3– Análise ao comportamento de baterias de iões de lítio	31
3.1 – Análises e ensaios de baterias 18650	33
3.2 – Análises e ensaios de bateria de 40Ah	34
3.3 – Análises dos resultados dos testes a baterias de 10Ah	39
3.4 – Análises e ensaios de baterias de 100Ah, ensaios termográficos.....	41
3.5 – Análises e ensaios iniciais de baterias	43
3.5.1 – Análise e ensaios para verificação de taxa de auto-descarga.....	43
3.5.2 – Análise e ensaios à capacidade das baterias.....	46
3.6 – Análises e ensaios de baterias em banco de ensaios	49
3.6.1 – Balanceamento	51
3.7 – Vida útil das baterias de iões de lítio tipo LFP	56
3.8 – Limites de operação	57
3.9 – Conclusões	58
4 – Sistema de protecção, monitorização e gestão de baterias de iões de lítio do tipo LFP	61
4.1– Bateria	61
4.1.1 – Especificação do Veeco, requisitos para a bateria	61
4.1.2 – Especificações das células e instalação das baterias no Veeco.....	62
4.2– Sistema para protecção, monitorização e gestão	64
4.2.1 – Comunicação.....	67
4.2.2 – Módulo de isolamento.....	68
4.2.3 – Módulo de monitorização e protecção	69
4.2.4 – Módulo de controlo.....	71
4.3– Sistema de gestão	72
4.4– Conclusões	74
5 – Conclusões	77

5.1 – Objectivos alcançados e conclusões inovadoras	77
5.2 – Perspectivas de desenvolvimento futuro	78
Referências Bibliográficas	81
Anexo 1 – Dados do fabricante de baterias ThunderSky	87
Anexo 2 – Características das baterias formato 18650 da Panasonic	95
Anexo 3 – Programação do microcontrolador Atmega328.....	97
Anexo 4 – Resultados de testes efectuados em banco de baterias do fabricante Headway, do tipo LFP de 10Ah	103
Anexo 5 – Características de baterias de vários fabricantes	149
Anexo 6 – Tabela de ensaios do motor 18kw	151
Anexo II – Referências Normativas	155
Anexo III – Relatório projecto Veeco	159

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 – Veículo eléctrico EV1 da <i>General Motors</i> [3].....	3
Figura 1.2 – tzero, com baterias de chumbo [4].....	3
Figura 1.3 – Teste do tzero com baterias de lítio [4].....	4
Figura 1.4 – Veículo convertido para tracção eléctrica pelo autor	5
Figura 1.5 – Protótipo do ante-projecto VE-P0.....	6
Figura 1.6 – Exemplo de ligação CAN [7].....	10
Figura 1.7 – IMH do Veeco	11
Figura 1.8 – IMH do Veeco, menu bateria.....	11
Figura 2.1 – Bateria Ni-MH EV95, fabricada pela Panasonic para GM, Toyota e Honda [10] ...	15
Figura 2.2 – Evolução da tecnologia das baterias 18650 da Panasonic	18
Figura 2.3 – Células 18650 da Panasonic para Tesla Motors	19
Figura 2.4 – Microcontrolador MSP430, plataforma de desenvolvimento LaunchPad, Texas Instruments [33]	21
Figura 2.5 – Microcontrolador ATMega328, plataforma de desenvolvimento Arduino UNO, Atmel [34]	21
Figura 2.6 – Microcontrolador ATMega2560, plataforma de desenvolvimento Arduino MEGA, Atmel [34]	22
Figura 2.7 – Microcontrolador, plataforma de desenvolvimento chipKIT, Microchip [35]	22
Figura 2.8 – Microcontrolador MSP430, plataforma de desenvolvimento MSP-TS430PN80USB, Texas Instruments [33]	22
Figura 2.9 – Sensor de efeito de Hall	23

Figura 2.10 – Resistência calibrada	24
Figura 2.11 – INA220B-Q1, para aquisição da corrente, tensão e potência	24
Figura 2.12 – Circuito integrado bq76PL536 para monitorização até 192 baterias, 6 por circuito integrado.....	25
Figura 2.13 – Circuito integrado ISL78600, monitorização até 12 baterias por circuito integrado.....	25
Figura 3.1 – Aspecto interior de uma célula de LFP de 100Ah de capacidade	31
Figura 3.2 – Comparação entre a tensão de descarga a 1C.....	33
Figura 3.3 – Energia libertada quando a fuga térmica ocorre [40]	34
Figura 3.4 – Características do fabricante, da CALB de 40Ah.....	35
Figura 3.5 – West Mountain CBA III	35
Figura 3.6 – Teste de descarga, bateria CALB 40Ah e CBA III	36
Figura 3.7 – Teste de carga, bateria da CALB de 40 Ah (LFP).....	36
Figura 3.8 – Painel frontal do programa em LabView	37
Figura 3.9 – Diagrama de blocos do programa em LabView	37
Figura 3.10 – Teste de descarga a 0,6C(A) (25A)	38
Figura 3.11 – Baterias de LFP, da ThunderSky de 160 Ah, referência TS-LFP160AHA.....	38
Figura 3.12 – Variância de tensões (mV)	39
Figura 3.13 – Banco de baterias em teste.....	40
Figura 3.14 – Ensaio do kart com baterias de 100Ah da ThunderSky.....	42
Figura 3.15 – Kart antes e depois da instalação do MiniBMS.....	43
Figura 3.16 – Painel frontal do programa.....	49
Figura 3.17 – Diagrama de blocos do programa.....	50
Figura 3.18 – Vista geral do banco de ensaios.....	51

Figura 3.19 – Balanceamento por cima [41]	52
Figura 3.20 – Esquema simplificado para balanceamento por cima [45]	52
Figura 3.21 – Dispositivos utilizados para efectuar o balanceamento no banco de ensaios	52
Figura 3.22 – Exemplo de teste de descarga com o banco de baterias balanceado por cima	54
Figura 3.23 – Balanceamento por baixo [41]	54
Figura 3.24 – Exemplo de teste de descarga com o banco de baterias balanceado por baixo	55
Figura 4.1 – Chapa de carcterísticas do motor que equipa o Veeco	62
Figura 4.2 – Baterias na fábrica, antes do envio para Portugal	62
Figura 4.3 – BMS recomendado pelo fabricante.....	63
Figura 4.4 – Baterias e BMS instalados no Veeco, pormenor da unidade central do BMS.....	63
Figura 4.5 – Esquema simplificado BMS	64
Figura 4.6 – Implementação do BMS para desenvolvimento	65
Figura 4.7 – Painel frontal do programa.....	66
Figura 4.8 – Diagrama de blocos do programa	66
Figura 4.9 – Ligações interface SPI [51].....	67
Figura 4.10 – Módulo de isolamento	68
Figura 4.11 – Módulo de monitorização e protecção, placa baixo	69
Figura 4.12 – Módulo de monitorização e protecção, placa central	70
Figura 4.13 – Módulo de monitorização e protecção, placa topo	70
Figura 4.14 – Módulo de monitorização e protecção, esquema e vista 3D.....	71
Figura 4.15 – Módulo de comunicação	72
Figura 4.16 – Esquema simplificado do sistema de monitorização, protecção e gestão.....	73
Figura I.1 – Folha de características da bateria TS-LFP160AHA, ano 2007.....	91

Figura I.2 – Folha de características da bateria TS-LFP160AHA, ano 2007 (continuação)	92
Figura I.3 – Folha de características da bateria TS-LFP160AHA, ano 2010	93
Figura I.4 – Folha de características da bateria TS-LFP160AHA, ano 2010 (continuação)	94
Figura I.5 – Folha de características da bateria Panasonic 18650	95
Figura I.6 – Características da bateria de 60Ah, à esquerda do ano 2011, à direita de 2007	149
Figura I.7 – Características da bateria de 200Ah, à esquerda do ano 2011, à direita de 2007 ...	150

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1.1 – Normas de referência na mobilidade eléctrica automóvel	9
Tabela 2.1 — Comparação dos diferentes tipos de baterias [13].....	16
Tabela 2.2 – Tabela de comparação por fabricante de baterias de lítio e íões de lítio.....	17
Tabela 2.3 – Evolução das baterias prismáticas LFP	19
Tabela 2.4 – Métodos para medição de corrente [36]	23
Tabela 3.1 – Especificações do fabricante de baterias LFP	32
Tabela 3.2 – Verificação da taxa de auto-descarga – 22 meses	44
Tabela 3.3 – Verificação da taxa de auto-descarga – 26 meses	45
Tabela 3.4 – Verificação da taxa de auto-descarga – 30 meses	45
Tabela 3.5 – Resultados dos ensaios de capacidade.....	46
Tabela 3.6 – Parametros de funcionamento do módulo de balanceamento [32].....	53
Tabela 3.7 – Resumo dos ensaios de descarga.....	56
Tabela 4.1 – Resumo da Tabela I.13	62
Tabela I.1 – Dados do fabricante	87
Tabela I.2 – Características do microcontrolador ATmega328	97
Tabela I.3 – Dados de carga e descarga, ciclo 50	103
Tabela I.4 – Dados de carga e descarga, ciclo 100	107
Tabela I.5 – Dados de carga e descarga, ciclo 150	111
Tabela I.6 – Dados de carga e descarga, ciclo 200	115
Tabela I.7 – Dados de carga e descarga, ciclo 250	119
Tabela I.8 – Dados de carga e descarga, ciclo 300	123

Tabela I.9 – Dados de carga e descarga, ciclo 350	128
Tabela I.10 – Dados de carga e descarga, ciclo 400	132
Tabela I.11 – Dados de carga e descarga, ciclo 450	137
Tabela I.12 – Dados de carga e descarga, ciclo 500	142
Tabela I.13 – Ensaio do fabricante Best Motors relativos ao motor de 18 kW.....	151

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

Resumo

Neste capítulo é apresentada uma nota introdutória sobre o desenvolvimento das baterias ao longo do tempo e sua aplicação em veículos eléctricos. São descritos os objectivos e motivações da presente tese, o modo como está estruturada e o seu enquadramento no âmbito do projecto Veeco.

1 – INTRODUÇÃO

Na história da evolução das baterias, nomeadamente para utilização em veículos eléctricos, há que referir alguns marcos importantes. Em 1902, Edison, introduz a bateria tipo E, uma bateria alcalina de Níquel – Ferro, com algumas melhorias em relação às baterias de chumbo então existentes e aplicadas em veículos eléctricos. Mais tarde, em 1909, apresenta a segunda geração de baterias, a bateria tipo A, uma versão melhorada da anterior [2].

Em 1967, Neil Weber e Joseph T. Kummer, investigadores da Ford, desenvolvem um novo tipo de bateria, a bateria de Sódio e Enxofre, com eléctrodos líquidos e electrólito sólido, com uma temperatura de funcionamento de cerca de 300°C [2].

As primeiras baterias primárias de lítio derivam da necessidade de criar baterias mais compactas para os primeiros relógios digitais que surgem no Japão em 1970 [2].

Em 1976, Michael Stanley Whittingham, investigador da Exxon, publica um artigo na “Science” acerca da bateria de lítio recarregável (LiTiS_2), e consequentemente produz-se a primeira bateria de lítio recarregável que teve grande aplicação em relógios que funcionavam com energia solar da companhia Suíça Ebauches (agora parte do grupo Swatch) [2].

Mais tarde, em 1979, a Exxon avança para o negócio dos veículos eléctricos com a aquisição da Reliance Electric, um fabricante de motores eléctricos. Nesse mesmo ano a empresa desenvolveu um controlador electrónico para motores de indução, em conjunto com as suas baterias de lítio, com objectivo de introduzir o conceito de veículo eléctrico. Em Outubro desse ano surgem os primeiros veículos eléctricos com baterias avançadas: a Exxon com um protótipo de um veículo híbrido, um Chrysler Cordoba convertido, e a General Motors com um Chevette, denominado por Electrovette, com uma bateria de Óxido de Zinco-Níquel e autonomia de 160 km (para uma velocidade inferior a 80km/h) [2].

Apesar de todos os avanços tecnológicos nas baterias de lítio, com a recessão de 1979-1980 toda a investigação foi suspensa.

No início da década de 80, John Bannister Goodenough, publica um artigo acerca de um novo material para cátodo de baterias de iões de lítio, o óxido de cobalto [2]. Simultaneamente no Japão, com a introdução progressiva de dispositivos electrónicos portáteis, entre eles o revolucionário “Walkman” da Sony, deparou-se com o problema de acumulação excessiva de baterias alcalinas nos aterros, tornando-se um assunto urgente de resolver. Esta situação levou a indústria da electrónica de consumo e fabricantes de baterias a procurar solução nas baterias recarregáveis.

A produção de baterias recarregáveis de iões de lítio surge em 1987 com o composto de óxido de cobalto de John Goodenough para o cátodo, e para o ânodo com um composto de carbono da Sony.

Com uma tensão de 3,6V a bateria da Sony encontrou rápida aceitação nos telemóveis da época que utilizavam amplificadores de radiofrequência de 7 V, necessitando apenas de 2 elementos em série.

Os telemóveis utilizavam baterias de níquel-cádmio (Ni-Cd) e posteriormente (1990) baterias de hidretos metálicos (Ni-MH) que tinham uma tensão nominal de 1,2V, o que tornava necessário ter 6 elementos em série para atingir os 7 V necessários para os telemóveis [2].

Em 1990, só nos Estados Unidos da América existiam cinco milhões de assinantes de telefones móveis. Com a introdução de cada vez mais dispositivos electrónicos portáteis, o mercado das baterias recarregáveis estava em crescimento. Sete anos mais tarde o número de telefones móveis em todo o mundo ascendia a 120 milhões. Esta revolução “*wireless*” levou o mercado das baterias de iões de lítio a crescer a um ritmo de 200% a 300% ao ano [2].

Inevitavelmente estes avanços nas baterias chegariam até aos veículos eléctricos.

A General Motors no final do século XX introduziu no mercado um veículo eléctrico moderno. Em 1996 o “EV1” representado na Figura 1.1 estava disponível nos Estados Unidos da América, mas apenas em alguns estados, com um sistema de aluguer a prazo fixo através de contratos de *leasing*. A produção foi interrompida em 1999, e entre 2003 e em 2004 todos os veículos alugados foram removidos do mercado.

Inicialmente o “EV1” foi produzido com baterias convencionais de chumbo e ácido sulfúrico que foram substituídas por baterias de níquel-hidreto metálico. Foram produzidas 1117 unidades do modelo “EV1” com autonomia entre 90 a 150km, fazendo 9 segundos de 0 a 100km/h. Atingia velocidade máxima de 130km/h.

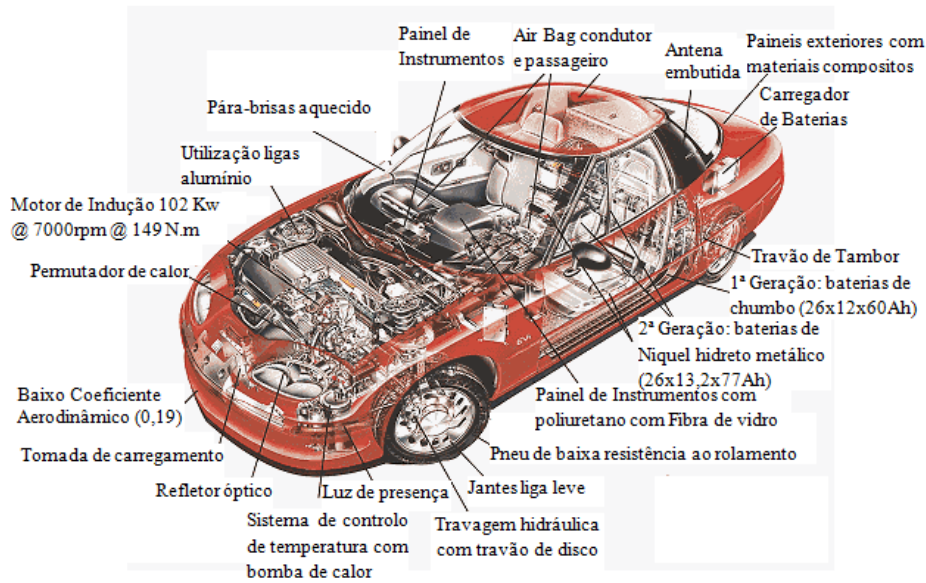


Figura 1.1 – Veículo eléctrico EV1 da *General Motors* [3]

Martin Eberhard e Marc Tarpenning, no ano 2000, após a venda do seu negócio *NuvoMedia*, e em colaboração com uma empresa de Los Angeles, AC Propulsion, começaram a converter um desportivo eléctrico denominado por tzero, com baterias de chumbo, para acomodar baterias de íões de lítio. Na Figura 1.2 pode ver-se parte das baterias de chumbo e na Figura 1.3 os resultados do mesmo veiculo com baterias de íões de lítio. Esta experiência permitiu obter resultados impressionantes, com o veículo a atingir os 100 km/h em apenas 3,6 segundos e uma autonomia de cerca 480 km com uma carga, como demonstrado numa viagem realizada entre São Francisco e Los Angeles [2].



Figura 1.2 – tzero, com baterias de chumbo [4]

Li ion tzero - 2003



Figura 1.3 – Teste do tzero com baterias de lítio [4]

Na sequência desta conversão é fundada a TeslaMotors por Martin Eberhard, hoje um dos mais bem-sucedidos fabricantes de veículos eléctricos.

1.1– Objectivos da dissertação

A presente dissertação tem como objectivo principal a análise de baterias de LFP (LiFePO₄), de modo a determinar quais os requisitos necessários a ter num sistema de monitorização, protecção e gestão de baterias (BMS) para utilização em veículos eléctricos. Foi integrado no projecto Veeco com a ref^a 3408 aprovado pelo Quadro de referência estratégico nacional (QREN).

Assim, é necessário analisar o comportamento das baterias de iões de lítio do tipo LFP em carga e descarga. Para tal foram realizados ensaios pormenorizados de carga e descarga de baterias individuais, assim como de baterias em banco de ensaios, um conjunto de trinta baterias ligadas em série.

Da análise dos testes realizados serão definidos quais os requisitos a exigir para o desenvolvimento do sistema de monitorização e protecção. Com os requisitos definidos, será ainda objectivo seleccionar *hardware*, assim como desenvolver *software* para testar a solução de *hardware*. Será ainda implementada a solução de *hardware* para a medição de corrente, e *software* para interface com IMH do Veeco.

É necessário sublinhar que o sistema BMS será para implementação no Veeco, assim como proceder à análise da conformidade dos sistemas desenvolvidos em relação ao sistema de tracção, do sistema IHM e do sistema de carregamento das baterias. Será ainda testado um protótipo do sistema BMS no Veeco.

1.2 – Motivação do trabalho

O interesse por veículos eléctricos surge após a conversão de um quadriciclo com motor a gasóleo para um motor eléctrico, em 2007, apresentado na Figura 1.4. Esta transformação representou um grande desafio na medida em que o motor aplicado no veículo foi retirado de um empilhador. O controlador de velocidade e o carregador para as baterias foram projectados e construídos pelo autor desta dissertação, o painel de instrumentos é constituído por amperímetro, voltímetro, indicador de temperatura e um *display* LCD com indicação de tensão, corrente, Amperes-hora e Watts-hora consumidos. Apesar do autor já possuir algum conhecimento acerca de baterias de iões de lítio, o veículo foi equipado com baterias de chumbo. Esta opção deveu-se às condicionantes financeiras e logísticas da aquisição de baterias de iões de lítio em quantidade suficiente para o veículo.

Desde essa época o interesse em desenvolver trabalho nesta área de investigação foi gradual, sendo um dos motivos ao ingresso no presente mestrado. A oportunidade de concorrer a uma bolsa de investigação, que se traduziu na colaboração no projecto Veeco sob tema das baterias de iões de lítio, foi a realização de um objectivo importante tanto na vida académica como profissional.



Figura 1.4 – Veículo convertido para tracção eléctrica pelo autor

1.3 – Enquadramento do trabalho

A tese enquadra-se na bolsa de investigação no âmbito do projecto Veeco com a referência. nº 003408 aprovado pelo QREN e Agencia de Inovação (ADI).

A parceria entre o Instituto Superior de Engenharia de Lisboa e a VE-Fabricação de Veículos de Tracção Eléctrica Lda. permitiu o desenvolvimento do projecto que engloba a integração dos diferentes componentes.

A VE no ano de 2006 concebeu e fabricou um automóvel eléctrico, com o objectivo de ser utilizado como uma plataforma de teste para posterior desenvolvimento de conceitos e soluções na área de veículos com tracção eléctrica, ilustrado na Figura 1.5. Com este veículo foi possível testar componentes e obter resultados que foram levados em consideração.

Dos testes efectuados em pista resultaram os seguintes valores:

Velocidade máxima real sem carroçaria em plano = 120 km/h

Aceleração dos 0 a 60 km/h = 9 segundos



Figura 1.5 – Protótipo do ante-projecto VE-P0

Apesar dos resultados serem satisfatórios os testes foram efectuados com 700 kg de baterias de chumbo. Verifica-se que nesta aplicação as mesmas tem algumas desvantagens para o veículo a nível de: o peso, a capacidade limitada de fornecer correntes elevadas durante algum tempo, autonomia abaixo do espectável e vida útil reduzida.

Dos conhecimentos adquiridos com o anteprojecto “VE-P0” as soluções a adoptar para o projecto Veeco podem contemplar a utilização de baterias de chumbo, mas preferencialmente a escolha deverá recair sobre outras soluções. Deste modo foram estudados diferentes tipos de baterias de íões de lítio que se poderiam adequar à utilização no projecto.

1.4 – Estrutura da tese

A presente dissertação está organizada em cinco capítulos. Após este capítulo introdutório onde são expostos os objectivos propostos, as motivações e enquadramento, segue-se o segundo capítulo relativo ao estado da arte das baterias de íões de lítio para veículos eléctricos, e outros conhecimentos adquiridos.

O terceiro capítulo é reservado à apresentação e análise dos testes exaustivos realizados às baterias de íões de lítio, resultados e conclusões.

O quarto capítulo visa o desenvolvimento dos componentes do BMS (Battery Monitoring/Management System) para o veículo eléctrico Veeco.

Por último são mencionadas as principais conclusões e sugestões de desenvolvimento futuro.

O primeiro anexo destina-se a esquemas e dimensionamentos, à análise detalhada dos programas de *software* utilizados, nomeadamente os diagramas de blocos do programa *Labview* utilizado e do microprocessador Atmega328, sendo o segundo anexo destinado a referências normativas e por fim o Anexo III destina-se a um dos relatórios efectuado no âmbito do projecto Veeco.

1.5 – Ferramentas de *software*

Para o desenvolvimento do BMS foram utilizadas diferentes ferramentas de *hardware* e respectivo *software*, assim como da National Instruments *Multisim*TM e *Ultiboard*TM para a execução dos esquemas e respectivas placas de circuito impresso para a implementação do sistema desenvolvido.

Para os testes de capacidade das baterias foi utilizado um equipamento da Revolectrix, PowerLab 6 Charger, que em conjunto com o *Power Lab Charge Control Software* (CCS), disponibiliza um interface gráfico de fácil utilização e com acesso a cerca de 100 parâmetros diferentes de modo a configurar o *PowerLab 6* de acordo com as necessidades do utilizador. Permite registar os dados de carga/descarga para análise posterior.

Ainda para testes de capacidade foi utilizado CBA II e CBA III (Computerized Battery Analyzer), e respectivo *software* [5].

O *Labview (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench)* é um programa utilizado para aquisição de dados, automatização de testes e processamento de sinais. Utiliza-se no terceiro e quarto capítulo na obtenção de resultados experimentais em banco de ensaios e testes individuais de baterias.

O Arduino Uno é um microcontrolador programável em C++ que se utiliza para o desenvolvimento do BMS em conjunto com *hardware* e *software* da Texas Instruments Inc. bq76PL536 Evaluation, e INA220B-Q1.

1.6 – Pressupostos de conformidade do sistema de protecção, monitorização e gestão de baterias

A análise da conformidade do BMS para baterias de iões de lítio e sua integração no projecto Veeco, visa a componente técnica de modo que os vários órgãos funcionem em conjunto.

1.6.1 – Conformidade de legislação e segurança

A análise da conformidade em relação à legislação dos elementos que no seu conjunto se pode designar por bateria de tracção, é fundamental.

As células individuais que compõem a bateria de tracção estão em conformidade com as recomendações da Nações Unidas para o transporte de matérias perigosas, sub-secção 38.3 [6]. Assim sendo, é seguro o seu transporte em veículos rodoviários, navais e aéreos.

A classificação do veículo Veeco, de acordo com o artigo 107º do decreto-lei nº44 de 2005, é de triciclo, pois é um veículo de 3 rodas dispostas simetricamente, e que excede o patamar de 45km/h. Esta classificação, “L5e”, limita o veículo a um peso máximo de 1000kg, excluindo o peso da bateria de tracção no caso de veículos eléctricos.

Tabela 1.1 – Normas de referência na mobilidade eléctrica automóvel

Norma Internacional	Descrição
EN 12895	Compatibilidade electromagnética em empilhadores industriais.
EN 61851	Sistema de carregamento do veículo eléctrico.
ISO 6469	Especificações de segurança dos veículos eléctricos rodoviários.
ISO 8713	Vocabulário dos veículos eléctricos rodoviários.
ISO 8714	Referência de consumos de energia e autonomia - Procedimentos de teste para veículos ligeiros de passageiros e comerciais.
ISO 11451	Métodos de teste de imunidade aos campos electromagnéticos em veículos eléctricos rodoviários.
ISO 11898	Especificações relativas à tecnologia de comunicação serie <i>CAN (Controller Area Network)</i> utilizada em veículos rodoviários.
SAE J1666	Procedimentos de teste de aceleração, gradeabilidade e desaceleração nos veículos eléctricos.
SAE J2178	Definição de padrões de mensagens de rede.

1.6.2 – Conformidade no sistema de tracção

No âmbito do projecto Veeco aprovado pelo QREN e ADI, a empresa VE propôs os objectivos de não exceder a tensão de 100V e atingir uma autonomia superior ou igual a 400km. Optou-se por utilizar 30 células de LFP, que com uma tensão nominal de 3,20V, traduz-se no total, do banco de baterias, em 96V. O sistema de tracção utiliza um motor assíncrono e respectivo variador de velocidade. O motor com uma potência nominal de 18 kW, fabricado pela Best Motor e o variador de velocidade, modelo ACE5 da Zapi, para 96V e 800Arms, com tensões limite de funcionamento entre os 34V e 125V [7].

1.6.3 – Conformidade no interface Homem-Máquina

Na configuração do sistema de IHM (Interface Homem Máquina) é utilizado o protocolo de comunicação CAN e o sistema operativo *Linux*. Este tipo de comunicação estará disponível no variador electrónico de velocidade e no computador do veículo. O CAN é um protocolo de comunicação série síncrono de alta velocidade de transmissão (125kbps a 1Mbps) com elevado nível de segurança respeitando a norma ISO 11898. O sincronismo entre os módulos conectados à rede é feito em relação ao início de cada mensagem lançada ao barramento (evento que ocorre em intervalos de tempo conhecidos e regulares). O sistema CAN, representado na Figura 1.6, com um microcontrolador, variador electrónico de velocidade, BMS e computador, trabalha com base no conceito multi-mestre, onde todos os módulos se podem tornar mestres em determinado momento e escravos noutros. As mensagens são enviadas em regime *multicast*, caracterizado pelo envio de toda e qualquer mensagem para todos os módulos existentes na rede. A comunicação física realiza-se com dois fios, sendo os dados de transferência baseados em dois estados, o dominante (bit 0) e o recessivo (bit 1). Estes estados definidos através do endereço da mensagem definem a prioridade. Os sistemas são terminados com resistências nas extremidades com o intuito de suprimir a reflexão de sinal [8] como representado na Figura 1.6.

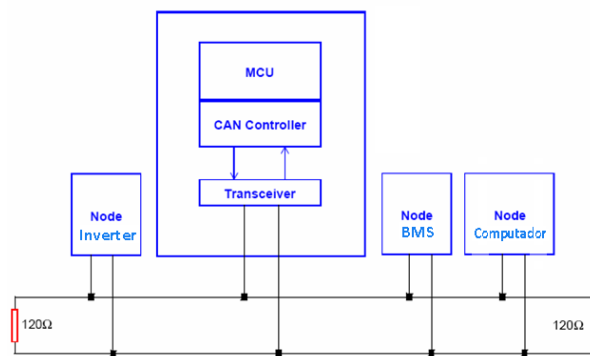


Figura 1.6 – Exemplo de ligação CAN [7]

O módulo Estatística e Manutenção do IHM representado na Figura 1.7 avisa o condutor das anomalias verificadas, assim como do registo de travagem regenerativa, contagens e avisos necessários das intervenções de manutenção ou informação relativa à temperatura máxima de operação. Atingido o valor limite de temperatura no motor ou variador, opera-se a baixo regime através da redução de corrente.

O estado de carga das baterias e respectiva autonomia em função da velocidade é outra das indicações chave no veículo e com informação permanente, tal como o registo do tipo de condução através de iluminação progressiva dos indicadores relativos à travagem regenerativa. Actualmente os veículos automóveis utilizam um padrão designado por OBD (On Board Diagnostics), representando um termo genérico de auto diagnóstico. Estes sistemas são computadorizados, permitindo aceder à informação de vários subsistemas do veículo, e utilizam portas de comunicação em tempo real de modo a avisar o condutor. Na Figura 1.7 apresenta-se o ecrã principal do IHM desenvolvido para o Veeco, com diversas informações, nomeadamente o estado de carga da bateria e a Figura 1.8 apresenta o ecrã informativo do sistema de monitorização de baterias, onde estará disponível mais detalhe acerca do estado da bateria, tensões individuais de cada célula, tensão total, temperatura e capacidade.



Figura 1.7 – IMH do Veeco

- | | |
|--------------------------------------|---|
| 1. Velocímetro | 12. Browser internet |
| 2. Indicador de máximos | 13. Sistema de navegação |
| 3. Piscas | 14. Correio electrónico |
| 4. Indicador estado carga da bateria | 15. Indicador de cinto de segurança |
| 5. Painel de avisos | 16. Conta-Quilómetros parcial |
| 6. Conta-Quilómetros total | 17. Indicador de avaria |
| 7. Relógio | 18. Indicador de manutenção |
| 8. Indicador de consumo instantâneo | 19. Indicador controlo de tracção / ESP |
| 9. Indicador temperatura do inverter | 20. Estatísticas |
| 10. Música | 21. Indicador de temperatura elevada |
| 11. Indicador temperatura do motor | 22. Vídeos |



Figura 1.8 – IMH do Veeco, menu bateria

CAPÍTULO 2

BATERIAS PARA VEÍCULOS ELÉCTRICOS

Resumo

Neste capítulo apresenta-se uma análise comparativa entre os diversos tipos de baterias que têm vindo a equipar os veículos de tracção eléctrica. É também abordado o estado da arte relativamente às evoluções mais recentes no desenvolvimento de novas tecnologias de armazenamento de energia.

2 – BATERIAS PARA VEÍCULOS ELÉCTRICOS

2.1– Baterias de chumbo ácido

Baterias de Chumbo ácido, são das baterias de tracção mais comuns e económicas.

Existem vários tipos de baterias de chumbo. As mais comuns são as baterias de arranque e as baterias de tracção. As baterias de arranque são desenhadas para serem usadas nos veículos com motores de combustão e estão preparadas para fornecer as correntes elevadas necessárias para o arranque e também aceitar correntes elevadas de carga provenientes dos alternadores.

As baterias de tracção são utilizadas em empilhadores eléctricos, material circulante, carros de golf, entre outras aplicações, e são construídas para descargas e cargas lentas.

2.2– Baterias de níquel-hidreto metálico

Uma desvantagem das baterias de Ni-MH (níquel-hidreto metálico) é a sua auto descarga, até 20% no primeiro dia e estabilizando em cerca de 15% por mês, à temperatura de 20°C. À temperatura de 40°C a auto-descarga pode ser até três vezes mais rápida [9].

As aplicações das baterias Ni-MH em veículos eléctricos, tais como o EV1 da General Motors, EV Plus da Honda, Rav4 EV da Toyota, Ranger EV da Ford e em veículos híbridos como Prius da Toyota, Insight e Civic da Honda. Estas baterias eram fabricadas pela Panasonic. Na Figura 2.1 apresenta-se a bateria utilizada.



Figura 2.1 – Bateria Ni-MH EV95, fabricada pela Panasonic para GM, Toyota e Honda [10]

Stanford R. Ovshinsky inventou e patenteou uma versão bastante melhorada das baterias Ni-MH, cujos direitos em 1994 foram comprados pela General Motors para aplicação no seu veículo eléctrico, o EV1. Posteriormente os direitos foram vendidos à Texaco, que pouco tempo depois foi adquirida pela Chevron. A General Motors descontinuou a produção do EV1 citando a falta da disponibilidade de baterias como principal obstáculo. O controlo da patente de Ni-MH (US006255015, Novembro 29, 2005) por parte da Chevron levou à indisponibilidade deste tipo de baterias para aplicações em veículos eléctricos [11] [12].

2.3– Baterias de íões de lítio

Na Tabela 2.1 estão indicados os valores de referência para os diferentes tipos de baterias. Foram analisados dois tipos de baterias de íões de lítio, as LCO (LiCoO₂), que são fabricadas em grande escala para todo tipo de aplicações electrónicas, e as LFP, mais utilizadas em grandes formatos e preço acessíveis, como detalhado na Tabela 2.2, dados recolhidos em Março de 2012.

Tabela 2.1 — Comparação dos diferentes tipos de baterias [13]

Comparação da energia específica de várias células electro-químicas		
	Densidade energética (Wh/kg)	Tensão nominal (V)
Chumbo-ácido	12,3	2,0
NiMH	46,0	1,7
NiCd	56,0	1,2
NiZn	75,0	1,7
LiMnO ₄	100,0	4,0
LiFePO ₄	100,0	3,3
LiNiO ₂	130,0	3,6
LiCoO ₂	140,0	3,7

Tabela 2.2 – Tabela de comparação por fabricante de baterias de lítio e íões de lítio

Fabricante	Tipo	Densidade energética (Wh/kg)	Preço (\$/kWh)	Observações
Panasonic [14]	LiCoO ₂	~225	OEM	Pequenos formatos (18650) até 2,9Ah
	LiNn ₂ O ₄	~300		Pequenos formatos (18650) 3,1Ah, 3.4Ah em 2013 previsto 4Ah
A123 Systems [15]	LiFePO ₄	~130	~270	Até 30C (A) descarga, maior formato disponível 20Ah (em falência!)
AESC [16]	LiMn ₂ O ₄	~130	OEM	Parceria entre NEC e Nissan
Altairnano [17]	Li ₄ Ti ₅ O ₁₂	~72	OEM	Carga em 6 minutos, 12000 ciclos /12 Anos vida util
SAFT [18]	LiFePO ₄	~66 a ~160	OEM	
China Aviation Litium Battery [19]	LiFePO ₄	~100	~390	2000 a 3000 ciclos
Dow Kokam [20]	LiCoO ₂	~150	~1500	500 ciclos
SionPower [21]	Li-S	~450	Em estudo para aplicações em veículos eléctricos, 300 a 500 ciclos	
Sinopoly [22]	LiFePO ₄	~115	~275 (€/kWh)	2000 a 3000 ciclos
Winston [23]	LiFeYPO ₄	~100	~250 (€/kWh)	3000 a 5000 ciclos
	Li-YS	~200	Informação não oficial, possibilidade de disponibilidade não confirmada	
Envia systems [24]	OEM	Anunciado 400	Anunciado \$125/kWh, possibilidade de fabricação em massa num prazo de 5 anos	
Valence [25]	LiFeMgPO ₄	90	1000 (€/kWh), Capacidade de produção esgotada, apenas para OEM	
SB LiMotive [26]	OEM	OEM	OEM	Parceria entre Samsung e Bosch
LG Chem [27]	OEM	OEM	OEM	Equipa GM, Opel

2.3.1 – Baterias de iões de lítio do tipo LCO (LiCoO₂)

A Panasonic está a substituir o cátodo do tipo cobalto por níquel, pois esta substituição permite um custo menor, maior segurança e densidade de energia superior. A curto prazo a Panasonic irá introduzir ânodos de silício, aumentando ainda mais a capacidade das baterias, como ilustrado na Figura 2.2

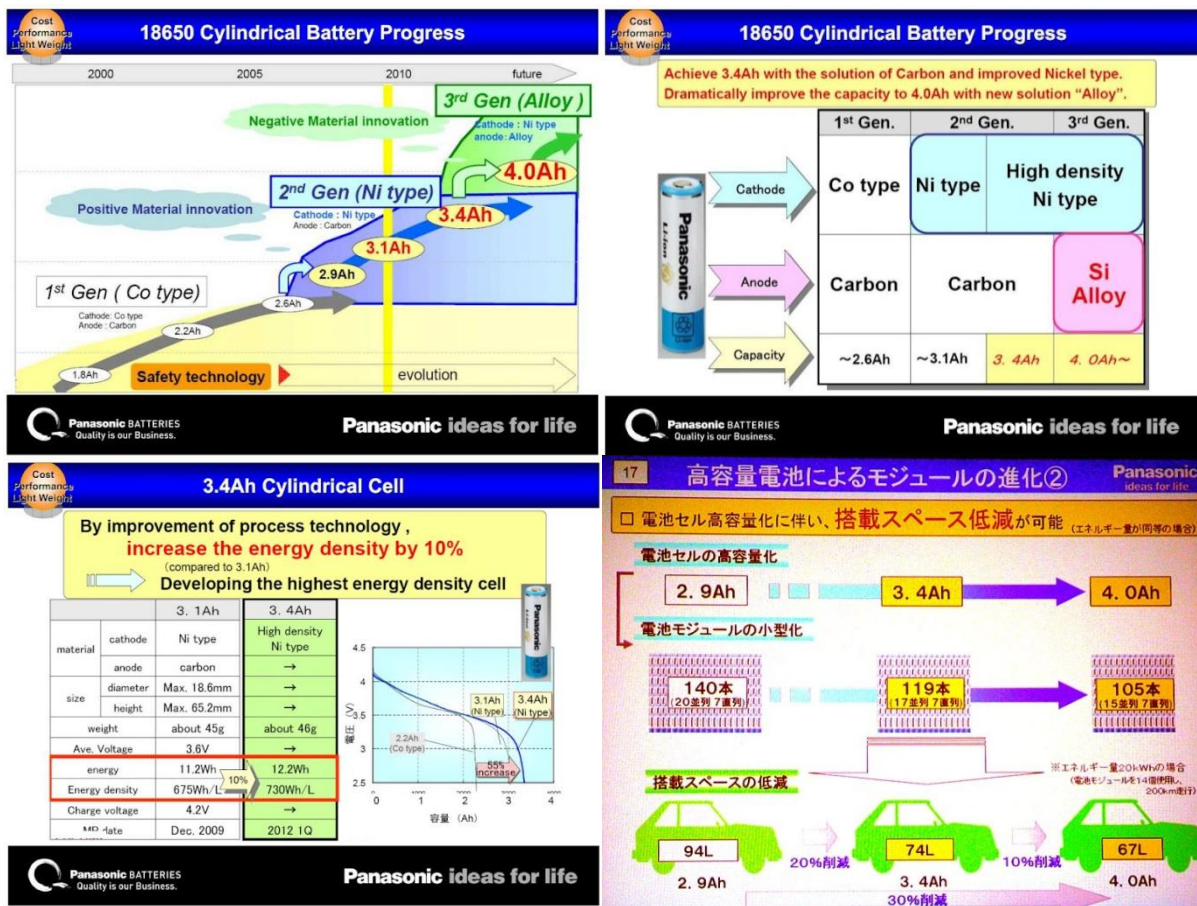


Figura 2.2 – Evolução da tecnologia das baterias 18650 da Panasonic

A Panasonic é o fornecedor de baterias para a Tesla Motors, sendo o formato destas baterias o 18650 (18mm de diâmetro, por 65 mm de comprimento). Este tipo de bateria é fabricado em grande volume, por ser um formato estabelecido e usado em muitos equipamentos electrónicos portáteis.

O motivo da opção da Tesla Motors em escolher este formato de bateria, apesar de necessitar de milhares de unidades para equipar um veículo, é utilizar uma bateria normalizada para incentivar a Panasonic a desenvolver tecnologicamente este produto, como ilustrado na Figura 2.3.

O Tesla Roadster tem um banco de baterias de 53 kWh, composto por cerca de 6800 células 18650, com um peso de 450kg [28], enquanto o Tesla Model S oferece três opções, 40 kWh, 60 kWh e 85 kWh, e o Tesla Model X duas opções, 60 kWh ou 85 kWh [29].

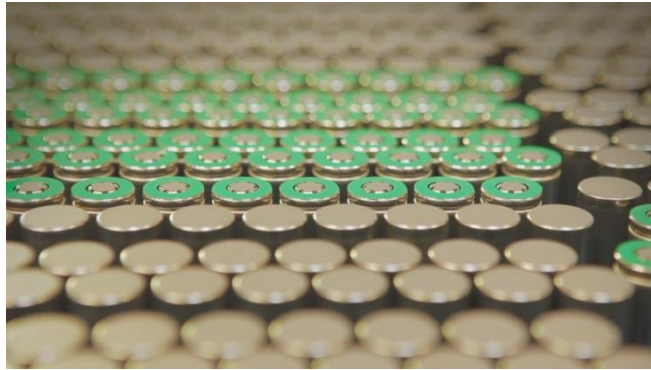


Figura 2.3 – Células 18650 da Panasonic para Tesla Motors

2.3.2 – Baterias de íões de lítio do tipo LFP (LiFePO_4)

A Sinopoly Battery Limited [22], antiga ThunderSky Battery Company, tem continuamente desenvolvido as suas baterias de LFP. No projecto Veeco utilizam-se os elementos de 160Ah, apesar de mais recentemente estar disponível no mercado uma versão de 200Ah, com vantagem significativa tendo em conta que as dimensões e peso são semelhantes, como evidente na Tabela 2.3.

A China Aviation Lithium Battery Co., Ltd. produz baterias com dimensões e pesos idênticos às baterias da Sinopoly Battery Limited, nomeadamente os modelos SE-180AHA e CA180FI, ver Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Evolução das baterias prismáticas LFP

Modelo	Energia (Wh)	Volume (l)	Max. Carga	Max. Descarga	Peso (kg)	N.º Ciclos	
						70% DOD	80% DOD
ThunderSky Battery Company							
TS-LFP150AHA (ano 2006)	480	3,68	1 C	1,3 C	5,30	500	300
TS-LFP160AHA (ano 2007)	512	3.68	3 C	3 C	5,60	3000	2000
TS-LFP160AHA (ano 2010)	512	3.63	3 C	3 C	5.60	5000	3000
Sinopoly Battery Limited							
SP-LFP200Ah (ano 2011)	640	3.49	3 C	5 C	5.75	3000	2000
China Aviation Lithium Battery Co., Ltd.							
SE180AHA	576	3.63	-	5,5 C	5.60	-	2000
CA180FI	576	3.63	-	12 C	5.70	-	-

2.3.3 – Baterias de iões de lítio do tipo LMO (LiMn₂O₄)

Este tipo de baterias possui uma tensão mais alta que as baterias LFP, 3,80V em vez de 3,20V, e uma capacidade específica de cerca 250mAh/g, comparativamente aos 140mAh/g do LFP.

Com tensão superior e capacidades superiores, tudo indica que esta seria a escolha ideal para veículos eléctricos, já que apresentaria uma densidade energética superior em relação a outras tecnologias de baterias de iões de lítio. Contudo a desvantagem é uma vida útil de cerca de 1000 ciclos, além de libertar oxigénio a temperaturas mais baixas que as baterias LFP.

2.4– Análise do estado da tecnologia de baterias

A Panasonic tem evoluído na melhoria do cátodo utilizado nas suas baterias tipo LCO, substituindo o cobalto por uma mistura de alumínio, níquel e cobalto. Esta substituição permite um custo menor, com a redução da utilização de cobalto, maior segurança e densidades de energia superior. Ainda a curto prazo a Panasonic prevê introduzir melhorias no ânodo, com a introdução de silício no mesmo, aumentando assim a capacidade das baterias e mantendo o mesmo formato.

A empresa Sinopoly Battery Company, fabricante de baterias de LFP, tem melhorado os seus produtos. Como exemplo a bateria de 60 Ah reduziu o peso de 2,50 kg para 1,99 kg, e a bateria de 160 Ah evoluiu para 200 Ah mantendo as mesmas dimensões e peso.

Outro fabricante de baterias do tipo LFP é a CALB [19], que paralelamente à oferta da série SE, bateria de LFP, em caixa azul, com performances superiores às baterias de empresas concorrentes, em condições idênticas demonstra uma menor queda de tensão e menor aumento de temperatura. Actualmente há a nova série de baterias CA, caixa cinzenta, que superam a sua série anterior [30].

Devido ao preço decrescente das baterias, é necessário ter em atenção o *hardware* e *software* desenvolvidos para o sistema BMS, devendo ser economicamente viáveis pois seria contra-senso desenvolver um sistema mais dispendioso que as baterias.

A descrição sobre o funcionamento das baterias do tipo LFP está detalhada no Anexo III, Relatório consolidado do desenvolvimento do projecto B.M.S./V.M.S. e Circuitos Electrónicos de 01/04/2010 a 31/04/2011

2.5– Sistemas para protecção, monitorização e gestão de baterias

Numa feira da especialidade, no ano de 2011 (ecarTec, em Munique). Os fabricantes consultados apresentam orçamentos de BMS de baterias na ordem dos 15 000€ [31], mais elevados que os custos das baterias que equipam o Veeco, à data de Setembro de 2012. Contudo, é possível adquirir um banco de baterias para o Veeco por cerca de 5000€ [32] ! O que sugere haver uma política agressiva na construção dos preços de BMS.

2.6– *Hardware* para implementação do sistema de protecção, monitorização e gestão de baterias

2.6.1 – Microcontroladores

Como possível *hardware* a aplicar na cadeia de processamento de sinal e protecção das baterias existem vários microcontroladores, de diversos fabricantes, nomeadamente Microchip, Texas e Atmel. Nas figuras seguintes mostram-se imagens de plataformas de desenvolvimento dos vários fabricantes.



Figura 2.4 – Microcontrolador MSP430, plataforma de desenvolvimento LaunchPad, Texas Instruments [33]



Figura 2.5 – Microcontrolador ATmega328, plataforma de desenvolvimento Arduino UNO, Atmel [34]



Figura 2.6 – Microcontrolador ATmega2560, plataforma de desenvolvimento Arduino MEGA, Atmel [34]



Figura 2.7 – Microcontrolador, plataforma de desenvolvimento chipKIT, Microchip [35]

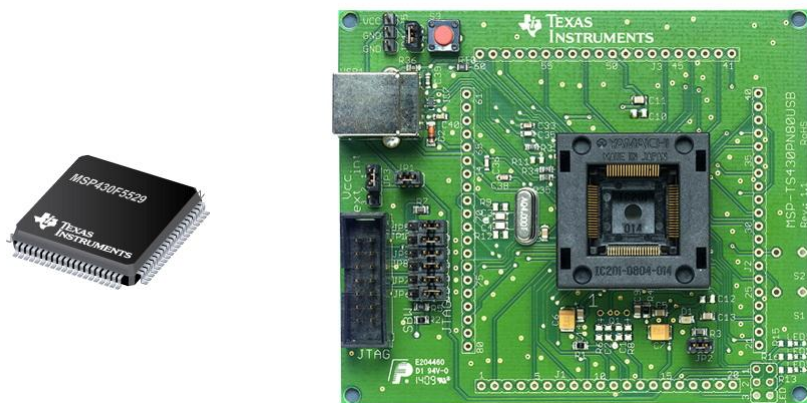


Figura 2.8 – Microcontrolador MSP430, plataforma de desenvolvimento MSP-TS430PN80USB, Texas Instruments [33]

2.6.2 – Sistema para medição de correntes e tensões

Para a aquisição dos diferentes sinais, tensões, correntes e temperaturas, existem diversos fornecedores e equipamentos. Será necessária a medição das tensões individuais de cada elemento da bateria, de modo a verificar se os valores estão dentro dos considerados normais em funcionamento. De forma a estimar o estado de carga será necessário ter informação acerca de qual a corrente que percorre a bateria. Existem três métodos de medição de corrente detalhados na Tabela 2.4.

Tabela 2.4 – Métodos para medição de corrente [36]

Type	Current range	Isolated	Accuracy	AC response	Non-Intrusive	Cost
Resistive	Very Low/High	No	High	Medium/High	No	Low
Optically isolated resistive	Medium/High	Yes	Low/Medium	Low/Medium	No	Low/Medium
Magnetic	Medium/Very High	Yes	Medium	Medium/High	Yes	High

As seguintes Figuras representam exemplos de dispositivos utilizados para medir correntes, um sensor de Hall e uma resistência calibrada.

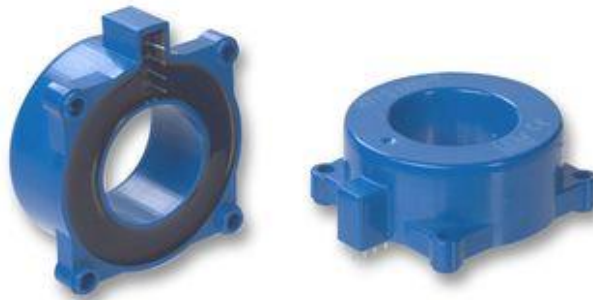


Figura 2.9 – Sensor de efeito de Hall



Figura 2.10 – Resistência calibrada

A utilização de uma resistência calibrada apresenta vantagens em relação ao sensor de Hall, tal como se pode verificar na Tabela 2.4. Para aquisição da corrente foi utilizada uma resistência calibrada em conjunto com o circuito integrado INA220B-Q1 da Texas Instruments, ilustrado na Figura 2.11, com capacidade para ler a corrente nos dois sentidos e a tensão, disponibilizando num interface digital de comunicação I2C (inter-integrated circuit) o valor de corrente, tensão e potência.

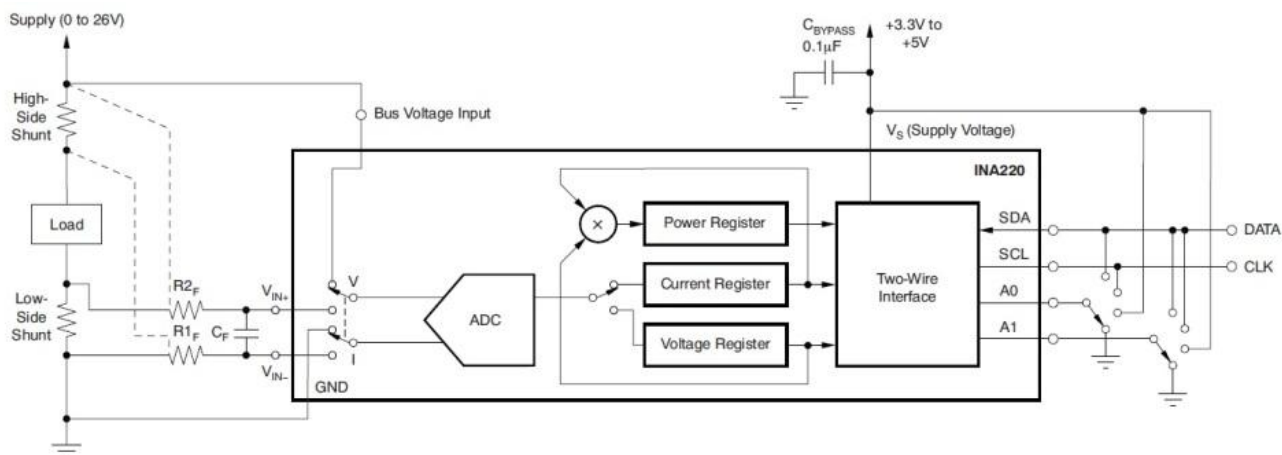


Figura 2.11 – INA220B-Q1, para aquisição da corrente, tensão e potência

Para aquisição de temperaturas e tensões individuais das células constituintes do banco de baterias optou-se por uma solução da Texas Instruments que permite a leitura até 6 tensões e 2 temperaturas com um único circuito integrado, o bq76PL536, apresentado na Figura seguinte.

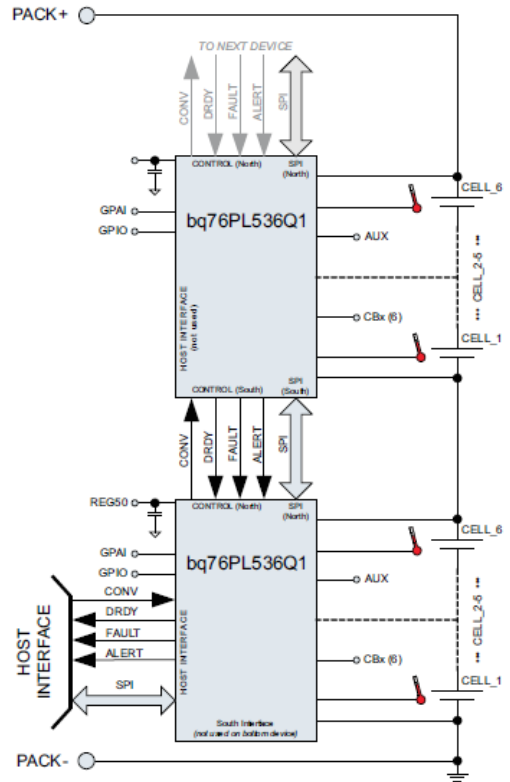


Figura 2.12 – Circuito integrado bq76PL536 para monitorização até 192 baterias, 6 por circuito integrado

Foi ainda considerado o circuito integrado da Intersil ISL78600 ilustrado na Figura 2.13, que permite a medição até 12 baterias por circuito integrado, e ligação entre circuitos integrados com apenas dois condutores, contudo devido à indisponibilidade do fabricante não foi a solução implementada, apesar de ser uma boa solução por diminuir o número de componentes necessários para a execução do BMS.

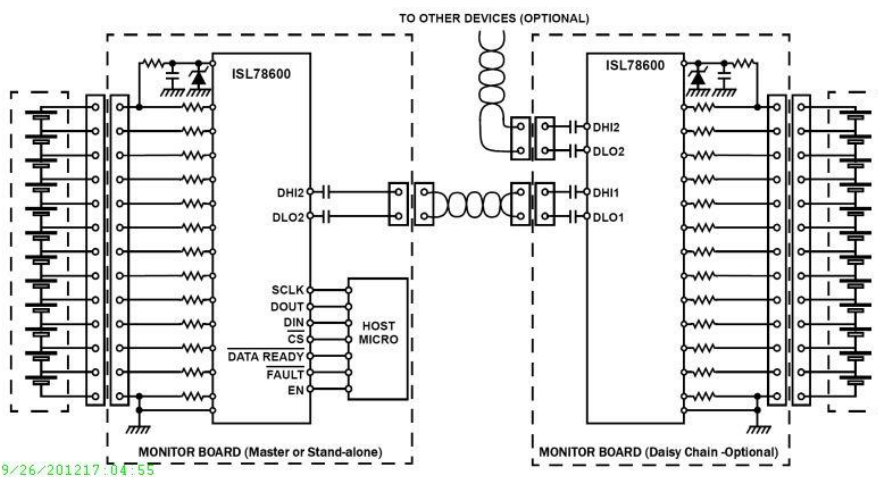


Figura 2.13 – Circuito integrado ISL78600, monitorização até 12 baterias por circuito integrado

2.7– Outros conhecimentos adquiridos

O autor desta dissertação participou na Electric Vehicle Conversion Convention (EVCCON), que se realizou em Setembro de 2011 nos Estados Unidos da América no estado de Missouri, em Cape Girardeau. Neste evento foi possível conduzir veículos de várias marcas com baterias do tipo LFP, nomeadamente baterias 180Ah da CALB, 90Ah e 200Ah da ThunderSky e baterias de 200Ah do fabricante Zhejiang GBS Energy Co.

Para além das sessões sobre temas relacionados com veículos eléctricos foi ainda realizado algum trabalho em veículos eléctricos convertidos. Assim foi possível tomar conhecimento das tecnologias existentes no mercado e quais as soluções implementadas no que relaciona à utilização de baterias do tipo LFP em veículos eléctricos. Nas Figuras seguintes estão ilustrados veículos com baterias do tipo LFP.



Figura 2.14 – Veículos convertidos, com baterias de 180Ah da CALB



Figura 2.15 – Vista geral dos veículos presentes no evento EVCCON

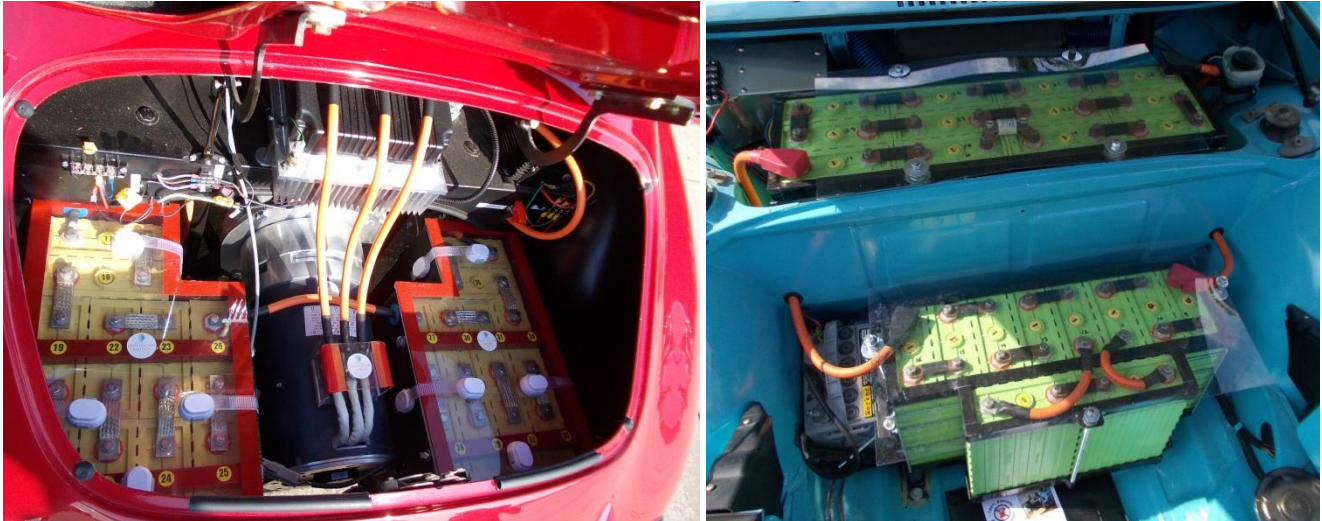


Figura 2.16 – Veículos convertidos, com baterias de 200Ah da ThunderSky

2.8 – Conclusões

Em suma, é possível entender que os fabricantes de baterias apostam na melhoria contínua dos seus processos de fabrico e na introdução de novos materiais, sendo espectável que as baterias melhorem a sua consistência e qualidade.

Face aos novos desenvolvimentos na área dos microcontroladores verifica-se que existem várias ferramentas de *hardware* e respectivos *softwares*, nomeadamente da Texas Instruments, MSP430 e MSP-TS430, da Atmel, ATmega328 e ATmega2560 e da Microchip, PIC32MX320.

No decorrer desta dissertação, optou-se pelos circuitos integrados da Texas Instruments, o bq76PL536A para aquisição de tensões temperaturas e protecção das baterias, o INA220B-Q1em conjunto com uma resistência calibrada para a aquisição de corrente e a plataforma de desenvolvimento Arduino UNO para a comunicação com o IHM do Veeco.

CAPÍTULO 3

ANÁLISE AO COMPORTAMENTO DE BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO

Resumo

Neste capítulo são apresentadas e estudados os processos e equipamentos de teste de baterias de iões de lítio do tipo LFP e analisados os seus resultados.

3– ANÁLISE AO COMPORTAMENTO DE BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO

O presente capítulo descreve a análise dos ensaios que foram efectuados no âmbito do desenvolvimento do sistema de protecção, monitorização e gestão das baterias que equipam o Veeco RT.



Figura 3.1 – Aspecto interior de uma célula de LFP de 100Ah de capacidade

Perante insuficiente e duvidosa informação, bem como algumas contradições, fornecidos pelos fabricantes de baterias de LFP, foi necessário investigar o funcionamento e limites de operação das baterias de modo a obter conhecimentos para desenvolver um sistema BMS adequado.

Assim, no decorrer dos estudos às baterias submetidas a testes e análises, foram consultados alguns documentos científicos no sentido de seguir algumas orientações e pareceres. Também foram consultados dados obtidos de outras fontes, tais como Jack Rickard [30]. Este investigador regista uma série de vídeos semanais dedicados a veículos eléctricos, com ensaios práticos e análise de resultados apresentados num blog [30]. Além disso refere investigadores como o Professor Jay Whitacre [30] [37], professor assistente de ciências dos materiais e engenharia da Universidade do Michigan, Estados Unidos da América, que apresenta uma aula em vídeo bastante detalhada da construção e teoria de funcionamento das baterias LFP, publicado em 6 de Dezembro de 2010, no blog EVTV [30]. Aborda também o trabalho realizado pelo Dr. Dennis Doerffel, fundador de um fórum de informação “*Thundersky Yahoo groups*” e autor de tese de doutoramento, na qual desenvolveu estudos acerca de baterias de iões de lítio, “*Testing and Characterization of Large High Energy Lithium Ion Batteries for Electric and Hybrid Electric Vehicles*” [38], é uma das primeiras utilizações deste tipo de baterias num veículo híbrido eléctrico.

Apesar das especificações das baterias de iões de lítio do tipo LFP se alterarem constantemente e estarem a convergir para valores comuns, e utilizados por vários produtores (ver Tabela 3.1), os valores iniciais são mais adequados para baterias de iões de lítio do tipo LCO.

De notar que a capacidade medida nas baterias testadas é superior à indicada pelo fabricante. Nas baterias que foram testadas, segundo o fabricante são de 160Ah nominal, as especificações individuais entre os 176 Ah e 177 Ah (descarga a 0,3C). Todavia, segundo os testes efectuados verifica-se que os valores registados indicam que as baterias têm capacidades entre os 177Ah e 191Ah (descarga a 0,2C). Este assunto será desenvolvido em detalhe na secção 3.5.

Na Tabela 3.1 apresenta-se um resumo da análise das folhas de especificações técnicas de diferentes baterias de LFP.

Tabela 3.1 – Especificações do fabricante de baterias LFP

Fabricante - Modelo	Tensão de carga	Tensão de descarga	N.º Ciclos	
			70% DOD	80% DOD
ThunderSky - TS-LFP150AHA (ano 2006)	4,20 V	2,00 V	500	300
ThunderSky - TS-LFP160AHA (ano 2007)	4,25 V	2,50 V	3000	2000
TunderSky - TS-LFP160AHA (ano 2010)	4,00 V	2.80 V	5000	3000
Winston - WB-LYP160AHA (ano 2011)	4,00 V	2.80 V	5000	3000
Sinopoly - SP-LFP180Ah (ano 2011)	3.80V	2,80 V	3000	2000

As baterias que equipam o Veeco estão destacadas a amarelo.

Os parâmetros a ter em conta no uso das baterias serão os indicados pelo fabricante. Porém é necessário compreender que as especificações não são claras e é necessário ter em conta outros aspectos. Como exemplo, a tensão de carga é de 3,80V e corresponde a uma corrente de 0,3C (48A para as baterias de 160Ah), mas no sítio do fabricante [22] é possível encontrar informação contraditória [22], indicando que se deve ter um carregador programado para 3,60V e finalização a uma corrente de 0,033C (5,28A para baterias de 160Ah).

3.1 – Análises e ensaios de baterias 18650

Os ensaios a baterias de iões de lítio do tipo LFP e LCO formato 18650. Para análise, foi efectuado o ensaio das baterias a 1C (A), descarregando a 1C, 1,1A para A123 (LFP). e 1,8A para ICR18650 (LCO).

Na Figura 3.2 observa-se o gráfico comparativo da tensão do ciclo de descarga das baterias

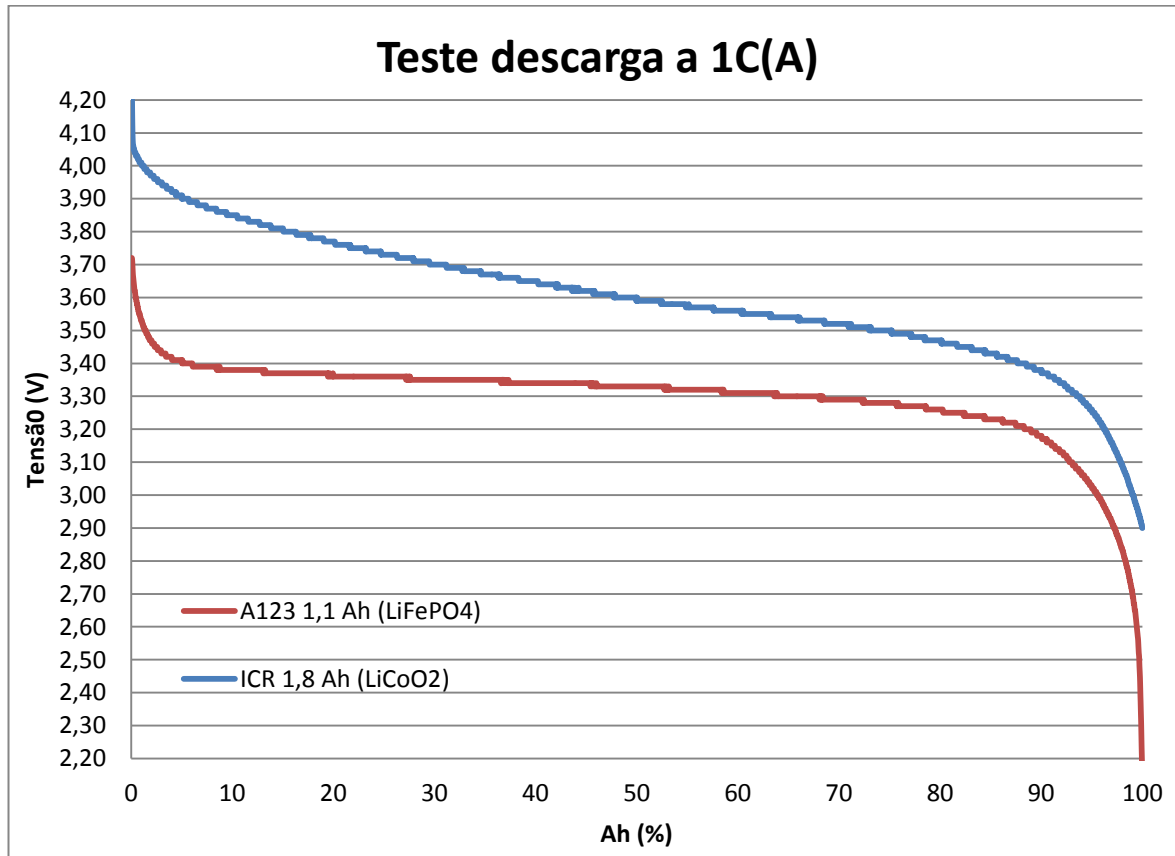


Figura 3.2 – Comparação entre a tensão de descarga a 1C

Verifica-se que a capacidade da bateria de ICR18650 é superior e a tensão superior, tem bastante mais energia armazenada, cerca de 6,7 Wh, em comparação a A123 armazena 3,0 Wh. Com um peso de cerca 45 g a densidade energética é a seguinte: ICR18650 (LCO) é cerca de 150Wh/kg, A123 (LFP) é cerca de 68 Wh/kg.

A grande desvantagem das baterias de LCO é a vida útil menor, cerca de 230 ciclos [39], como indicado na Figura I.2. E em termos de segurança a temperaturas acima dos 150°C existe o perigo de ocorrer de fuga térmica, ilustrado na Figura 3.3. As baterias do tipo LFP têm uma vida útil de cerca 3000 ciclos e o perigo de fuga térmica pode ocorrer, mas acima dos 280°C e com menor energia libertada, como ilustrado na Figura 3.3.

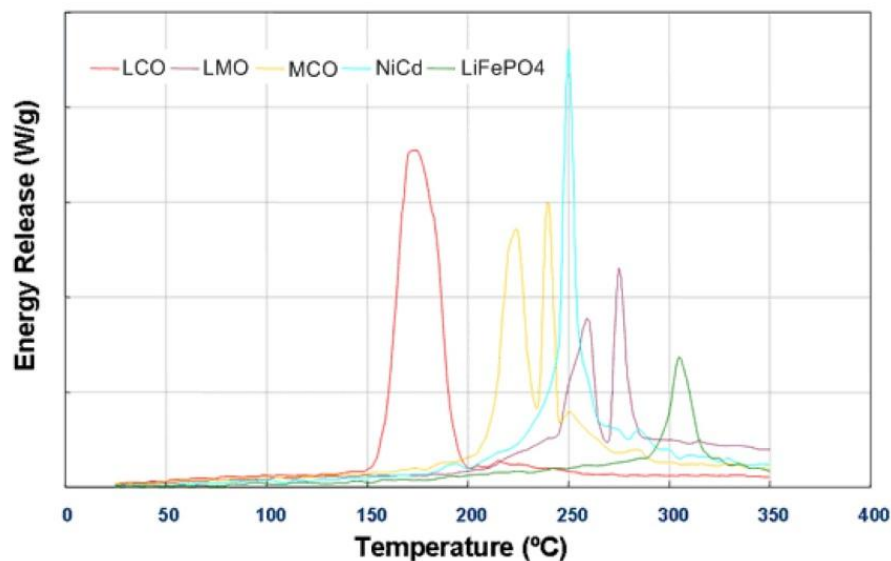


Figura 3.3 – Energia libertada quando a fuga térmica ocorre [40]

A empresa VE para equipar os seus veículos optou na tecnologia de LFP, devido à sua durabilidade, preço, segurança, disponibilidade, e devido também a limitações nos formatos disponíveis de baterias de iões de lítio.

3.2 – Análises e ensaios de bateria de 40Ah

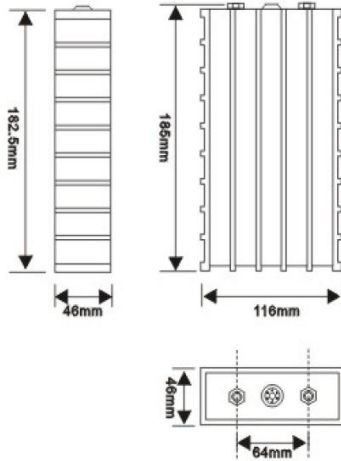
Foi analisada uma bateria LFP de 40Ah da CALB. O equipamento utilizado nos ensaios, CBA III, (Computerized Battery Analyzer), permite registar a curva de descarga da bateria, Figura 3.4. O equipamento CBAlII, Figura 3.5, utiliza uma carga electrónica para efectuar os testes de descarga, um mosfet de potência (IRL2910, $V_{DSS}=100V$, $I_D=55A$) a funcionar na zona activa, regulando a tensão na *gate* de modo a conseguir manter a corrente pré definida ao longo do ensaio, e registando os valores no *software*, para posterior análise.

O *software* LabView foi utilizado em conjunto com uma placa de aquisição de sinais NI USB-6009 DAQ, um dispositivo USB que permite o interface do programa em LabView e o *hardware* para carregamento/descarregamento da bateria a testar, sendo desenvolvido um programa específico para realizar as tarefas necessárias, como ilustrado nas Figuras 3.6 e 3.7.

规格型号: SE40AHA
Specification: SE40AHA



单体电池尺寸 Battery Dimension



放电曲线图 Discharge Curve

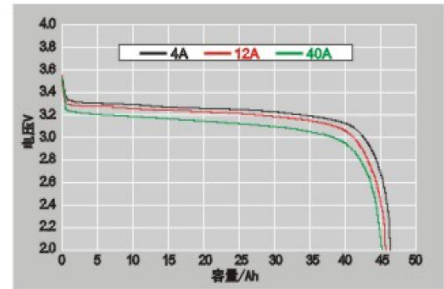


Figura 3.4 – Características do fabricante, da CALB de 40Ah



Figura 3.5 – West Mountain CBA III

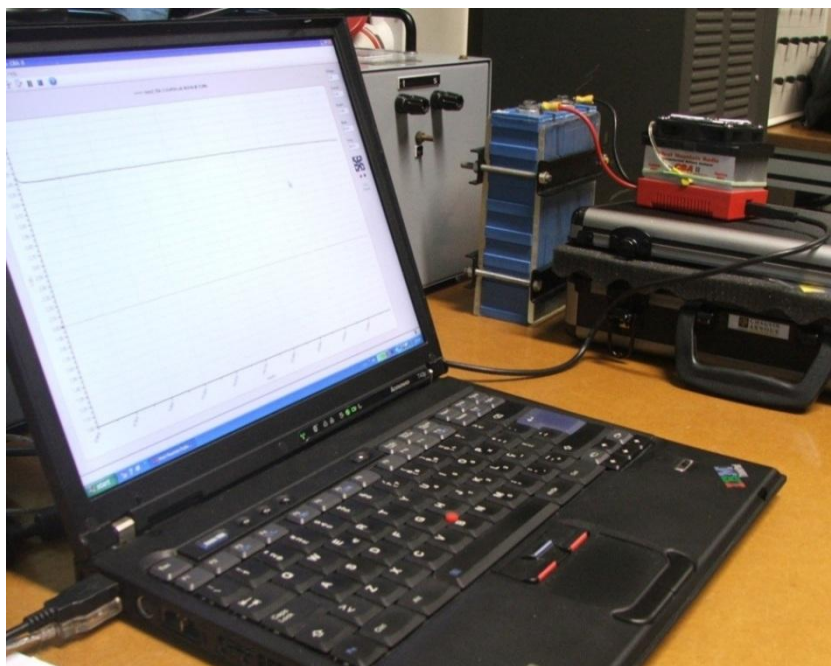


Figura 3.6 – Teste de descarga, bateria CALB 40Ah e CBA III

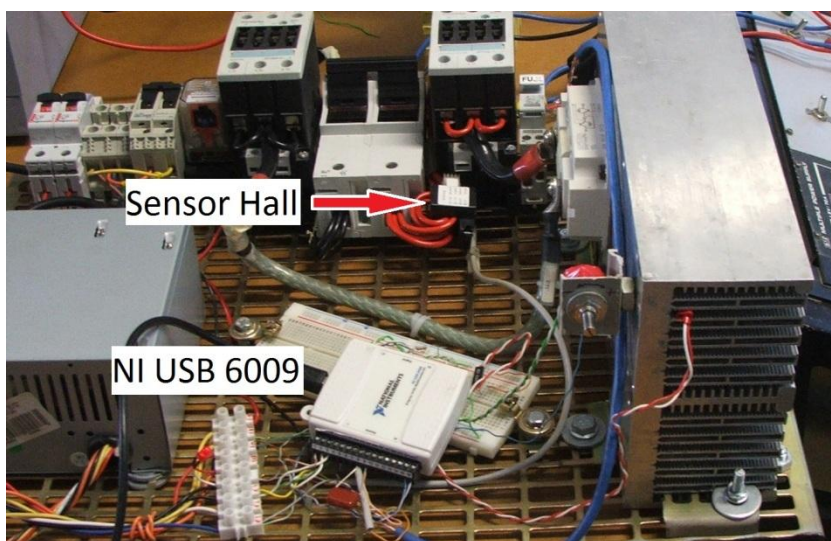


Figura 3.7 – Teste de carga, bateria da CALB de 40 Ah (LFP).

Nas Figuras seguintes apresenta-se o painel frontal e diagrama de blocos do programa realizado em LabView para efectuar a carga da bateria CALB de 40Ah. O programa desenvolvido mede dois sinais, a tensão e corrente. A medição de tensão é efectuada directamente pelo equipamento NI USB 6009, enquanto que o sinal de corrente é medido através de um sensor de hall adequado para o efeito. O controlo é efectuada em cadeia fechada através de um PID implementado em LabView.

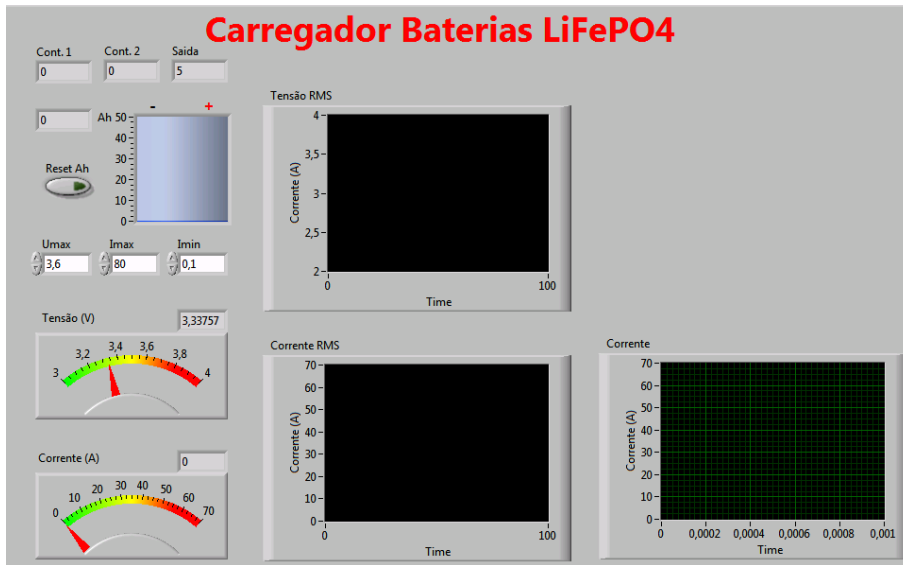


Figura 3.8 – Painel frontal do programa em LabView

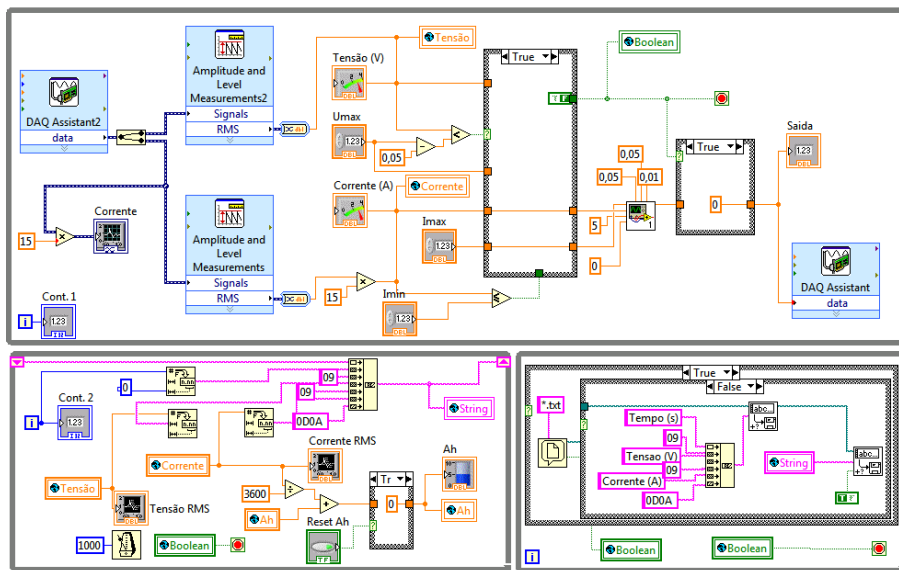


Figura 3.9 – Diagrama de blocos do programa em LabView

Foi possível testar a bateria até cerca de 25A de descarga (0,6C). Sendo a bateria de 40Ah, observou-se que a sua tensão é relativamente constante, variando entre os 3,30 V e 3,15V, entre o início da descarga e até atingir os 40Ah. Segundo as indicações do fabricante é possível descarregar a bateria até 2,5V. Verifica-se que a capacidade efectiva da bateria é de aproximadamente 48Ah, cerca de 18% acima da capacidade indicada.

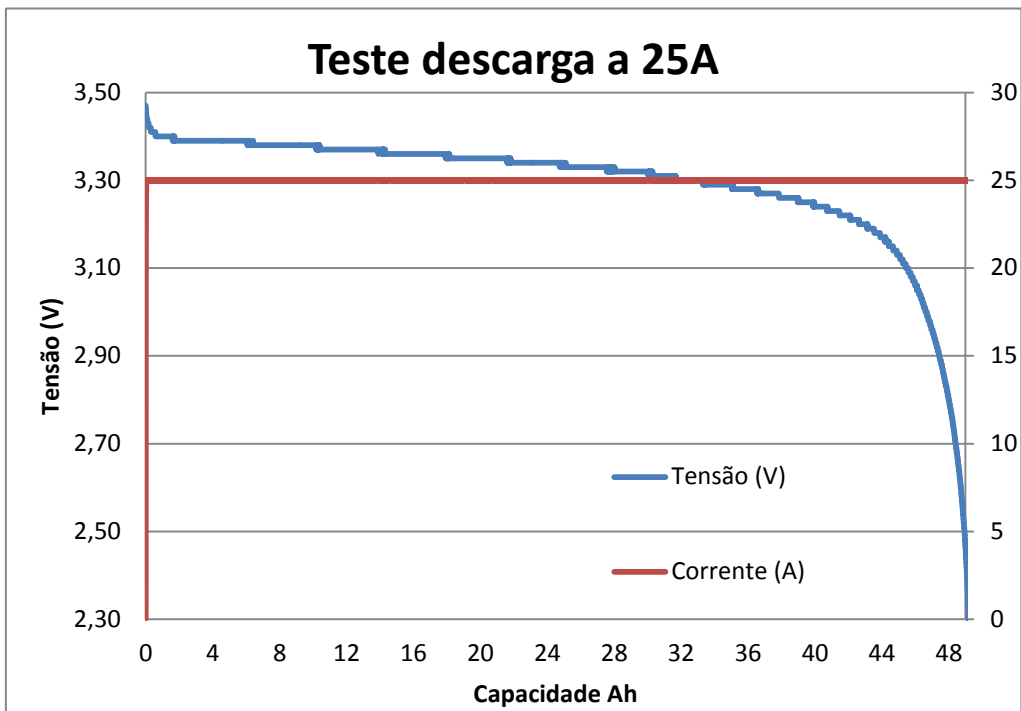


Figura 3.10 – Teste de descarga a 0,6C(A) (25A)

No Projecto Veeco utilizaram-se baterias da ThunderSky de LFP 3,2V 160Ah referência TS-LFP160AHA, ilustrado na Figura 3.11. Foi necessário efectuar testes nestas baterias, apesar de serem semelhantes à bateria testada anteriormente (CALB de 40Ah).



Figura 3.11 – Baterias de LFP, da ThunderSky de 160 Ah, referência TS-LFP160AHA

3.3 – Análises dos resultados dos testes a baterias de 10Ah

O autor do livro *ICE FREE* [41], John Hardy, realizou vários ensaios a baterias de iões de Litio do tipo LFP. Um desses ensaios foi a um banco de baterias com o pressuposto de possibilitar a utilização das baterias sem aplicar qualquer tipo de balanceadores, desde que as mesmas fossem inicialmente balanceadas por baixo (ver secção 3.6.1 – Balanceamento) quando da sua montagem como banco de baterias.

As baterias testadas foram baterias de LFP do fabricante Headway 38120S, de 10Ah [42] de capacidade nominal, 8 baterias ligadas em série para formar o banco de baterias foram sujeitas a cargas e descarga de um modo automatizado, descarga e carga a cerca de 2C (20A). Durante os primeiros 472 ciclos, e nos ciclos seguintes a carga foi cerca de 0,75C (7,5A).

A Figura 3.13 mostra a montagem efectuada com 8 baterias ligadas em série. Para a aquisição e processamento de sinal foram utilizados os seguintes equipamentos: um Cell-log 8S para medição das tensões individuais, um arduino Mega 2560 (Atmel ATmega2560) com um *software* desenvolvido em *Processing* [43], um computador para permitir o registo de dados e em conjunto com um serviço de recolha de dados na *cloud*.

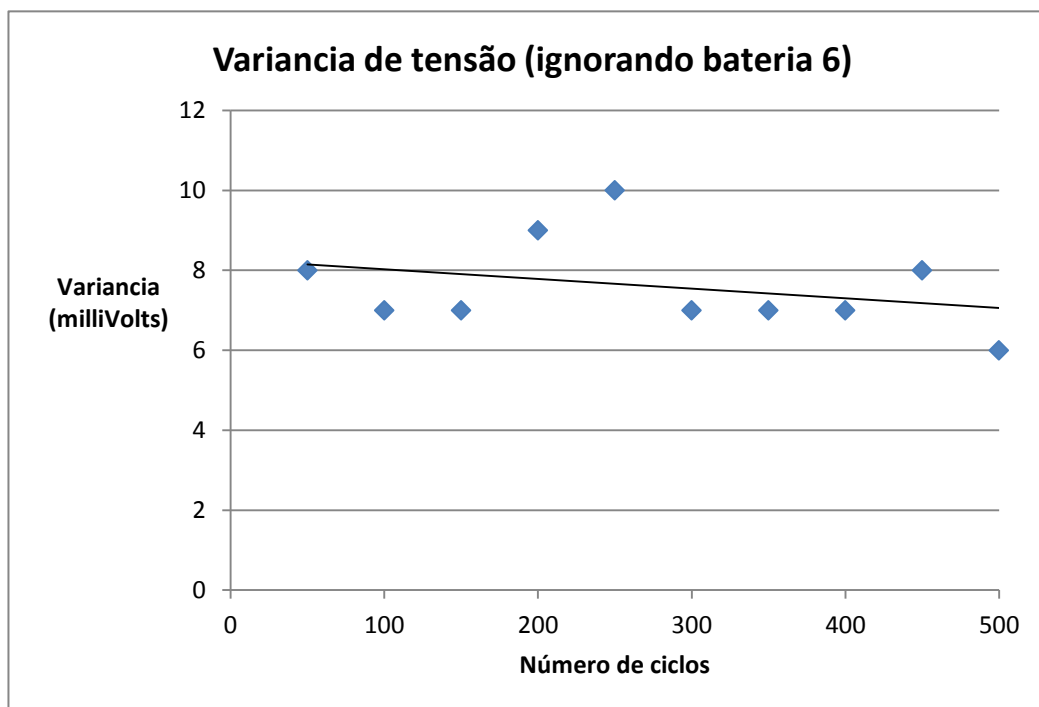


Figura 3.12 – Variância de tensões (mV)

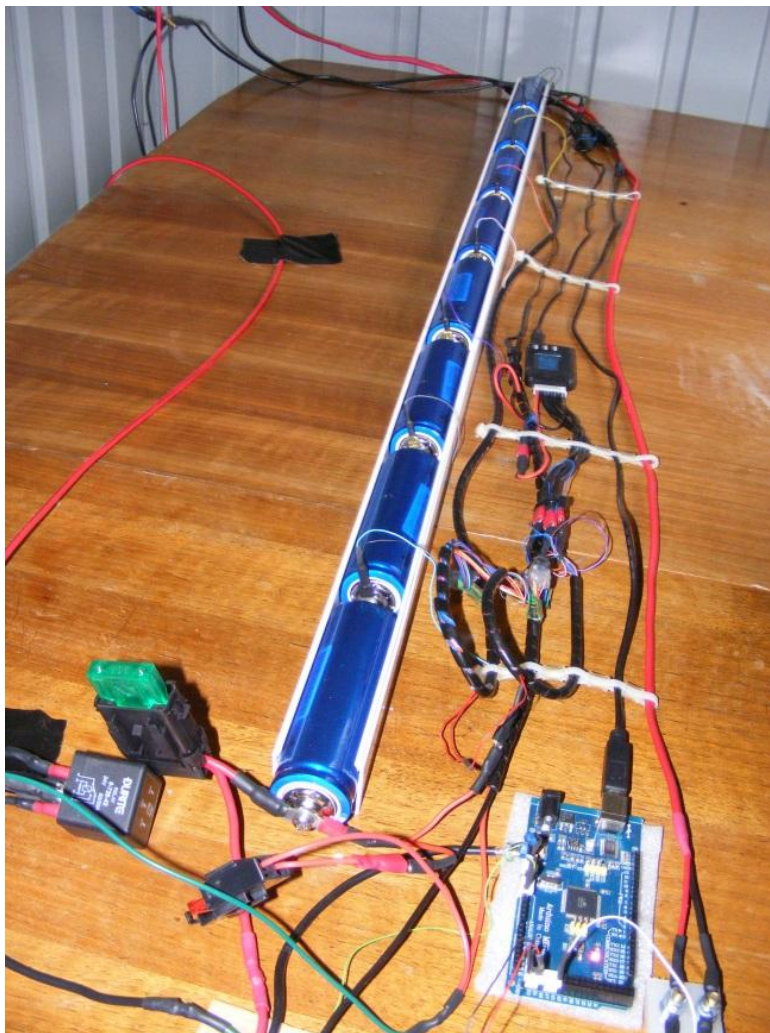


Figura 3.13 – Banco de baterias em teste

Na Figura 3.12 são apresentados alguns dados destes testes. O teste terminou após 576 ciclos devido a falha da bateria n.º 6. É possível que a falha prematura se tenha devido aos elevados regimes de carga e descarga de 2C, acima do recomendado pelo fabricante.

Os testes foram iniciados em Junho de 2012, completando 50 ciclos de carga e descarga no dia 10 de Junho de 2012 e 500 ciclos no dia 17 de Julho de 2012.

A variância de tensão é a diferença de tensão entre a bateria com a tensão superior e a bateria com tensão inferior. Este valor de tensão em mV indica se as baterias por algum motivo apresentariam diferenças significativas entre elas e se essa diferença poderia vir a aumentar, caso exista desequilíbrio nas varias baterias.

Pela análise do gráfico da Figura 3.12, verifica-se que o pouco desequilíbrio entre baterias se mantém relativamente constante sem tendência para aumentar. O facto de haver sistemas de balanceamento justificava-se na crença que a variância (*drift*) teria tendência a aumentar, ao longo da utilização de um banco de baterias.

Portanto, uma conclusão importante é de que, um sistema automático de balanceamento não é necessário, tornando assim um possível sistema de monitorização e gestão de baterias mais simples, com menos componentes necessários para a construção do sistema.

3.4 – Análises e ensaios de baterias de 100Ah, ensaios termográficos

Efectuaram-se vários ensaios num kart, através da parceria entre o ISEL e a empresa VE, por utilizar a mesma tecnologia que o Veeco, embora a uma escala inferior, equipado com um motor de indução e um controlador ZAPI, AC3 para 48V e 650A_{rms} e 15 baterias ThunderSky de 100Ah.

Para a realização dos ensaios de termografia utilizou-se uma câmara termográfica FLIR i50, cedida pela empresa MRA – Company off Alava Ingenieros S.A. Durante os testes observou-se que os terminais da bateria 9 registavam uma temperatura superior a qualquer um dos restantes. As ligações foram reapertadas, mas chegou-se à conclusão que o problema não eram as ligações, mas a própria bateria que estava abaixo do valor mínimo do fabricante (2,8V). Contudo, deu-se continuidade ao teste destrutivo, de modo a analisar os resultados.

A bateria atingiu cerca de 100° Célsius, a válvula de segurança abriu libertando algum do electrólito. Apesar dos testes ultrapassarem os limites recomendados pelo fabricante e a bateria ficar inutilizada, não causou incidentes, nem libertação de fumos ou efeito de fuga térmica. A Figura 3.14 mostra o relatório de análise termográfica

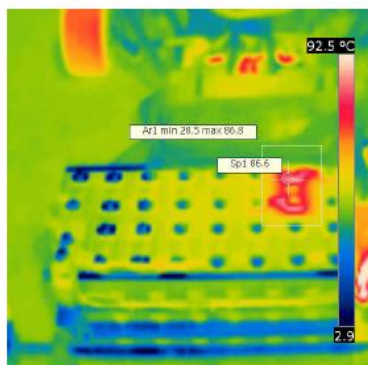


Relatório de análise

Data do relatório 17-07-2010

Empresa ISEL
Endereço LISBOA
Operador de termografia Nuno Rodeia

Cliente VE
Endereço do site ENTRONCAMENTO
Pessoa a contactar João Oliveira



Parâmetros da imagem e do objecto		Comentário de texto	
Modelo de câmara	FLIR i50	Confirmação BAT NOK	87°C
Data da imagem	17-07-2010 11:12:52	Temp. Ambiente	35°C
Nome da imagem	IR_1348.jpg		
Emissividade	0,78		
Temperatura reflectida	20,0 °C		
Distância do objecto	1,5 m		
Descrição			
Confirmação defeito das baterias detectadas.			

Figura 3.14 – Ensaio do kart com baterias de 100Ah da ThunderSky

O ensaio confirma que estas baterias são bastante seguras, não sendo necessários cuidados em especial para garantir a segurança dos utilizadores sendo, uma escolha assertiva para aplicações automóveis.

Este teste está de acordo com o verificado no gráfico da Figura 3.3: baterias de LFP são mais seguras. As baterias de iões de lítio do tipo LCO, acima dos 150°C apresentam um elevado risco de ocorrer fuga térmica, enquanto que a LFP só a partir dos 280°C é que apresenta risco de fuga térmica.

No kart foi instalado um sistema de BMS da Clean Power Auto [44], MiniBMS, que realizava as funções de balanceamento por cima automaticamente, a cada ciclo de carga completa, e protecção das baterias através de saídas a relés actuados por condições de alarme.



Figura 3.15 – Kart antes e depois da instalação do MiniBMS

3.5 – Análises e ensaios iniciais de baterias

Em conformidade com os dados fornecidos pelo fabricante das baterias Sinopoly Battery Limited (antiga Thundersky Battery Company) [22], foram efectuados testes a baterias para cruzamento e comparação de resultados que se apresentam de seguida.

3.5.1 – Análise e ensaios para verificação de taxa de auto-descarga

O fabrico das baterias data de 18 Janeiro de 2010, e os testes iniciais que foram efectuados a partir de 3 de Outubro de 2011 (cerca de 22 meses após o fabrico), 14 de Março de 2012 (26 meses após fabrico) e 16 de Julho de 2012 (30 meses após fabrico). As baterias estavam em armazém, sem qualquer utilização. Para estes ensaios foi utilizado o equipamento CBA III. Com o pressuposto de que as baterias são enviadas da fábrica com cerca de 50% ($\pm 5\%$) de carga, foi efectuado o seguinte teste:

- Descarga inicial a 0,1C (16A) até atingir 2,80V,
- Registo dos Ah da descarga inicial,
- Carregamento total da bateria a corrente constante 0,1C (16A) até atingir 3,80V, e depois a tensão constante até 0,05C (8A) de corrente,
- Descarga a 0,1C (16A) até atingir 2,80V,
- Registo dos Ah da descarga.

Através deste teste é possível registar o estado inicial de carga da bateria e comparar com a sua capacidade total e verificar qual a taxa de autodescarga.

A indicação do fabricante das baterias é de uma auto-descarga inferior a 3% por mês e necessidade de recarregar as baterias que fiquem armazenadas por mais de 365 dias.

Tabela 3.2 – Verificação da taxa de auto-descarga – 22 meses

N.ºsérie	Tensão(V) 3-Out-2011	Capacidade inicial (Ah) 0,1C 16A@2,80V		Auto descarga (supondo 55%) %/mês	Capacidade (Ah) 0,1C 16A@2,8V
		Ah	%		
100109-F42 291	3,303	99,527	51,0	0,181	195,066
100109-F42 292	3,303	98,483	49,5	0,251	199,000
100109-F42 293	3,301	94,206	50,5	0,206	186,673
100109-F42 294	3,302	94,978	50,4	0,210	188,512
100109-F42 295	3,302	96,296	49,5	0,251	194,611
100109-F42 371	3,303	98,500	50,7	0,196	194,291
100109-F42 372	3,292	69,300	35,0	0,910	198,167
100109-F42 373	3,303	101,000	51,6	0,156	195,897
100109-F42 374	3,303	102,500	51,1	0,176	200,471
100109-F42 375	3,302	95,100	49,2	0,262	193,114

Tabela 3.3 – Verificação da taxa de auto-descarga – 26 meses

N.ºsérie	Tensão(V) 14-Mar- 2012	Capacidade inicial (Ah) 0,1C 16A@2,80V		Auto descarga (supondo 55%) %/mês	Capacidade (Ah) 0,1C 16A@2,8V
		Ah	%		
100109-F42 256	3,303	103,103	53,3	0,064	193,304
100109-F42 257	3,302	100,108	51,7	0,128	193,753
100109-F42 258	3,301	96,880	51,8	0,122	186,939
100109-F42 259	3,300	86,305	44,4	0,407	194,276
100109-F42 260	3,303	103,850	53,6	0,056	193,928
100109-F42 261	sem medida	95,982	50,5	0,174	190,191
100109-F42 262	3,303	104,437	54,0	0,038	193,327
100109-F42 263	3,188	14,871	7,9	1,813	189,182
100109-F42 264	3,300	93,188	50,4	0,179	185,077
100109-F42 265	3,302	100,000	52,9	0,082	189,104
100109-F42 271	3,301	95,858	50,5	0,172	189,721
100109-F42 272	3,301	98,402	51,9	0,119	189,537
100109-F42 273	3,301	96,096	50,5	0,173	190,250
100109-F42 274	3,302	99,028	53,9	0,043	183,793
100109-F42 275	3,301	96,006	50,4	0,176	190,406
100109-F42 281	3,113	7,798	4,1	1,959	191,929
100109-F42 282	3,302	Falha - PC	-	-	192,348
100109-F42 283	3,301	101,285	54,3	0,026	186,476
100109-F42 284	3,301	96,734	50,7	0,166	190,891
100109-F42 285	3,302	100,541	52,5	0,097	191,564

Tabela 3.4 – Verificação da taxa de auto-descarga – 30 meses

N.ºsérie	Tensão(V) 16-Ago- 2012	Capacidade inicial (Ah) 0,1C 16A@2,80V		Auto descarga (supondo 55%) %/mês	Capacidade (Ah) 0,1C 16A@2,8V
		Ah	%		
100109-F42 296	3,302	96,961	52,7	0,076	183,920
100109-F42 297	3,301	95,231	49,7	0,176	191,567
100109-F42 298	3,301	97,843	50,9	0,137	192,248
100109-F42 299	3,301	96,610	49,9	0,169	193,440
100109-F42 300	3,300	94,998	49,3	0,191	192,842
100109-F42 321	3,301	96,871	50,5	0,150	191,874
100109-F42 322	3,301	95,154	50,3	0,157	189,156
100109-F42 323	3,300	92,241	49,4	0,187	186,774
100109-F42 324	3,299	87,821	47,0	0,267	186,863
100109-F42 325	3,300	91,324	47,9	0,236	190,606

Com excepção das 3 baterias, em destaque a amarelo, (n.º de série 100109-F42372, 100109-F42263 e 100109-F42281), em todas as outras baterias testadas observa-se auto-descarga bastante reduzida quase inexistente.

Nas 3 baterias que apresentam resultados diferentes verifica-se que têm capacidade inicial em abaixo dos 50% pressupondo-se que as baterias não foram carregadas adequadamente quando a saída de fábrica ou apresentam algum tipo de defeito de fabrico.

3.5.2 – Análise e ensaios à capacidade das baterias

Foram efectuados testes de modo a determinar qual a capacidade das baterias. O equipamento usado nos testes de capacidade foi Revolectrix PowerLab6. O procedimento foi o seguinte:

- Carregamento total da bateria, a corrente constante 0,2C (32A) até atingir 3,80V, e depois a tensão constante até 0,05C (8A) de corrente,
- Descarga a 0,2C (32A) até atingir 2,80V,
- Registo da capacidade em Ah da descarga.

De seguida apresenta-se uma Tabela com o resumo dos ensaios efectuados.

Tabela 3.5 – Resultados dos ensaios de capacidade

Modelo:		TS-LFP160AHA	Data de fabrico:		2010.01.18
N.º série		Impedância (mohm) dados do fabricante	Tensão(V) dados do fabricante	Capacidade (Ah) 0,3C 50A dados do fabricante	Capacidade testada (Ah) 0,2C 32A @ 2,8V
100109-F42	347	0,33	3,312	177,0	191,581
100109-F42	307	0,26	3,312	177,0	190,659
100109-F42	299	0,25	3,120	177,0	189,583
100109-F42	349	0,24	3,308	177,0	189,147
100109-F42	374	0,31	3,312	178,0	189,109
100109-F42	276	0,28	3,312	178,0	188,950
100109-F42	300	0,24	3,310	177,0	188,664
100109-F42	313	0,26	3,310	178,0	188,517
100109-F42	354	0,27	3,310	177,0	188,457
100109-F42	315	0,27	3,309	178,0	188,189
100109-F42	298	0,23	3,310	177,0	188,091

N.º série		Impedância (mohm) dados do fabricante	Tensão(V) dados do fabricante	Capacidade (Ah) 0,3C 50A dados do fabricante	Capacidade testada (Ah) 0,2C 32A @2,8V
100109-F42	279	0,25	3,311	178,0	187,593
100109-F42	278	0,24	3,310	178,0	187,176
100109-F42	290	0,30	3,311	178,0	187,143
100109-F42	371	0,26	3,310	178,0	186,931
100109-F42	296	0,27	3,312	177,0	186,902
100109-F42	346	0,22	3,309	177,0	186,859
100109-F42	306	0,23	3,311	177,0	186,818
100109-F42	320	0,25	3,311	178,0	186,768
100109-F42	297	0,25	3,311	177,0	186,756
100109-F42	332	0,31	3,310	178,0	186,531
100109-F42	308	0,26	3,309	177,0	186,300
100109-F42	289	0,28	3,310	178,0	186,197
100109-F42	350	0,25	3,309	177,0	185,970
100109-F42	348	0,25	3,309	177,0	185,882
100109-F42	277	0,31	3,310	178,0	185,816
100109-F42	363	0,25	3,308	178,0	185,769
100109-F42	257	0,26	3,311	178,0	185,722
100109-F42	352	0,26	3,310	177,0	185,661
100109-F42	309	0,34	3,311	177,0	185,638
100109-F42	353	0,24	3,308	177,0	185,626
100109-F42	362	0,25	3,310	178,0	185,559
100109-F42	351	0,24	3,309	177,0	185,468
100109-F42	287	0,28	3,310	178,0	185,461
100109-F42	274	0,29	3,311	178,0	185,376
100109-F42	310	0,24	3,311	177,0	185,250
100109-F42	328	0,29	3,311	177,0	185,188
100109-F42	333	0,29	3,310	178,0	185,097
100109-F42	288	0,26	3,312	178,0	185,037
100109-F42	262	0,22	3,312	177,0	184,941
100109-F42	282	0,27	3,311	178,0	184,881
100109-F42	335	0,21	3,311	178,0	184,785
100109-F42	281	0,23	3,308	178,0	184,618
100109-F42	321	0,27	3,311	178,0	184,584
100109-F42	256	0,27	3,312	178,0	184,491
100109-F42	365	0,24	3,309	178,0	184,475
100109-F42	260	0,25	3,312	178,0	184,423
100109-F42	319	0,32	3,311	178,0	184,407
100109-F42	364	0,23	3,309	178,0	184,371
100109-F42	372	0,23	3,311	178,0	184,366
100109-F42	259	0,30	3,309	178,0	184,284
100109-F42	327	0,28	3,310	177,0	184,192

N.º série		Impedância (mohm) dados do fabricante	Tensão(V) dados do fabricante	Capacidade (Ah) 0,3C 50A dados do fabricante	Capacidade testada (Ah) 0,2C 32A @2,8V
100109-F42	329	0,23	3,307	177,0	183,695
100109-F42	318	0,25	3,310	178,0	183,539
100109-F42	285	0,26	3,312	178,0	183,514
100109-F42	326	0,26	3,310	177,0	183,383
100109-F42	331	0,27	3,309	178,0	183,361
100109-F42	280	0,30	3,311	178,0	183,145
100109-F42	334	0,25	3,312	178,0	182,957
100109-F42	325	0,22	3,310	178,0	182,923
100109-F42	284	0,24	3,310	178,0	182,900
100109-F42	286	0,25	3,311	178,0	182,897
100109-F42	373	0,22	3,312	178,0	182,890
100109-F42	292	0,26	3,311	177,0	182,668
100109-F42	361	0,21	3,310	178,0	182,642
100109-F42	264	0,24	3,309	177,0	182,554
100109-F42	291	0,24	3,312	177,0	182,415
100109-F42	314	0,25	3,312	178,0	182,345
100109-F42	317	0,25	3,309	178,0	182,317
100109-F42	330	0,25	3,311	177,0	181,896
100109-F42	316	0,20	3,312	178,0	181,862
100109-F42	323	0,21	3,310	178,0	181,720
100109-F42	322	0,24	3,310	178,0	181,592
100109-F42	261	0,22	3,310	177,0	181,503
100109-F42	265	0,26	3,311	177,0	181,400
100109-F42	355	0,23	3,308	177,0	181,388
100109-F42	275	0,27	3,310	178,0	181,106
100109-F42	312	0,23	3,310	178,0	180,602
100109-F42	273	0,29	3,310	178,0	180,523
100109-F42	295	0,25	3,309	177,0	180,307
100109-F42	263	0,29	3,311	177,0	180,227
100109-F42	324	0,26	3,308	178,0	180,180
100109-F42	272	0,26	3,310	178,0	180,129
100109-F42	271	0,27	3,311	178,0	179,906
100109-F42	258	0,21	3,311	178,0	179,679
100109-F42	375	0,31	3,310	178,0	179,100
100109-F42	283	0,22	3,312	178,0	178,852
100109-F42	311	0,26	3,311	178,0	178,143
100109-F42	293	0,26	3,310	177,0	177,438
100109-F42	294	0,29	3,310	177,0	177,413

Pode-se verificar que a capacidade das baterias testadas varia entre os 177Ah e 191Ah, bastante diferente dos valores indicados pelo fabricante, apesar da diferença ser por excesso. O teste de capacidade das baterias apesar

de não ter sido efectuado nas mesmas condições que indica o fabricante (descarga a 0,3C 50A) é útil para efectuar uma selecção de modo a utilizar as baterias com menor diferença de capacidades no mesmo banco de baterias.

3.6 – Análises e ensaios de baterias em banco de ensaios

Para o desenvolvimento do sistema de protecção, monitorização e gestão de baterias, foi criado um banco de ensaios semelhante ao banco de baterias a usar no protótipo, sendo utilizado um sistema BMS recomendado pelo fabricante de baterias, Lithium Power BMS GTBMS005A-MC11 da Harbin GuanTuo Power co. Ltd. Apartir deste equipamento, é possível analisar o comportamento das baterias e quais os parâmetros a ter em conta para o sistema de BMS a desenvolver.

No banco de ensaios foi utilizado o Lithium Power BMS GTBMS005A-MC11 da Harbin GuanTuo Power co. Ltd, mas o *software* fornecido com o sistema não permitia gravar os dados recolhidos. Para contornar essa falha foi criado um programa em LabView que permitia gravar os dados registados pelo sistema de monitorização. Nas Figuras seguintes mostra-se o painel fontral e o diagrama de blocos desse programa.

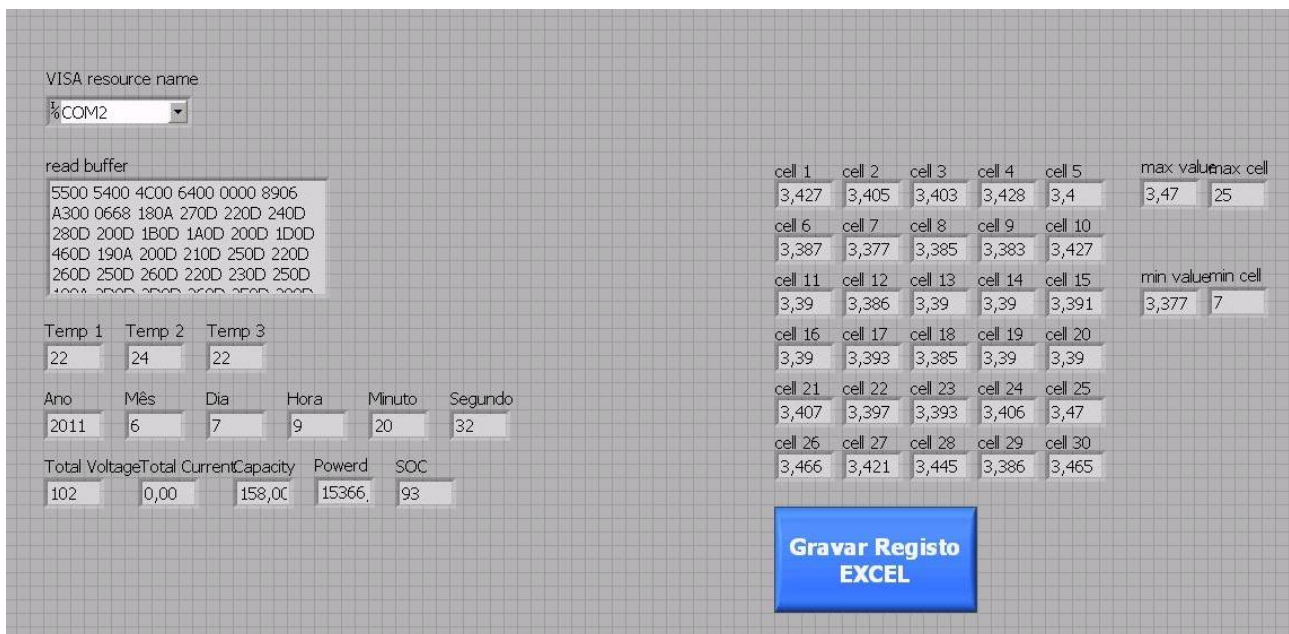


Figura 3.16 – Painel fontral do programa

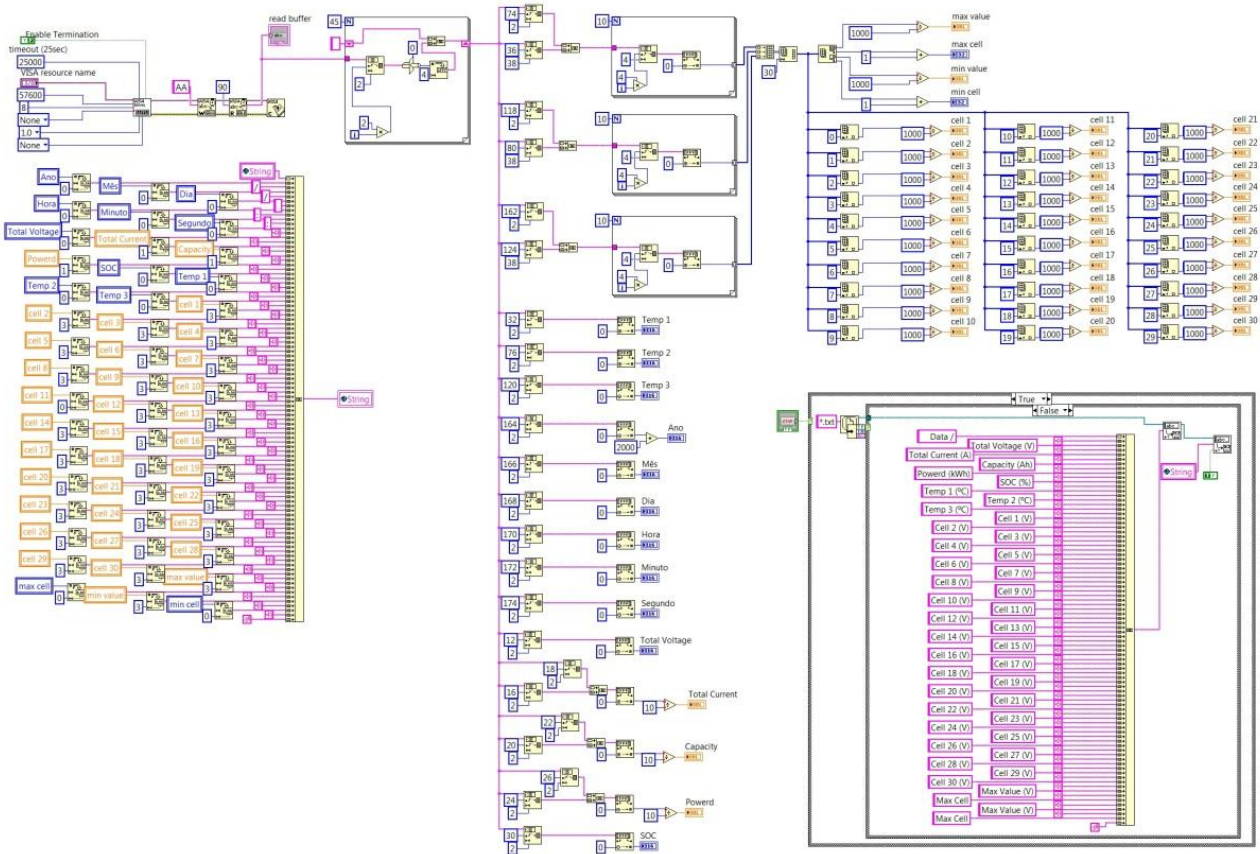


Figura 3.17 – Diagrama de blocos do programa

O banco de ensaios era constituído por 30 baterias de LFP da 160Ah, totalizando 96V nominal, com uma capacidade nominal de 15,36kWh. O Lithium Power BMS GTBMS005A-MC11 monitorizava as tensões individuais das 30 baterias, três temperaturas e corrente através de um sensor de Hall.

Foram realizados 2 ensaios para verificar qual o comportamento com 2 soluções diferentes em termos de balanceamento, tal como discutido em pormenor nas secções seguintes. O *software* do LabView, permitiu ter acesso aos dados históricos do BMS para análise posterior.

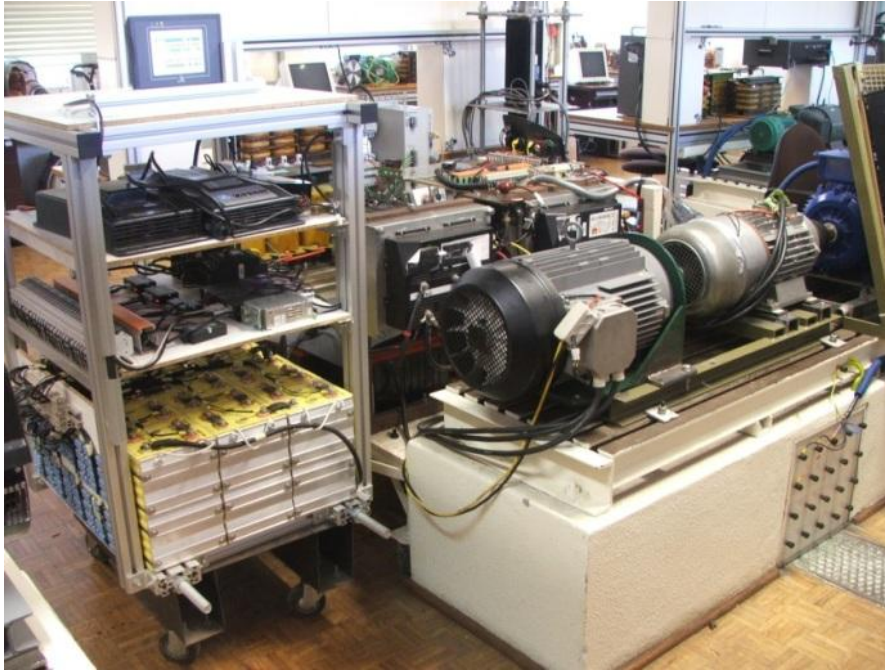


Figura 3.18 – Vista geral do banco de ensaios

3.6.1 – Balanceamento

Devido aos processos de fabrico e escalas microscópicas utilizadas (a espessura típica de material activo no colector de corrente pode variar entre 30 a 100 μm para LiFePO_4 e de 20 a 80 μm para carbono) é difícil obter uma superfície uniforme e igual para todas as baterias fabricadas. Consequentemente, verifica-se uma diferenciação na capacidade das baterias. Com a evolução dos processos de fabrico e controlo de qualidade as baterias tem vindo a melhorar.

Assim sendo, é necessário balancear as células individuais que formam a bateria de tracção. Existem duas formas para o balanceamento de baterias, o balanceamento por cima (top balancing) ou balanceamento por baixo (bottom balance). O presente documento não se refere ao balanceamento a 50% já que não se aplica à utilização pretendida, pois este método de balanceamento tem aplicação em sistemas híbridos.

O balanceamento por cima garante que todas as células constituintes de um banco de baterias após a carga das mesmas se encontram totalmente carregadas, como ilustrado e detalhado nas Figura 3.19, e 3.20.

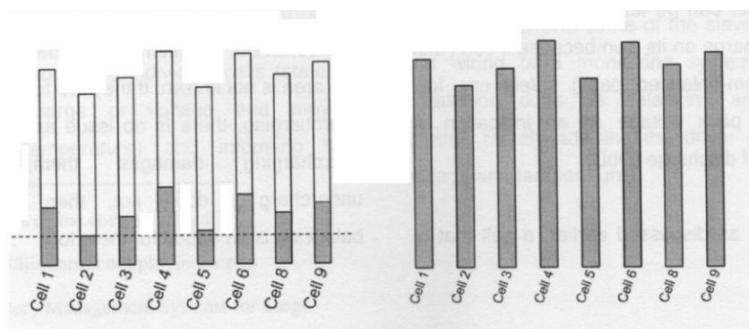


Figura 3.19 – Balanceamento por cima [41]

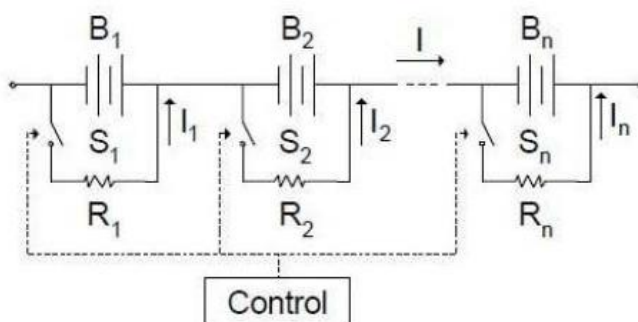


Figura 3.20 – Esquema simplificado para balanceamento por cima [45]

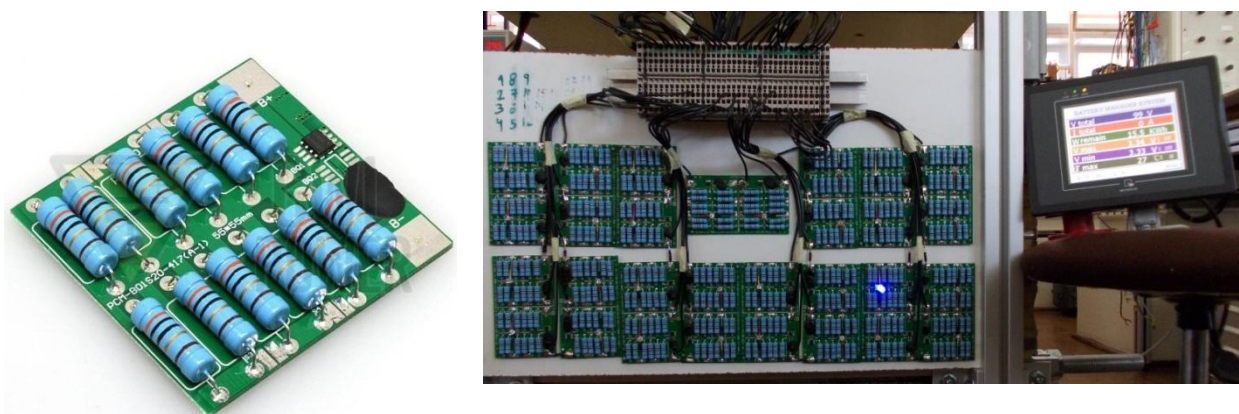


Figura 3.21 – Dispositivos utilizados para efectuar o balanceamento no banco de ensaios

O balanceamento automático por cima é conseguido durante a fase final de carga das baterias, quando estas estão a aproximar-se do final da carga, através de uma ou mais resistências ligadas em paralelo com células individuais de modo a permitir que todas as células individuais fiquem carregadas. As características dos dispositivos usados estão na Tabela 3.6.

Tabela 3.6 – Parâmetros de funcionamento do módulo de balanceamento [32]

Parâmetros de funcionamento	
Tensão de balanceamento	3,60 V (+/- 0.05 V)
Tensão de mínima de balanceamento	3,50 V (+/- 0,05V)
Tensão máxima absoluta	5,00 V
Corrente de balanceamento	0 A a 1,7 A
Consumo próprio	< 20 μ A
Temperatura de operação	-40°C a 125°C

O balanceamento automático por cima apresenta a vantagem de ter uma protecção passiva quando se efectua a carga, podendo proteger as baterias quando em carga, apesar de nesta situação o modo de utilização ser automático sem intervenção do utilizador.

A desvantagem do balanceamento por cima é quando em descarga e se existir falha do sistema de protecção, monitorização e gestão ou este sistema por algum motivo for desligado pelo utilizador, há o risco de danificar uma ou mais células devido à reversão da mesma quando atingir 0V e devido à tensão relativamente alta do banco de baterias (81V). O sistema de tracção irá continuar a funcionar danificando permanentemente as células mais fracas sucessivamente até atingir o valor de tensão mínimo e desligar-se, como evidenciado na Figura 3.22.

O balanceamento por cima é o mais utilizado pelos fabricantes de sistemas de protecção, monitorização e gestão de baterias. O método do balanceamento por baixo está referido e detalhado numa patente da Dewalt/Black&Decker [46] e nos vídeos e blog de Jack Rickard [47], em particular no vídeo de 13 de Novembro de 2009 [30].

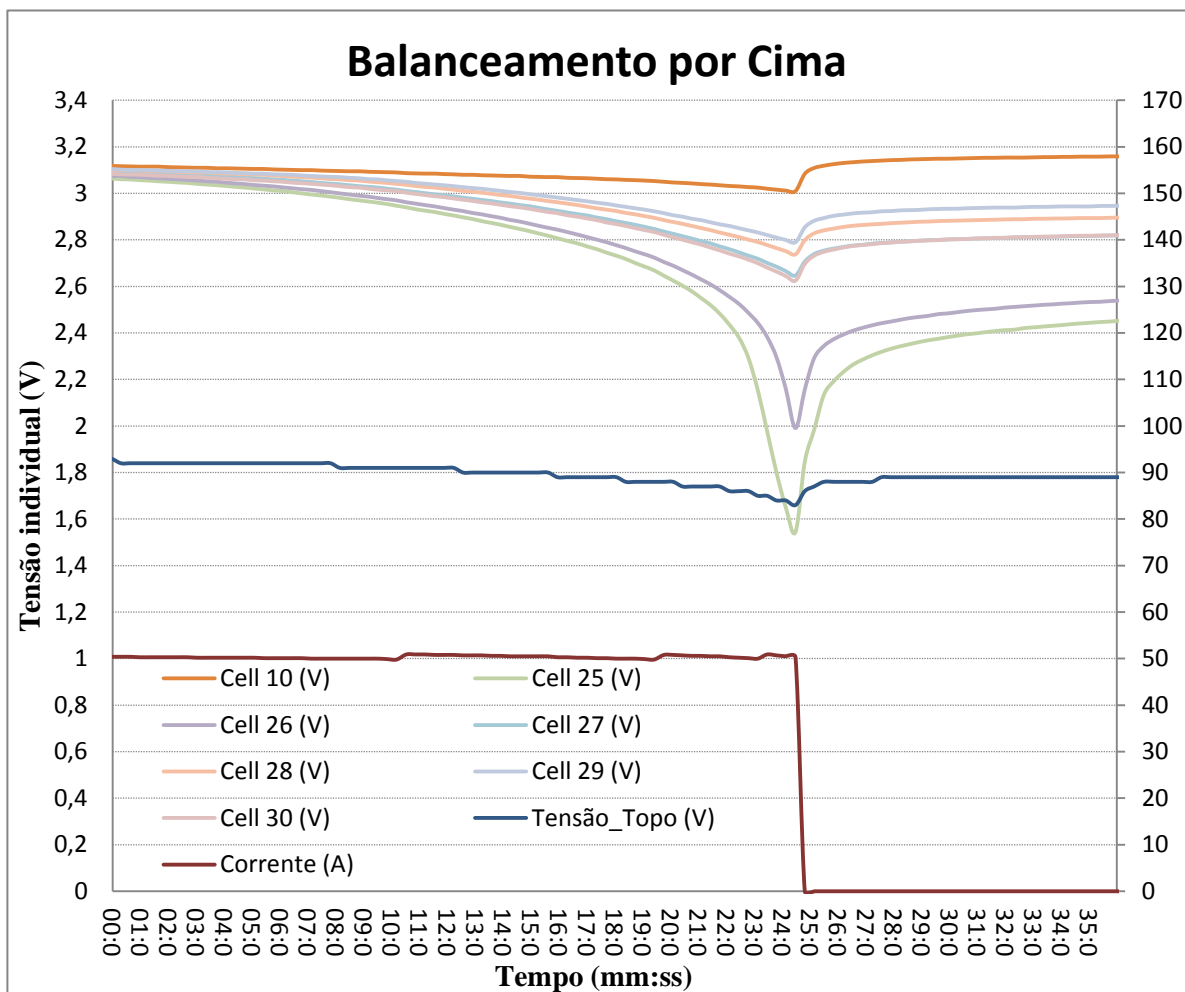


Figura 3.22 – Exemplo de teste de descarga com o banco de baterias balanceado por cima

O balanceamento por baixo, consiste em descarregar todas as células de uma bateria ao mesmo nível, para que quando da descarga se encontrem todas com o mesmo estado de carga, como evidenciado na Figura 3.23.

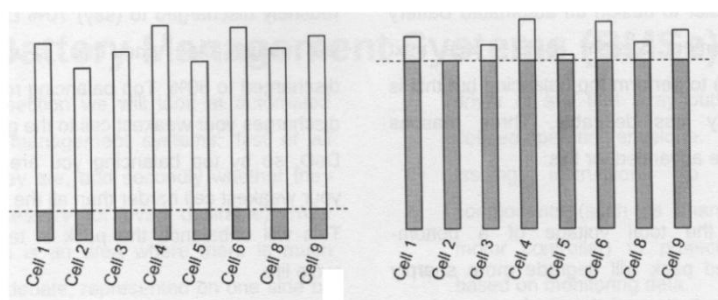


Figura 3.23 – Balanceamento por baixo [41]

Ambas as situações apresentam vantagens e desvantagens. No banco de ensaios as baterias foram descarregadas de modo a fazer um balanceamento por baixo, carregadas e seguidamente descarregados para analisar o seu comportamento em funcionamento. Manteve-se a corrente de descarga em cerca de 50 A ($\sim 0,3C$), e foram registados os valores. Para clareza de leitura, no gráfico da figura abaixo apenas são visualizadas tensões de 7 dos 30 elementos que compõem o banco de ensaios.

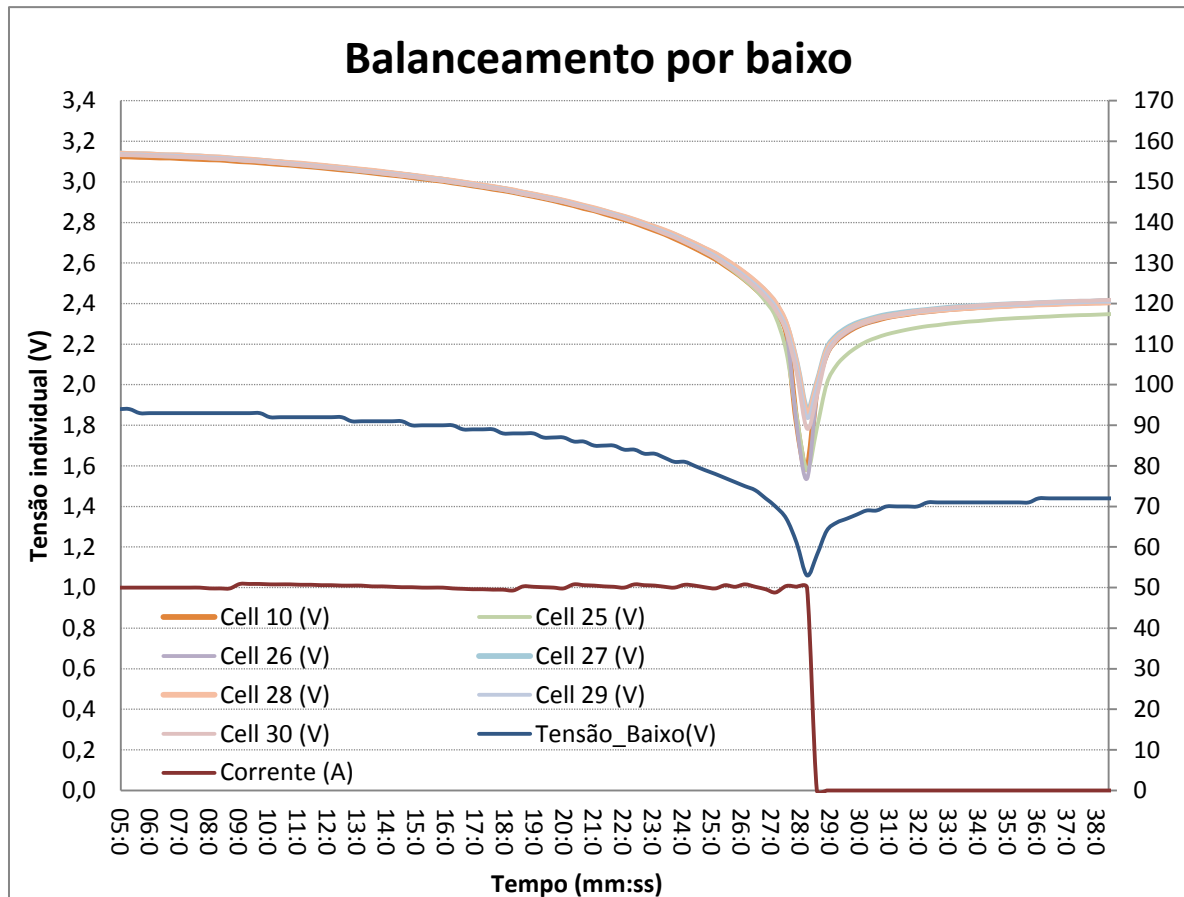


Figura 3.24 – Exemplo de teste de descarga com o banco de baterias balanceado por baixo

O balanceamento por baixo permite ter uma protecção passiva quando descarregada, dado que mesmo em caso de falha do sistema de protecção, monitorização e gestão, a bateria se encontra protegida, pois a um determinado valor de tensão o sistema de tracção irá limitar a corrente e desligar-se.

A desvantagem do balanceamento por baixo é quando as baterias se encontram à carga, mas tipicamente as correntes são mais baixas do que em situação de descarga. No veículo Veeco a corrente na bateria pode atingir cerca 800A em descarga, enquanto que o carregador utilizado tem uma corrente máxima de 25A. Sendo um sistema totalmente automático sem intervenção do utilizador, apenas requer o cuidado da selecção de um carregador adequado.

A seguinte tabela apresenta o resumo da análise dos gráficos que caracteriza os dois métodos.

Tabela 3.7 – Resumo dos ensaios de descarga

	Tensão mínima banco de ensaios	Tensão mínima numa célula	Tensão máxima numa célula	Média por célula
Balanceamento por cima	83 V	1.500 V (célula 25)	3.010 V (célula 10)	2.767 V
Balanceamento por baixo	53 V	1.550 V (célula 23)	1.979 V (célula 5)	1.767 V

Em suma, é possível descarregar as baterias até valores de tensão relativamente baixos como os observados no ensaio de descarga com balanceamento por baixo. No balanceamento por cima, apesar da tensão total ser mais elevada, caso alguma célula atinja 0V, isso não é perceptível no valor da tensão total e irá danificar permanentemente a célula sem possibilidade de qualquer recuperação.

3.7 – Vida útil das baterias de iões de lítio tipo LFP

Na folha de especificações técnicas dos fabricantes é referido para carga e descarga a 0,3C e 80% DOD (Depth of discharge) que as baterias efectuam pelo menos 2000 ciclos antes de atingir 80% da capacidade inicial.

Apesar do autor ter contactado vários fabricantes de modo a obter informações experimentais acerca do tempo de vida útil, tal informação não foi fornecida. Apenas foi possível adquirir o gráfico que se segue, através do blog de EVTV, data de entrada de 4 de Junho de 2010 [30].

Na Figura 3.25, está um gráfico que representa 500 ciclos de uma bateria de 180Ah. A sua capacidade inicial é cerca de 189,11Ah. De notar que a capacidade da bateria durante os primeiros 20 a 30 ciclos ainda aumenta ligeiramente e depois começa a decair a um ritmo mais ou menos constante. No fim do ensaio verifica-se que a bateria tem 179,82Ah, 95,08% da sua capacidade inicial, e que ao fim de 2000 ciclos representa cerca de 80% da capacidade inicial, mas com 100% DOD.

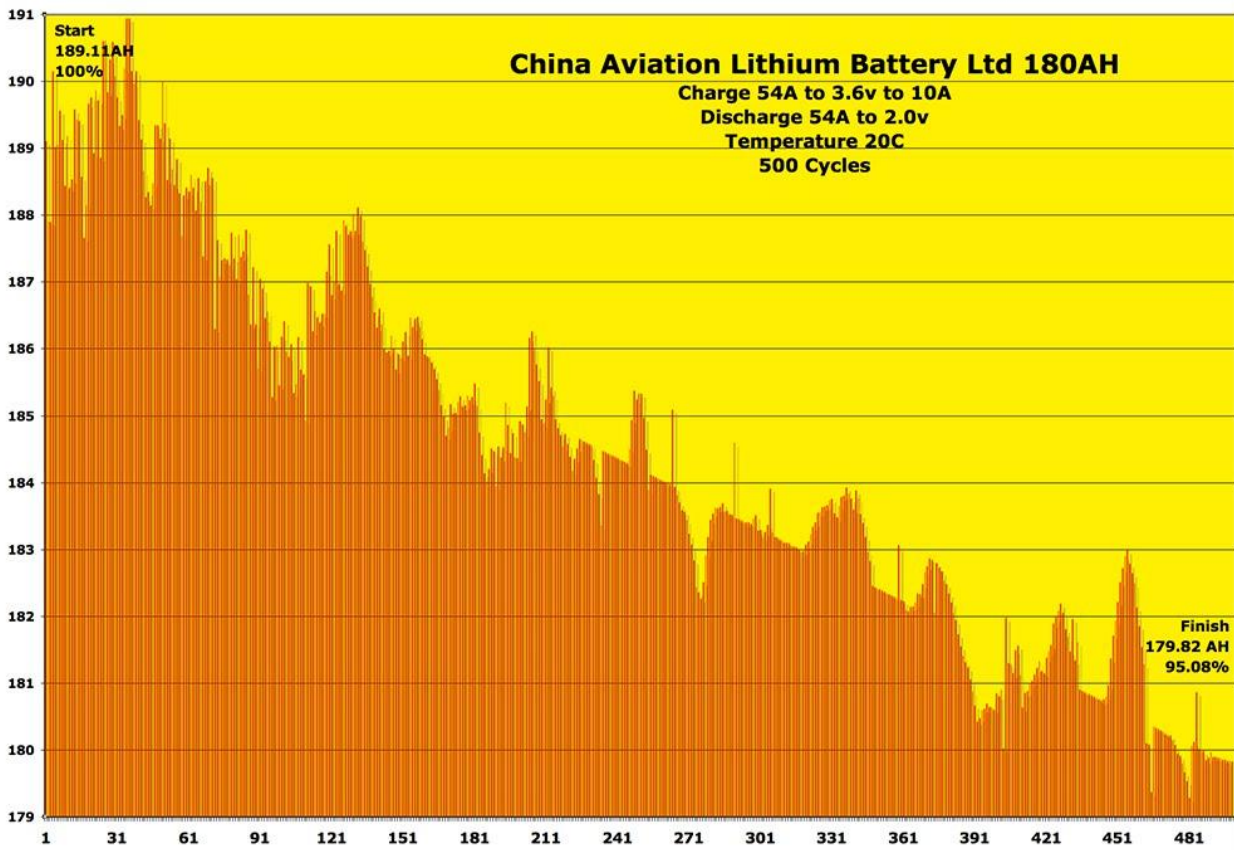


Figura 3.25 – Vida útil, bateria de íões de lítio do tipo LFP da CALB de 180Ah [30]

3.8 – Limites de operação

O fabricante das baterias na folha de especificações refere que os limites de operação das baterias são as seguintes: tensão máxima em carga 4,25V a 0,3C (48A para baterias de 160Ah), tensão mínima em descarga 2,50V a 0,3C (48A para baterias de 160Ah). A referir que com correntes mais elevadas este valor é inferior.

Contudo, em folhas de especificações mais recentes os limites são os seguintes: tensão máxima em carga 3,80V a 0,3C (48A para baterias de 160Ah), tensão mínima em descarga 2,80V a 0,3C (48A para baterias de 160Ah).

Analisando a folha de especificações, da Winston Battery Company, os limites são os seguintes: tensão máxima em carga 4,00V a 0,5C (80A para baterias de 160Ah), tensão mínima em descarga 2,80V a 0,5C (80A para baterias de 160Ah).

Apesar das baterias serem do tipo LFP e das mesmas fábricas (a ThunderSky dividiu-se em duas empresas, a Winston Battery e a Sinopoly Battery Company), existem diferenças entre os dois fabricantes acerca dos limites

de operação destas baterias. Portanto os limites a adoptar para o BMS desenvolvido será mais conservador, com 3,65V em carga e 2,80V a 0,3C na situação de descarga.

Quanto menor for a profundidade de descarga maior número de ciclos a bateria fará antes de atingir os 80% da capacidade inicial. O que não é referenciado pelo fabricante é o facto da bateria não ser carregada a 100% também prolonga o tempo de vida da bateria [48]. O manual de utilização do Nissan Leaf refere que carregar apenas a 80% do estado de carga melhora a longevidade da bateria, apesar de não utilizar baterias do tipo LFP [49].

3.9 – Conclusões

Nos testes efectuados às baterias verificou-se que ao carregar a bateria até 3,65V em vez dos 3,80V recomendados pelo fabricante resulta numa carga de cerca de 98%. Esta pequena diferença pode aumentar o tempo de vida do banco de baterias, sem prejudicar significativamente a autonomia do veículo.

Descarregando a 90 % ou 80% limitará a autonomia do veículo, mas prolongará a vida útil das baterias, sendo esta opção do utilizador.

CAPÍTULO 4

SISTEMA DE PROTEÇÃO, MONITORIZAÇÃO E GESTÃO DE BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO DO TIPO LFP

Resumo

Neste capítulo apresenta-se o sistema de *hardware* implementado para a monitorização do banco de bateria e respectivo *software* para comunicação com o IHM do Veeco

4 – SISTEMA DE PROTECÇÃO, MONITORIZAÇÃO E GESTÃO DE BATERIAS DE IÕES DE LÍTIO DO TIPO LFP

4.1– Bateria

Os requisitos para a bateria a utilizar no projecto Veeco são descritos abaixo, assim como a escolha das células, implementação e integração no Veeco.

4.1.1 – Especificação do Veeco, requisitos para a bateria

Os requisitos para o banco de baterias são baseados em especificações do veículo VeecoRT e nos resultados obtidos pelo colega Nuno Rodeia na sua dissertação de Mestrado “Desenvolvimento do sistema de tracção de um veículo eléctrico ecológico com travagem regenerativa” [50].

O veículo Veeco foi equipado com variador de velocidade do fabricante Zapi, modelo ACE5 de 96V e corrente máxima de $800A_{rms}$ durante 2 minutos e um motor de 18kW de potência nominal. Sendo P_{max} a potência máxima do variador de velocidade e I_{max} a corrente máxima na bateria, vem,

$$P_{max} = U_{bat} \times A = 96 \times 800 \approx 76800W$$

$$I_{max} \approx 800A$$

Dada a potência máxima do variador de velocidade de aproximadamente 76,8kW a corrente máxima na bateria seria aproximadamente de 800 A, tendo em conta a chapa de características do motor que equipa o Veeco, detalhado na Figura 4.1, pode-se considerar um valor aproximado da tabela de ensaios do fabricante (Tabela I.13 no anexo 6), como um valor médio em contínuo. Sendo P_{med_bat} a potencia absorvida pelo motor e variador de velocidade e I_{med_bat} a corrente na bateria

$$P_{med_bat} \approx 20860W \quad I_{med_bat} \approx 259 A_{med_dc}$$

Considerando que o motor tem um limite de 91 minutos em regime S2 é necessário verificar se as baterias que equipam o Veeco não deve exceder esse tempo nesse regime. Sendo $T_{funcionamento}$ o tempo de funcionamento do motor em regime nominal.

$$T_{funcionamento} = \frac{\text{Capacidade das baterias (Ah)}}{I_{med_bat} (A)} \approx \frac{160}{259} \approx 0,617h \approx 37\text{minutos}$$

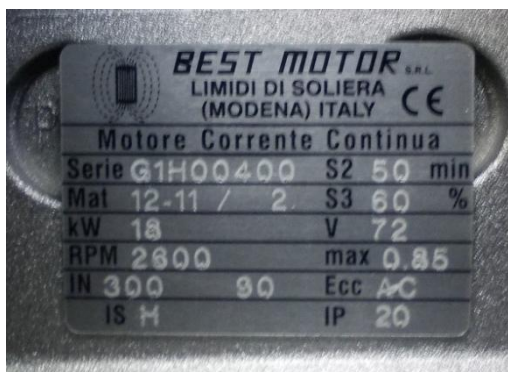


Figura 4.1 – Chapa de carcterísticas do motor que equipa o Veeco

Tabela 4.1 – Resumo da Tabela I.13

FSAT	FREQ	SLIP	Giri	C	V	IBATT	IMOT	P.R	P.Batt	Rend	S2	S3
Hz	Hz	Hz	Rpm	Kgm	Volt	Amp	Amp	KW	KW	%	min	%
55	100,5	1,9	2959	5,84	80,4	259,4	248,6	17,74	20,86	85,0	91,1	87,1

4.1.2 – Especificações das células e instalação das baterias no Veeco

As células seleccionadas pela empresa VE para equipar o veículo Veeco foram do fabricante Thundersky, modelo TS-LFP160AHA, sendo as baterias do tipo LFP.



Figura 4.2 – Baterias na fábrica, antes do envio para Portugal

As baterias foram adquiridas directamente do fabricante, juntamente com um sistema de monitorização recomendado pelo mesmo, ilustrado nas Figuras seguintes.



Figura 4.3 – BMS recomendado pelo fabricante

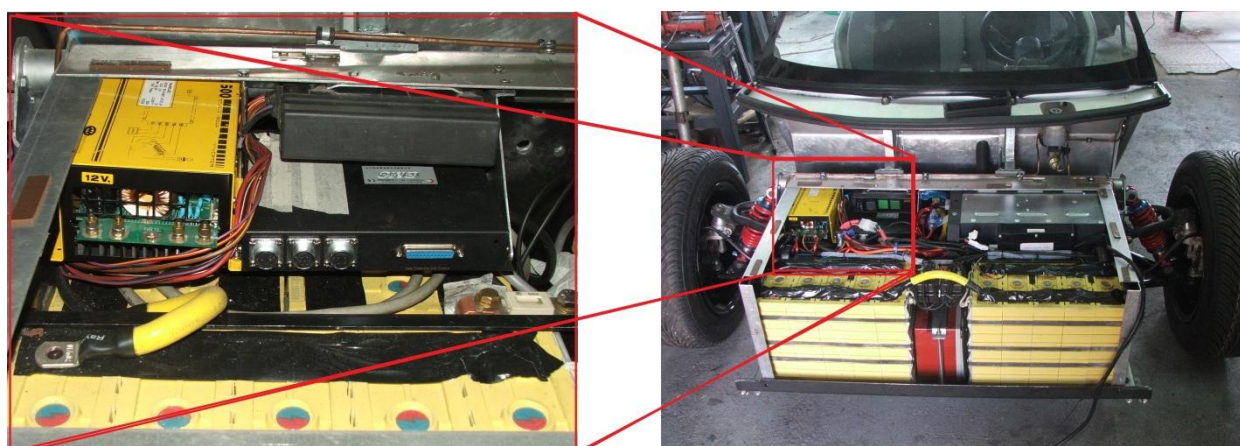


Figura 4.4 – Baterias e BMS instalados no Veeco, pormenor da unidade central do BMS

As células instaladas no Veeco, têm as seguintes características:

Tensão nominal: 3,20V

Capacidade nominal: 160Ah

Corrente constante < 3CA, < 480A

Corrente máxima < 20CA < 3200A

Tempo de vida, ciclos >3000 a 80% DOD

Tensão de funcionamento: 2,80V e 4,00V

Peso: 5.6 kg

Para mais detalhes acerca das baterias consultar anexo 2.

De modo a obter 96V necessários para o sistema de tracção implementado foram instaladas 30 células, cada uma com tensão nominal de 3,20V, ficando a bateria de tracção do Veeco, com uma capacidade de 15,36 kWh de energia armazenada e 46,03 kW (cerca de 60CV) de potência em contínuo, e 307,20 kW (cerca de 400CV) de potência de pico.

No total, cada módulo tem um peso de 5,6 kg, o que totaliza 168 kg.

4.2– Sistema para protecção, monitorização e gestão

O sistema de protecção e monitorização é constituído por três módulos: módulo de isolamento, módulo de monitorização e protecção e o módulo de comunicação. Para o desenvolvimento do módulo de monitorização e protecção foi utilizado um módulo de avaliação da Texas Instruments, bq76PL536-EVM3. Na Figura 4.5 apresenta-se o esquema simplificado do BMS usado no desenvolvimento do sistema, na Figura 4.6 a implementação do mesmo.

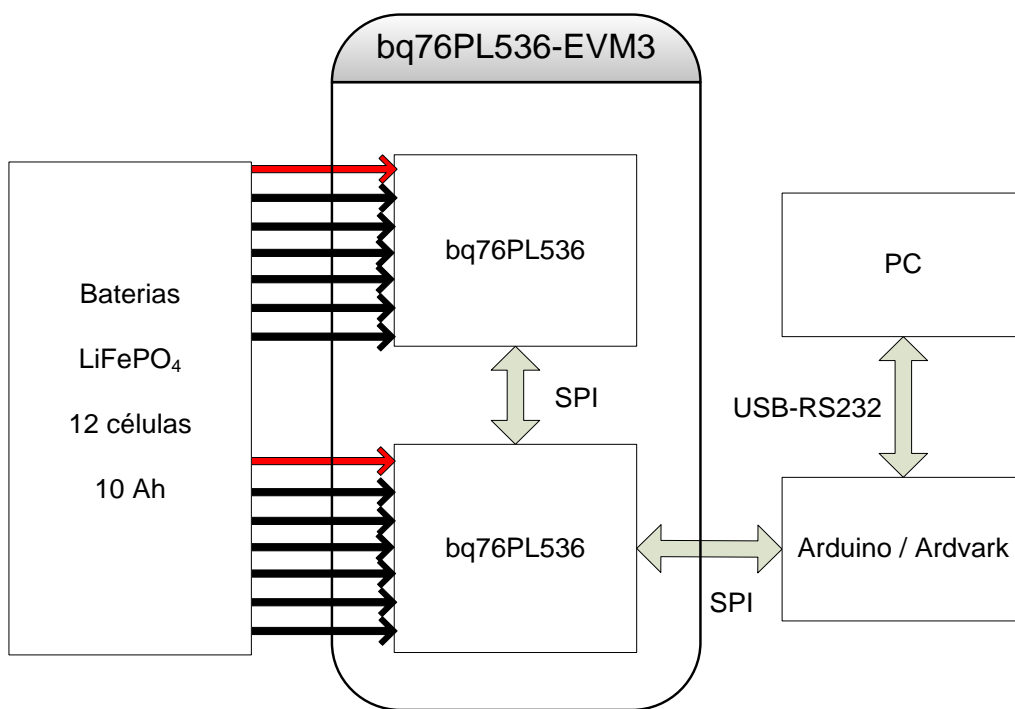


Figura 4.5 – Esquema simplificado, do módulo de desenvolvimento BMS

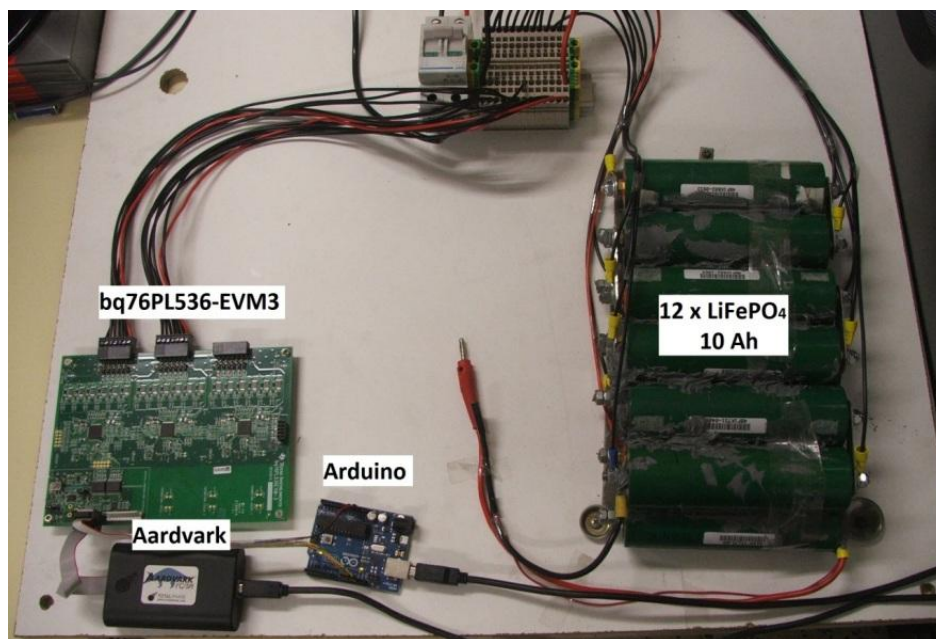


Figura 4.6 – Implementação do módulo de desenvolvimento BMS

O módulo de avaliação bq76PL536-EVM3 é constituído por a placa de avaliação, com 3 circuitos integrados bq76PL536 que permite a ligação até 18 baterias, adaptador SPI-USB (Aardvark) e *software* de avaliação

No sistema de monitorização e protecção de baterias foi seleccionado o circuito integrado da Texas Instruments, bq76PL536. O integrado bq76PL536 é um dispositivo que permite a monitorização de três a seis células. Tem as funções de monitorização, protecção e interface analógico, que incorpora um conversor analógico digital de precisão, com medição da tensão das células individuais e medição de temperatura entre outras funções.

Para maximizar a funcionalidade do sistema é utilizado um microcontrolador em conjunto com o bq76PL536. No entanto as funções de protecção não necessitam de um microcontrolador. O bq76PL536 pode ser empilhado verticalmente até 32 dispositivos, permitindo assim monitorizar até 192 células, sem componentes de isolamento adicionais entre os circuitos integrados.

Foi realizado um programa em LabView que permitia a leitura dos dados enviados pelo módulo de comunicações do BMS de modo a verificar se estas leituras eram as correctas e otimizar a programação do microcontrolador utilizado. Nas figuras seguintes são apresentados o painel frontal e diagrama de blocos do programa em LabView.

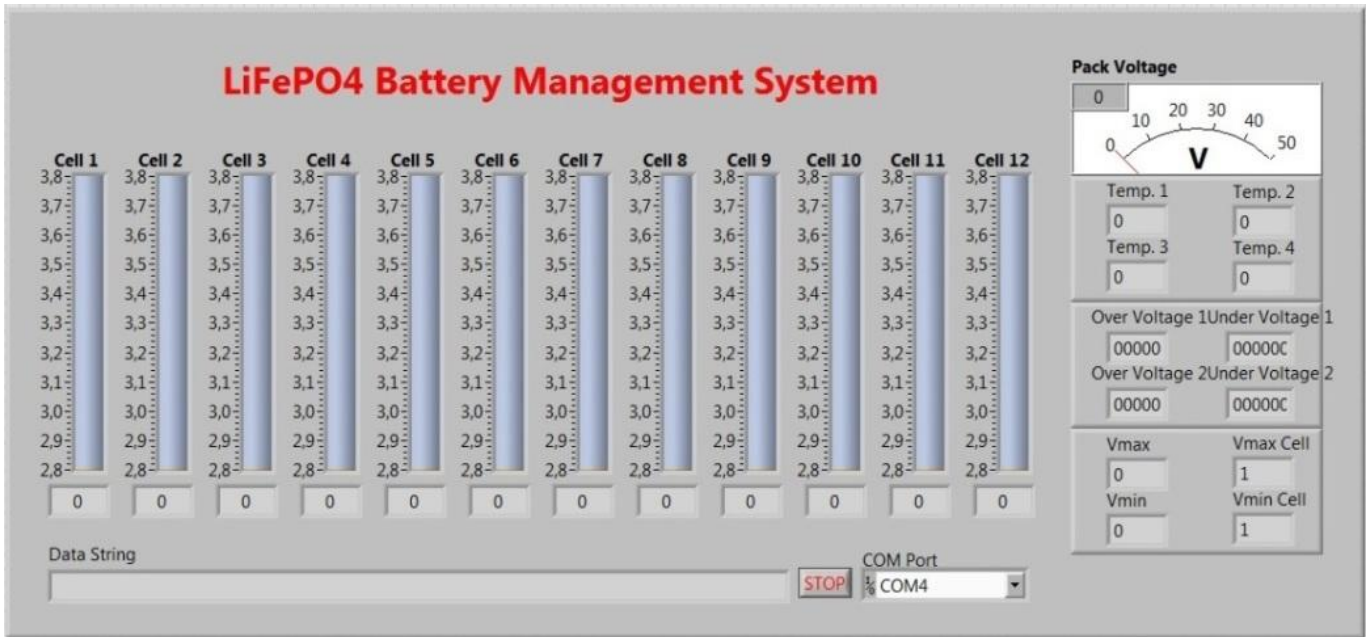


Figura 4.7 – Painel frontal do programa

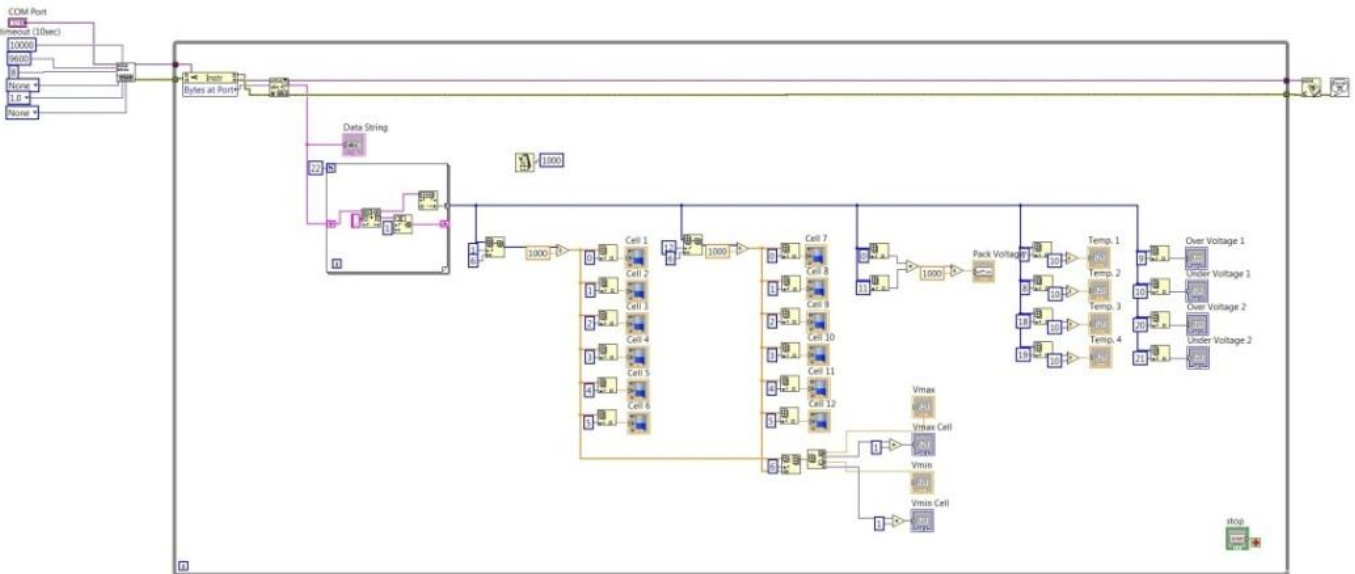


Figura 4.8 – Diagrama de blocos do programa

O bq76PL536 fornece protecção completa para as condições de sobretensão, subtensão e temperatura excessiva. Quando os limites de segurança forem excedidos, o bq76PL536 define a saída *FAULT*. Nenhum dos componentes externos são necessários para configurar ou habilitar os recursos de protecção.

As tensões das células e funções de protecção de temperatura são independentes do sistema, os limites de protecção são programáveis e os tempos de atraso de detecção são armazenados o que aumenta a flexibilidade e confiabilidade do sistema de gestão da bateria.

Um protocolo série de alta velocidade SPI (serial peripheral interface) opera entre cada bq76PL536 para fornecer comunicações fiáveis entre pilhas de células da bateria de tracção.

4.2.1 – Comunicação

A comunicação entre a unidade de monitorização e o IHM do Veeco é efectuada em duas etapas: a primeira etapa utiliza o protocolo de comunicação SPI, e a segunda etapa um protocolo RS232. Apenas o protocolo SPI será descrito por ser a comunicação usada entre os diferentes dispositivos do sistema de monitorização.

O SPI é um protocolo *full duplex* de comunicação a quatro fios, usualmente utilizada entre dispositivos de *hardware*. Na Figura 4.9 mostram-se as ligações, que consistem em um sinal de relógio (SCLK), *Slave Select* (SS), *Master output – Slave input* (MOSI), *Master input – Slave output* (MISO).

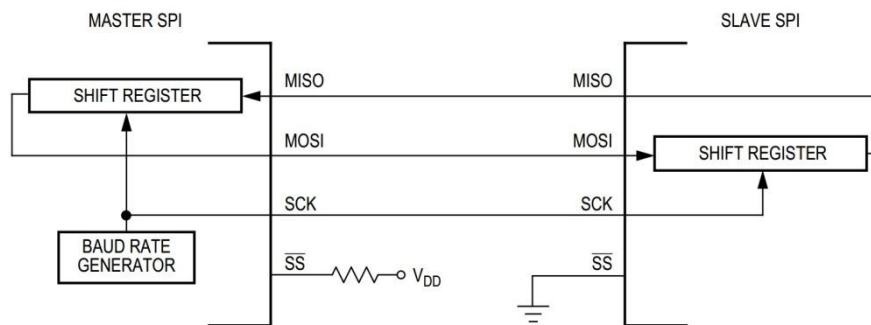


Figura 4.9 – Ligações interface SPI [51]

O mestre usa o SS para sinalizar o escravo que quer comunicar. Neste projeto, a unidade de controlo é definida como mestre e a placa de monitorização como escravo. A placa de monitorização é composta por vários dispositivos, mas estes têm uma selecção de dispositivo interno que pode ser acedida através de *software*. O sinal de SS é colocado alto quando não há comunicação, e em baixo quando há transferência de dados. Isso evita a leitura incorrecta dos dados quando não é suposto existir comunicação. O SCKL é fornecido pelo mestre e só é usada na transmissão de dados através do MOSI e MISO.

Ao escrever dados para o SPI, o microcontrolador ATmega328 automaticamente começa a gerar um sinal de relógio no pino SCKL. Simultaneamente a mensagem é deslocada, enviando-a pouco a pouco ao longo do pino MOSI. Depois de cada transmissão o sinal de relógio SCLK é desligado.

O SPI não fornece reconhecimento de *hardware*, sendo uma desvantagem. A unidade de controlo verifica a mensagem para ver que a transferência não causa erros e que o escravo não interpretar mal o comando. Para isso é implementado em *software* a verificação de mensagens.

4.2.2 – Módulo de isolamento

O módulo de isolamento, ilustrado na Figura 4.10, consiste numa série de amplificadores operacionais, ligados como seguidores de tensão, de modo a proporcionar isolamento das células ao módulo de monitorização. O objectivo deste módulo é eliminar a corrente exigida das células, assim eliminando possíveis desequilíbrios entre células.

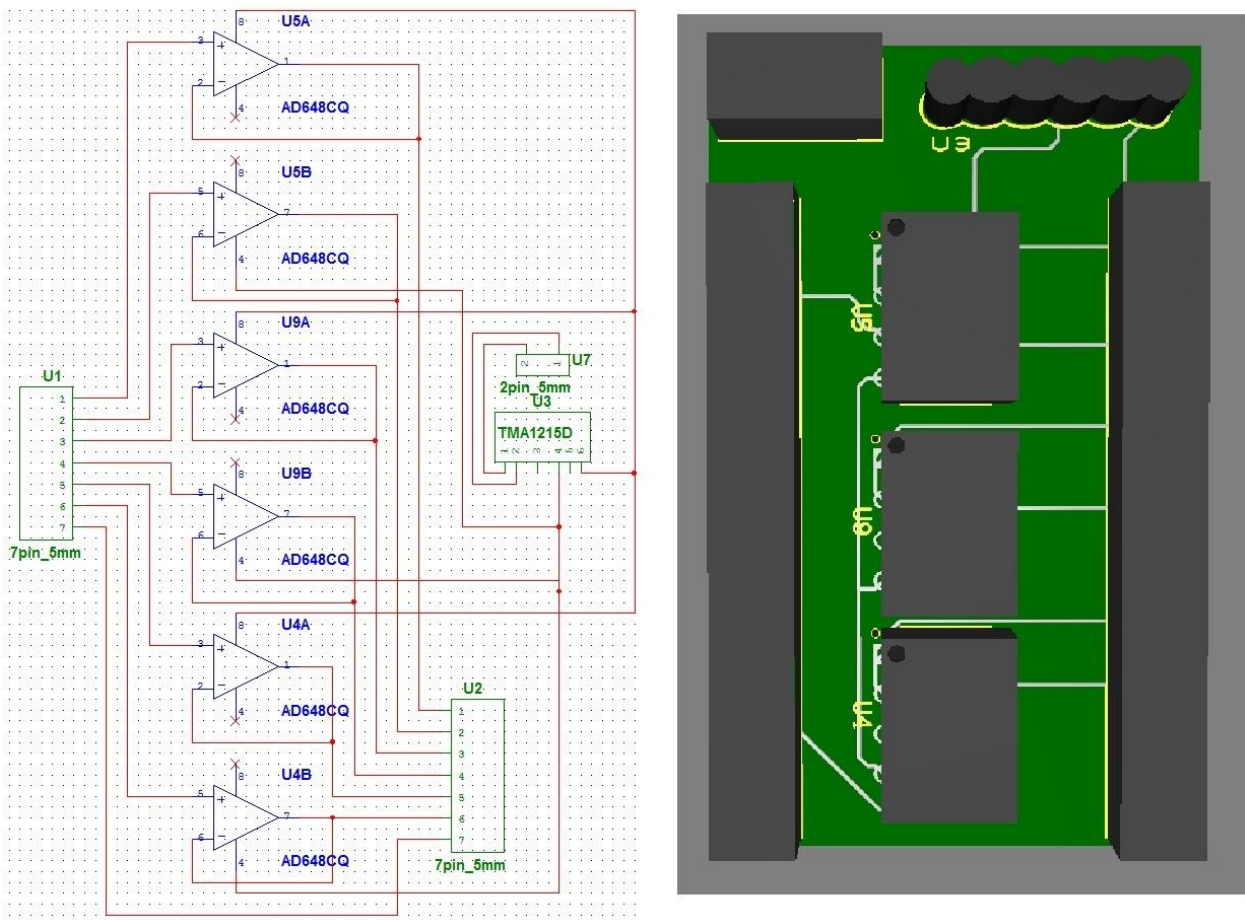


Figura 4.10 – Módulo de isolamento

Para evitar desequilíbrios entre células, a alimentação será fornecida por um conversor DC/DC isolado de modo a alimentar cada módulo independentemente.

Foi medido o consumo do módulo de monitorização e protecção em funcionamento. A corrente nas diferentes células não são iguais, porque o bq76PL536 é alimentado directamente pelas células a si ligadas, pelo que se torna necessário um módulo de isolamento para evitar esta situação. As correntes medidas variavam entre alguns μA para a generalidade das células e alguns mA para a célula do topo.

4.2.3 – Módulo de monitorização e protecção

Os primeiros módulos desenvolvidos consistiam em placas individuais que poderiam ser empilhadas de modo a formar o BMS de acordo com o número de células do banco de baterias. Nas Figuras seguintes mostram-se as três placas desenvolvidas para esse efeito, placa de baixo, ilustrada na Figura 4.11 a placa central, ilustrada na Figura 4.12 e a placa de topo ilustrada na Figura 4.13. A placa de baixo é a mais complexa já que tem que acomodar as comunicações com o microcontrolador.

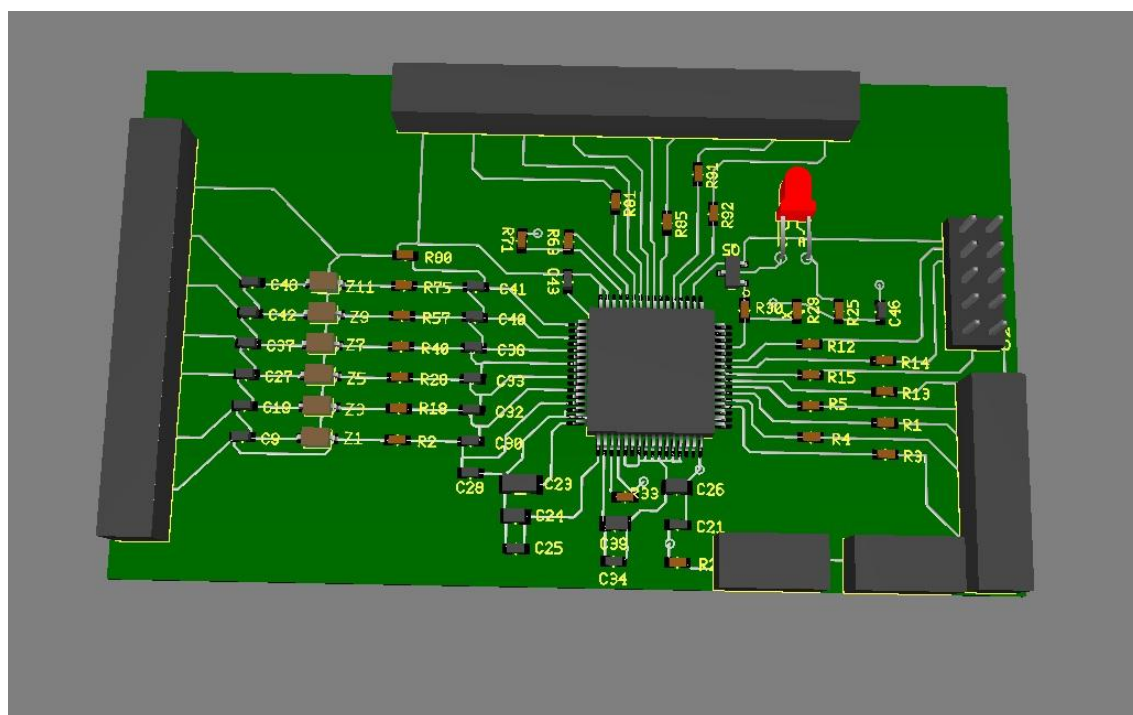


Figura 4.11 – Módulo de monitorização e protecção, placa baixo

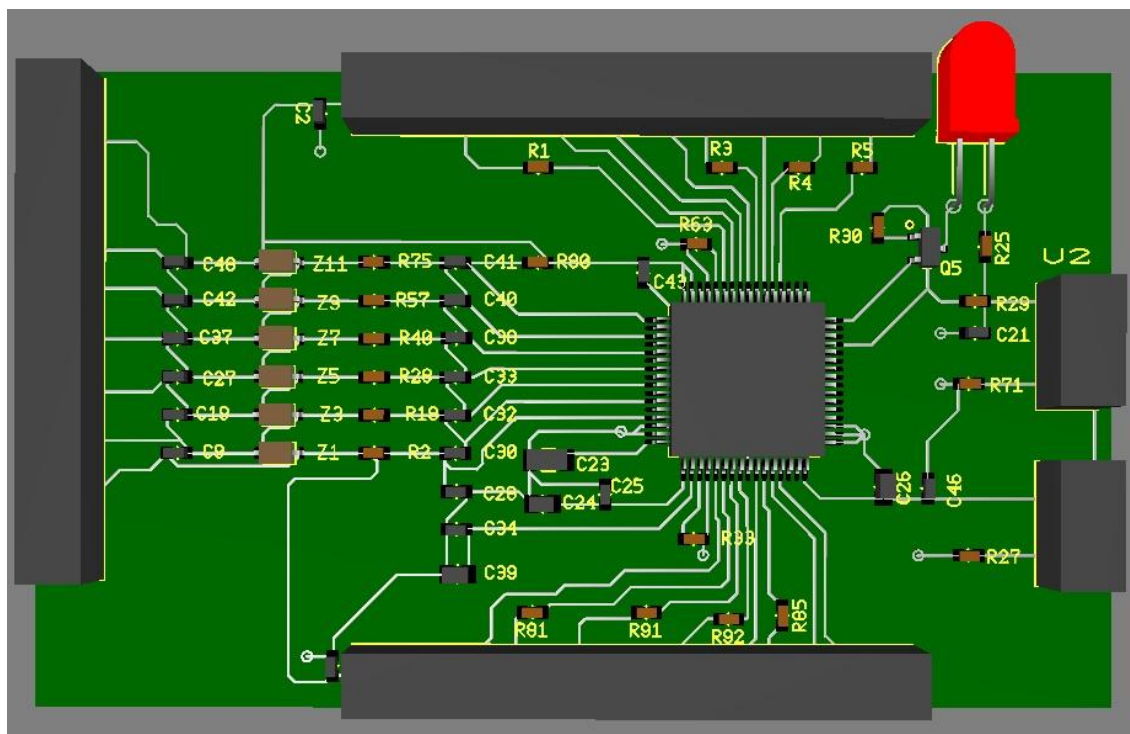


Figura 4.12 – Módulo de monitorização e protecção, placa central

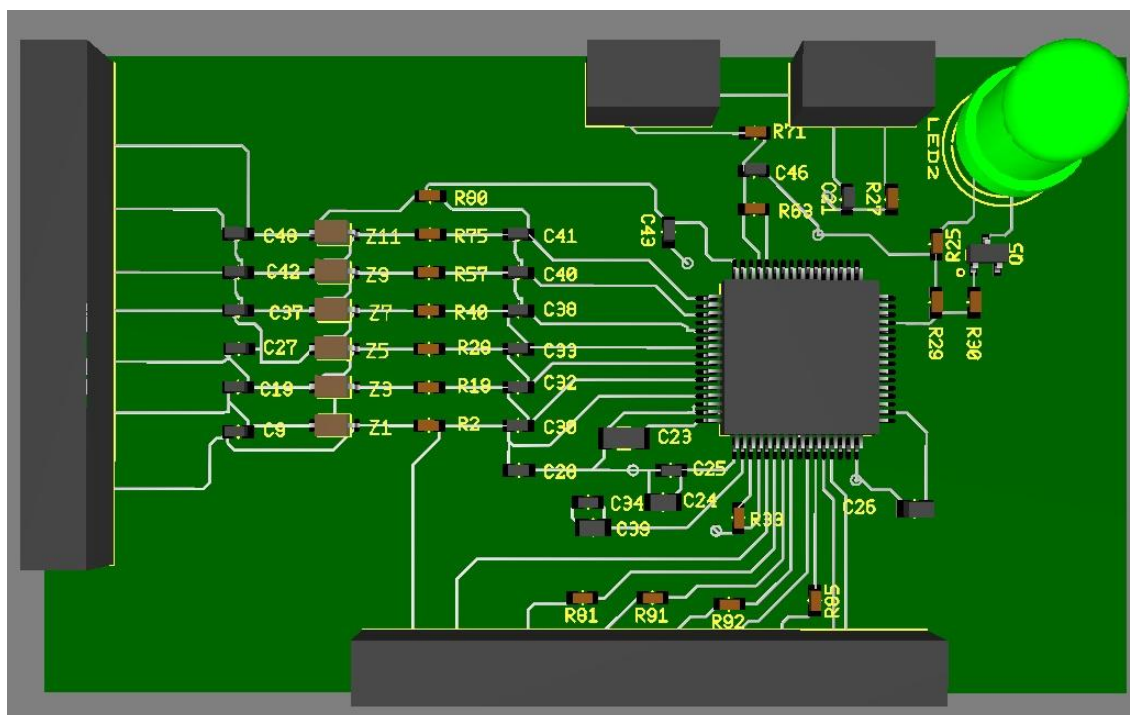


Figura 4.13 – Módulo de monitorização e protecção, placa topo

Após o pedido de orçamentos optou-se por uma solução integrada que contém circuitos integrados suficientes para o BMS de um banco de baterias. Assim com 7 circuitos integrados bq76PL536 é possível monitorizar até 42 células. Será este o módulo de monitorização e protecção projectado e desenhado para implementação no projecto Veeco, como ilustrado na Figura 4.14. Para um banco de baterias com 30 células bastam 5 circuitos integrados bq76PL536. Assim basta colocar os integrados e componentes necessários, não colocando os últimos 2 integrados.

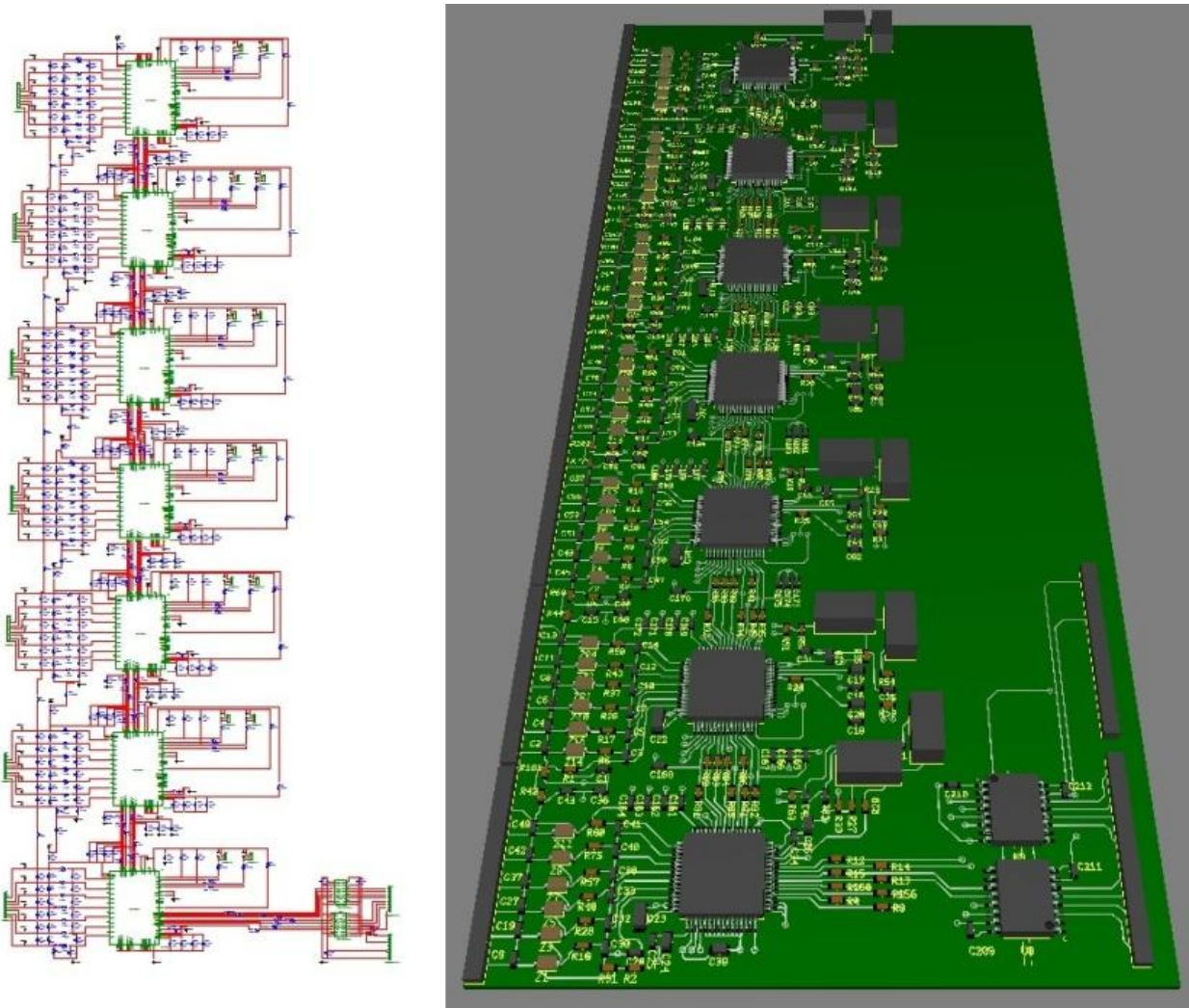


Figura 4.14 – Módulo de monitorização e protecção, esquema e vista 3D.

4.2.4 – Módulo de controlo

O microcontrolador ATmega 328 de 8 bits foi o aplicado no módulo de controlo. Integra uma plataforma de *hardware* e *software* de desenvolvimento aberto [34], como ilustrado na Figura seguinte.

O programa foi desenvolvido com o *software* disponível para Arduino, Arduino IDE 1.0.1, baseado no *software* Processing [43].

O microcontrolador lê os dados do módulo de monitorização e reporta-os através de um interface RS232 para o IHM do Veeco.

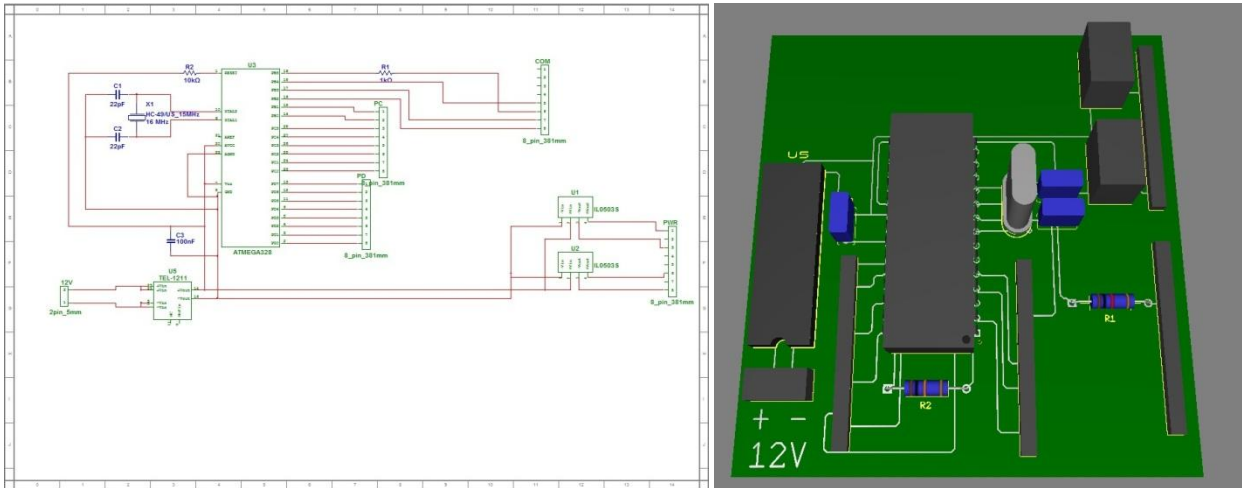


Figura 4.15 – Módulo de comunicação

4.3– Sistema de gestão

Para o sistema de gestão das baterias foi utilizado uma resistência calibrada R_s para medição da corrente, e um integrado da Texas Instruments INA220B-Q1 que proporciona leituras de tensão e corrente, e calcula o valor da potência. Estas informações estão disponíveis em três registos do circuito integrado e acessíveis através de protocolo de comunicações I2C. O esquema simplificado mostra-se na Figura 4.16.

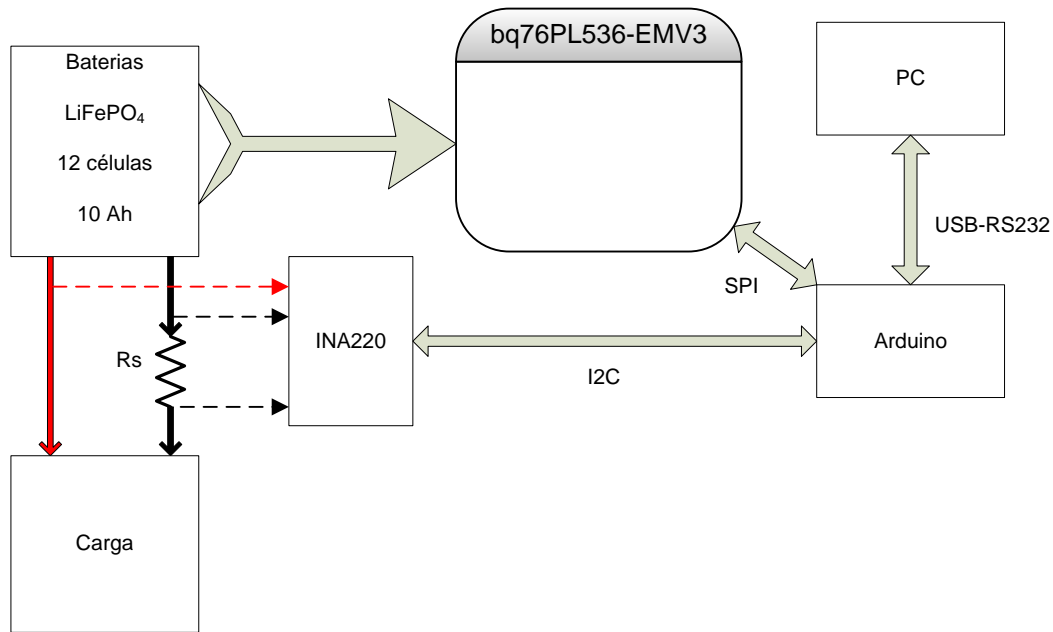


Figura 4.16 – Esquema simplificado do sistema de monitorização, protecção e gestão

O objectivo principal do sistema de gestão será indicar o SOC (State of Charge). Existem várias metodologias para determinar o estado de carga mas dado que não é um dos objectivos principais desta dissertação, apenas se refere a uma delas.

O SOC pode ser determinado através da contagem da carga (Coulombs), ou seja, contabilizam-se os Ah que entram e saem da bateria para ter uma estimativa de quantos Ah estão disponíveis na bateria. O estado de carga do banco de baterias obtém-se pela relação:

$$\text{SOC} = \frac{Q_{Ah_inicial} + Q_{Ah_carga} - Q_{Ah_descarga}}{Q_{Ah_inicial}}$$

Em que:

$Q_{Ah_inicial}$ - capacidade inicial ou nominal da bateria

Q_{Ah_carga} - capacidade que entra

$Q_{Ah_descarga}$ - capacidade que sai

O principal objectivo é o desenvolvimento de uma plataforma de *hardware* funcional na qual posteriormente se possa evoluir a nível de *software* e microcontrolador, possibilitando a utilização de diferentes algoritmos para a determinação do SOC.

4.4– Conclusões

Verifica-se que as baterias seleccionadas para o Veeco segundo as características do fabricante se adequam às características do veículo Veeco, com uma corrente nominal necessária de 259A e corrente máxima de 800A, encontra-se dentro das características das baterias que suportam 480A em contínuo e 3200A de corrente máxima.

Foi projectado e desenhado o BMS e respectivo *software* para implementação no projecto Veeco. O sistema é modular para permitir a sua melhoria sendo possível colocar um módulo de controlo com mais funcionalidades sem ter que alterar a plataforma de *hardware* principal e também desenvolver futuramente melhores algoritmos para determinação do SOC da bateria de tracção do Veeco.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Resumo

Neste último capítulo referem-se as considerações finais e é elaborada uma análise sobre considerações futuras a aplicar a sistemas de monitorização.

5 – CONCLUSÕES

5.1 – Objectivos alcançados e conclusões inovadoras

A amplitude e abrangência deste projeto foram expansivas ao longo do seu desenvolvimento. A abundância de novos artigos publicados nas áreas de veículos eléctricos, baterias de iões de lítio e tecnologias adjacentes, demonstram que este é um assunto importante e urgente

Dadas as limitações desta tese, este projecto focou-se na investigação das baterias de iões de lítio do tipo LFP, das tecnologias disponíveis e suas aplicações em veículos eléctricos.

Hoje, a maioria dos fabricantes de baterias de iões de lítio estão localizados na Ásia. Este factor dificulta localizar bons fornecedores e fabricantes, assim como a compra de baterias, pois o tempo entre a compra e a entrega pode ser longo. No caso das baterias do projecto Veeco, a sua data de fabrico foi de Janeiro de 2010, a entrega apenas em Abril de 2010, cerca de 4 meses após o fabrico. A obtenção das especificações é difícil se não de todo impossível, e as que existem muitas vezes estão incorrectas e incompletas, sendo importante testar adequadamente as baterias novas antes da sua integração num produto comercial.

De acordo com os objectivos propostos, na presente dissertação estudou-se o estado da arte das baterias de iões de lítio e sistemas adjacentes.

Construiu-se um banco de ensaios do sistema de baterias que permitiu analisar o seu comportamento em utilização como um todo e ensaiar os sistemas de monitorização.

Realizaram-se experiências individuais para analisar o comportamento das baterias, assim como, foram analisados dados obtidos em testes de longevidade.

O autor da presente dissertação apresenta dados que podem tornar-se referência quando da utilização de baterias de iões de lítio do tipo LFP. Os diferentes resultados e dados aqui analisados levam a acreditar que as baterias do tipo LFP, não apresentam auto-descarga significativa. De facto estas continuam erradamente a serem comparadas com as baterias de chumbo.

Tendo em conta a análise efectuada aos ensaios de John Hardy, acerca da variância de um banco de baterias, pode-se observar que o banco de baterias testado funcionou adequadamente durante 576 ciclos de carga e

descarga sem o uso de um sistema de balanceamento por cima. As baterias foram balanceadas por baixo aquando da sua instalação.

Foram projectados os programas necessários ao funcionamento do banco de ensaios e ao BMS, e analisados os testes de balanceamento por cima e por baixo.

Foram projectados e implementados fisicamente os sistemas de medição, adaptação de sinal, conversão de sinais, *interface* e comunicação, processamento, interface homem máquina e decisão

As baterias do tipo LFP apresentam cerca de 2000 a 3000 ciclos de vida útil, quando carregadas a 100% e descarregadas a 80% ou 70%. Se a utilização das baterias for limitada de 90 % a 95% de carga e 80% a 90% de descarga a longevidade das baterias poderá aumentar significativamente.

5.2 – Perspectivas de desenvolvimento futuro

Perspectiva-se como desenvolvimento futuro do Veeco um sistema de gestão com mais funcionalidades, a realização de testes, ensaios de autonomia e utilização de baterias de LFP de outros fabricantes para comparação de resultados.

O sistema de monitorização, protecção e gestão de baterias apresenta possibilidades de desenvolvimento futuro nomeadamente na indicação do estado de carga. Apesar de estar desenhado e pronto a implementar à data da presente dissertação, apenas foi possível ser testado em banco de ensaios, utilizando um módulo de desenvolvimento da Texas Instruments e doze baterias de 10Ah. Apesar deste sistema ser suficiente para testar as funcionalidades desenvolvidas, será necessário a sua integração no Veeco de modo a analisar adequadamente o seu funcionamento. Após a sua implementação deverão ser efectuados ensaios de autonomia do Veeco, para conhecer o seu consumo e testar o sistema desenvolvido em situações limite.

A utilização de baterias LFP de outros fabricantes poderá ser vantajoso, contudo deverão estar sujeitas a um processo de análise experimental num banco de baterias a aplicar num protótipo do Veeco, para que deste modo se possam efectuar ensaios comparativos e determinar quais as vantagens e se as há.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] D. -. D. G. d. E. e. Geologia, “DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia,” 2012. [Online]. Available: <http://www.dgeg.pt/>. [Acedido em 2012].
- [2] S. Fletcher, Bottled lightning, superbatteries, electric cars, and the new lithium economy, New York: Hill and Wang, 2011.
- [3] “EVnut,” [Online]. Available: <http://www.evnut.com/ev1.htm>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [4] T. Gage, “The ZEV Technology Objective: Transportation without Petroleum,” 2006.
- [5] O. Engineering, Computerized Battery Analyzer Software Manual V2, Waukesha: West Mountain Radio, 2011.
- [6] UN, UN Manual of test and criteria 4th Revised Edition Lithium Battery Testing Requirements, UN, 2009.
- [7] Z. S.p.A., User Manual ACE5 Inverter, Itália: S.p.A., Zapi, 2011.
- [8] W. Voss, A comprehensible guide to controler area network 2nd edition, Copperhill Technologies, 2008.
- [9] I. Sea-Bird Electronics, Nickel-Metal Hydride (NiMH) Battery Charger and Battery Pack - User's Manual, Washington: Sea-Bird Electronics, Inc., 2005.
- [10] Panasonic EV Energy Co. Ltd., *Battery for Pure Electric Vehicles*, Panasonic EV Energy Co.Ltd., 1995.
- [11] S. Boschert, Plug-in Hybrids: The Cars that will Recharge America, New Society Publishers, 2006.
- [12] M. Shnayerson, The car that Could: The Inside Story of GM's Revolutionary Electric Vehicle, Random House, 1996.
- [13] Z. M. S. F. P. Tredeau, Evaluation of Lithium Iron Phosphate Batteries for Electric Vehicles Application, IEEE, 2009.
- [14] “Panasonic,” [Online]. Available: <http://industrial.panasonic.com/www-cgi/jvcr13pz.cgi?E+BA+3+ACA4001+NCR18650+7+WW>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [15] A. Systems, “A123 Systems,” [Online]. Available: <http://www.a123systems.com/prismatic-cell-amp20.htm>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [16] A. E. S. Corporation, “AESC,” [Online]. Available: <http://www.eco-aesc-lb.com/en/>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [17] Altairnano, “Altairnano,” [Online]. Available: <http://www.altairnano.com/>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [18] Saft, “Saft,” [Online]. Available: http://www.saftbatteries.com/Technologies_Lithium_Liion_301/Language/en-US/Default.aspx. [Acedido em Janeiro 2010].
- [19] CALB, “China Aviation Lithium Battery Co.,Ltd.,” [Online]. Available: <http://en.calb.cn/>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [20] D. Kokam, “Dow Kokam,” [Online]. Available: <http://www.dowkokam.com/tech-cells.htm>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [21] S. Power, “Sion Power,” [Online]. Available: <http://www.sionpower.com/>. [Acedido em Janeiro 2010].

- [22] Sinopoly, “Sinopoly Battery Limited,” [Online]. Available: <http://www.sinopolybattery.com/en/default.aspx>. [Acedido em Janeiro 2012].
- [23] Winston, “Winston,” [Online]. Available: <http://eu.winston-battery.com/>. [Acedido em Janeiro 2012].
- [24] Envia, “Envia,” [Online]. Available: <http://enviasystems.com/>. [Acedido em 2012 Março 2012].
- [25] Valence, “Valence,” [Online]. Available: <http://www.valence.com/>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [26] S. LiMotive, “SB LiMotive,” [Online]. Available: <http://www.sblimotive.com/en/home.html>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [27] L. Chem, “LG Chem,” [Online]. Available: <http://www.lgchem.com/>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [28] K. K. J. S. a. E. T. Gene Berdichevsky, “The Tesla Roadster Battery System,” Tesla Motors, 2007.
- [29] “Tesla Motors,” [Online]. Available: <http://teslamotors.com>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [30] J. Rickard, “EVTV,” [Online]. Available: www.evtv.me. [Acedido em Julho 2009].
- [31] Ventec, “Ventec BMS,” [Online]. Available: <http://www.ventec-bms.com/our-bms-solutions/embedded-solutions/bms-battery-for-hybridelectric-cars/>. [Acedido em Outubro 2011].
- [32] GWL Power, “GWL Power,” [Online]. Available: <http://www.ev-power.eu/>. [Acedido em Janeiro 2012].
- [33] “Texas Instruments,” Janeiro 2010. [Online]. Available: <http://www.ti.com/>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [34] “Arduino,” [Online]. Available: <http://arduino.cc/>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [35] “Microchip,” [Online]. Available: <http://www.microchip.com/>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [36] P. A. Bode, “AN39 Current measurement applications handbook,” www.zetex.com, 2008.
- [37] C. Mellon, “Professor Jay Whitacre,” [Online]. Available: <http://neon.mems.cmu.edu/people/whitacre.html>. [Acedido em Dezembro 2010].
- [38] D. Doerffel, Testing and characterisation of Large High-Energy Lithium-Ion Batteries for Electric and Hybrid Electric Vehicles, University of Southampton, 2007.
- [39] Panasonic, “Panasonic NCR-18650 datasheet,” [Online]. Available: <http://industrial.panasonic.com/eu>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [40] D. a. T. R. David Linden, HandBook of batteries, MCGraw-Hill, 2002.
- [41] J. Hardy, ICE Free Electric vehicle technology for Builders and converters, Tovey Books, 2012.
- [42] EV assemble, “EV Assemble,” [Online]. Available: <http://www.evassemble.com/>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [43] C. R. Ben Fry, “Processing,” [Online]. Available: <http://processing.org/>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [44] Clean Power Auto, “Clean Power auto,” [Online]. Available: <http://www.cleanpowerauto.com/MiniBMS.html>. [Acedido em Janeiro 2010].
- [45] J. D. Welsh, Phd Thesis : A comparison of active and passive cell balancing techniques for series/parallel battery packs, The Ohio State University, 2009.
- [46] L. M. N. C. Daniel J. White, “BOTTOM BASED BALANCING IN LITHIUM ION SYSTEMS”. Estados Unidos da America Patente US2009/0096419, 16 Abril 2009.
- [47] BBS DAYS, [Online]. Available: http://bbsdays.com/people/jack_rickard/. [Acedido em Janeiro 2010].
- [48] T. Ogihara, “Development of contact-wireless type railcar by lithium ion battery,” em *Next generation lithium ion batteries for electric vehicles*, 2010.

- [49] OM1E 0ZE0U2 (04A) (SC), 2011 LEAF Owner's Manua - Revised, Nissan, 2012.
- [50] N. H. T. Rodeia, Desenvolvimento do sistema de tracção de um veículo eléctrico ecológico com travagem regenerativa, ISEL, 2011.
- [51] Motorola, Inc., SPI Block Guide V03.06, Motorola, 2003.
- [52] J. Hardy, "Battery testing," [Online]. Available: <http://tovey-books.co.uk/testing.php>. [Acedido em Junho 2012].

ANEXOS

ELEMENTOS COMPLEMENTARES DE REALIZAÇÃO DO TRABALHO

Resumo

Nestes anexos apresentam-se elementos de suporte à realização dos ensaios e informações diversas acerca das baterias usadas no projecto Veeco.

ANEXO 1 – DADOS DO FABRICANTE DE BATERIAS THUNDERSKY

Dados das baterias LFP, fornecidos pelo fabricante com as 150 baterias adquiridas pela empresa VE para equiparem os diversos protótipos do Veeco, modelo TS-LFP160AHA.

Tabela I.1 – Dados do fabricante

Thunder Sky Test result for JCP LDA.

Model#: TS-LFP160AHA **Date:** 2010. 01. 18


Barcode	Impedance (mohm)	Voltage (V)	Capacity (AH) charged at 50A
100109-F42 381	0, 24	3, 308	177, 0
100109-F42 382	0, 25	3, 309	177, 0
100109-F42 383	0, 29	3, 311	177, 0
100109-F42 384	0, 33	3, 310	177, 0
100109-F42 385	0, 25	3, 310	177, 0
100109-F42 250	0, 25	3, 311	177, 0
100109-F42 249	0, 24	3, 311	177, 0
100109-F42 248	0, 25	3, 311	177, 0
100109-F42 247	0, 32	3, 311	177, 0
100109-F42 246	0, 23	3, 311	177, 0
100109-F42 255	0, 30	3, 312	178, 0
100109-F42 254	0, 23	3, 312	178, 0
100109-F42 253	0, 22	3, 312	178, 0
100109-F42 252	0, 25	3, 311	178, 0
100109-F42 251	0, 24	3, 310	178, 0
100109-F42 366	0, 23	3, 310	178, 0
100109-F42 367	0, 23	3, 311	178, 0
100109-F42 368	0, 26	3, 312	178, 0
100109-F42 369	0, 31	3, 310	178, 0
100109-F42 370	0, 27	3, 310	178, 0
100109-F42 256	0, 27	3, 312	178, 0
100109-F42 257	0, 26	3, 311	178, 0
100109-F42 258	0, 21	3, 311	178, 0
100109-F42 259	0, 30	3, 309	178, 0
100109-F42 260	0, 25	3, 312	178, 0
100109-F42 386	0, 25	3, 312	177, 0
100109-F42 387	0, 24	3, 311	177, 0
100109-F42 388	0, 24	3, 309	177, 0
100109-F42 389	0, 24	3, 310	177, 0
100109-F42 390	0, 27	3, 310	177, 0

Barcode	Impedance (mohm)	Voltage (V)	Capacity (AH) charged at 50A
100109-F42 261	0, 22	3, 310	177, 0
100109-F42 262	0, 22	3, 312	177, 0
100109-F42 263	0, 29	3, 311	177, 0
100109-F42 264	0, 24	3, 309	177, 0
100109-F42 265	0, 26	3, 311	177, 0
100109-F42 375	0, 31	3, 310	178, 0
100109-F42 374	0, 31	3, 312	178, 0
100109-F42 373	0, 22	3, 312	178, 0
100109-F42 372	0, 23	3, 311	178, 0
100109-F42 371	0, 26	3, 310	178, 0
100109-F42 270	0, 24	3, 311	178, 0
100109-F42 269	0, 23	3, 311	178, 0
100109-F42 268	0, 23	3, 311	178, 0
100109-F42 267	0, 27	3, 312	178, 0
100109-F42 266	0, 24	3, 311	178, 0
100109-F42 395	0, 22	3, 310	178, 0
100109-F42 394	0, 24	3, 309	178, 0
100109-F42 393	0, 24	3, 310	178, 0
100109-F42 392	0, 26	3, 310	178, 0
100109-F42 391	0, 32	3, 310	178, 0
100109-F42 380	0, 23	3, 309	177, 0
100109-F42 379	0, 27	3, 310	177, 0
100109-F42 378	0, 26	3, 308	177, 0
100109-F42 377	0, 34	3, 310	177, 0
100109-F42 376	0, 24	3, 310	177, 0
100109-F42 275	0, 27	3, 310	178, 0
100109-F42 274	0, 29	3, 311	178, 0
100109-F42 273	0, 29	3, 310	178, 0
100109-F42 272	0, 26	3, 310	178, 0
100109-F42 271	0, 27	3, 311	178, 0
100109-F42 355	0, 23	3, 308	177, 0
100109-F42 354	0, 27	3, 310	177, 0
100109-F42 353	0, 24	3, 308	177, 0
100109-F42 352	0, 26	3, 310	177, 0
100109-F42 351	0, 24	3, 309	177, 0
100109-F42 276	0, 28	3, 312	178, 0
100109-F42 277	0, 31	3, 310	178, 0
100109-F42 278	0, 24	3, 310	178, 0
100109-F42 279	0, 25	3, 311	178, 0
100109-F42 280	0, 30	3, 311	178, 0

Barcode	Impedance (mohm)	Voltage (V)	Capacity (AH) charged at 50A
100109-F42 281	0, 23	3, 308	178, 0
100109-F42 282	0, 27	3, 311	178, 0
100109-F42 283	0, 22	3, 312	178, 0
100109-F42 284	0, 24	3, 310	178, 0
100109-F42 285	0, 26	3, 312	178, 0
100109-F42 288	0, 26	3, 312	178, 0
100109-F42 290	0, 30	3, 311	178, 0
100109-F42 287	0, 28	3, 310	178, 0
100109-F42 286	0, 25	3, 311	178, 0
100109-F42 289	0, 28	3, 310	178, 0
100109-F42 340	0, 21	3, 308	177, 0
100109-F42 339	0, 26	3, 309	177, 0
100109-F42 338	0, 29	3, 309	177, 0
100109-F42 337	0, 23	3, 309	177, 0
100109-F42 336	0, 26	3, 312	177, 0
100109-F42 291	0, 24	3, 312	177, 0
100109-F42 292	0, 26	3, 311	177, 0
100109-F42 293	0, 26	3, 310	177, 0
100109-F42 294	0, 29	3, 310	177, 0
100109-F42 295	0, 25	3, 309	177, 0
100109-F42 360	0, 22	3, 310	178, 0
100109-F42 359	0, 23	3, 310	178, 0
100109-F42 358	0, 26	3, 309	178, 0
100109-F42 357	0, 21	3, 309	178, 0
100109-F42 356	0, 23	3, 310	178, 0
100109-F42 345	0, 24	3, 308	178, 0
100109-F42 344	0, 25	3, 308	178, 0
100109-F42 343	0, 27	3, 309	178, 0
100109-F42 342	0, 23	3, 309	178, 0
100109-F42 341	0, 25	3, 311	178, 0
100109-F42 365	0, 24	3, 309	178, 0
100109-F42 364	0, 23	3, 309	178, 0
100109-F42 363	0, 25	3, 308	178, 0
100109-F42 362	0, 25	3, 310	178, 0
100109-F42 361	0, 21	3, 310	178, 0
100109-F42 300	0, 24	3, 310	177, 0
100109-F42 299	0, 25	3, 120	177, 0
100109-F42 298	0, 23	3, 310	177, 0
100109-F42 297	0, 25	3, 311	177, 0
100109-F42 296	0, 27	3, 312	177, 0

Barcode	Impedance (mohm)	Voltage (V)	Capacity (AH) charged at 50A
100109-F42 346	0, 22	3, 309	177, 0
100109-F42 347	0, 33	3, 312	177, 0
100109-F42 348	0, 25	3, 309	177, 0
100109-F42 349	0, 24	3, 308	177, 0
100109-F42 350	0, 25	3, 309	177, 0
100109-F42 325	0, 22	3, 310	178, 0
100109-F42 324	0, 26	3, 308	178, 0
100109-F42 323	0, 21	3, 310	178, 0
100109-F42 322	0, 24	3, 310	178, 0
100109-F42 321	0, 27	3, 311	178, 0
100109-F42 320	0, 25	3, 311	178, 0
100109-F42 319	0, 32	3, 311	178, 0
100109-F42 318	0, 25	3, 310	178, 0
100109-F42 317	0, 25	3, 309	178, 0
100109-F42 316	0, 20	3, 312	178, 0
100109-F42 303	0, 27	3, 311	178, 0
100109-F42 305	0, 23	3, 308	178, 0
100109-F42 301	0, 24	3, 312	178, 0
100109-F42 302	0, 24	3, 310	178, 0
100109-F42 304	0, 23	3, 311	178, 0
100109-F42 330	0, 25	3, 311	177, 0
100109-F42 329	0, 23	3, 307	177, 0
100109-F42 328	0, 29	3, 311	177, 0
100109-F42 327	0, 28	3, 310	177, 0
100109-F42 326	0, 26	3, 310	177, 0
100109-F42 313	0, 26	3, 310	178, 0
100109-F42 312	0, 23	3, 310	178, 0
100109-F42 314	0, 25	3, 312	178, 0
100109-F42 315	0, 27	3, 309	178, 0
100109-F42 311	0, 26	3, 311	178, 0
100109-F42 310	0, 24	3, 311	177, 0
100109-F42 309	0, 34	3, 311	177, 0
100109-F42 308	0, 26	3, 309	177, 0
100109-F42 307	0, 26	3, 312	177, 0
100109-F42 306	0, 23	3, 311	177, 0
100109-F42 331	0, 27	3, 309	178, 0
100109-F42 332	0, 31	3, 310	178, 0
100109-F42 333	0, 29	3, 310	178, 0
100109-F42 334	0, 25	3, 312	178, 0
100109-F42 335	0, 21	3, 311	178, 0


Na Figura I.1, Figura I.2, Figura I.3 e Figura I.4 apresenta-se a folha de características para a bateria modelo TS-LFP160AHA, do ano de 2007 e ano 2010.




Thunder Sky
LITHIUM BATTERY
Email: thunder@thundersky.com Http://www.thunder-sky.com
TEL: 86-755-80228786 FAX: 86-755-80228678

雷天牌鋰離子動力電池技術說明
THUNDER SKY LITHIUM-ION POWER BATTERY SPECIFICATIONS

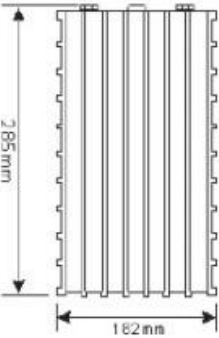
電池尺寸
DIMENSIONS



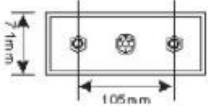
型號 (MODEL): TS-LFP160AHA



282mm
71mm



285mm
162mm



7mm
105mm

技術參數
SPECIFICATIONS

型號 (MODEL): TS-LFP160AHA		
標稱容量 Nominal Capacity	160Ah	
工作電壓 Operation Voltage	充電 (Charge)	4.25V
	放電 (Discharge)	2.5V
最大充電電流 Max Charge Current	≤3CA	
最大放電電流 Max Discharge Current	恒電流 (Constant Current)	≤3CA
	脈衝式 (Impulse Current)	≤10CA
標準充放電電流 Standard Charge/Discharge Current	0.3CA	
循環壽命 Cycle Life	(80DOD%)	>2000Times
	(70DOD%)	>3000Times
殼體耐溫性 Temperature Durability Of Case	≤25.0℃	
適應環境 Operating Temperature	充電 (Charge)	-25℃~75℃
	放電 (Discharge)	-25℃~75℃
自放電率(月) Self-discharge Rate	≤3% (Monthly)	
單體電池重量 Weight	5.6kg±100g	

2007年01月01日新編 01/01/2007 The Latest Edition

Figura I.1 – Folha de características da bateria TS-LFP160AHA, ano 2007

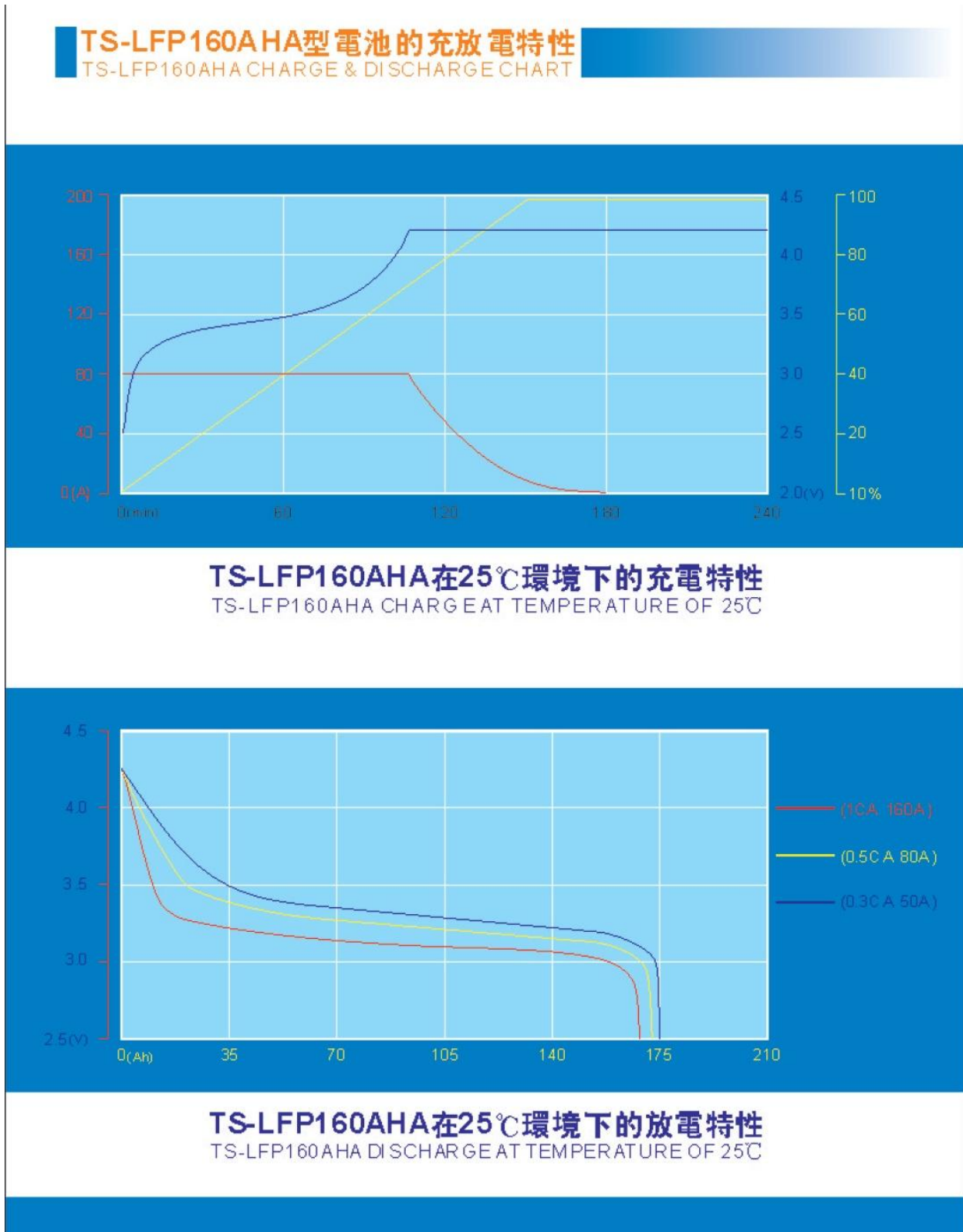


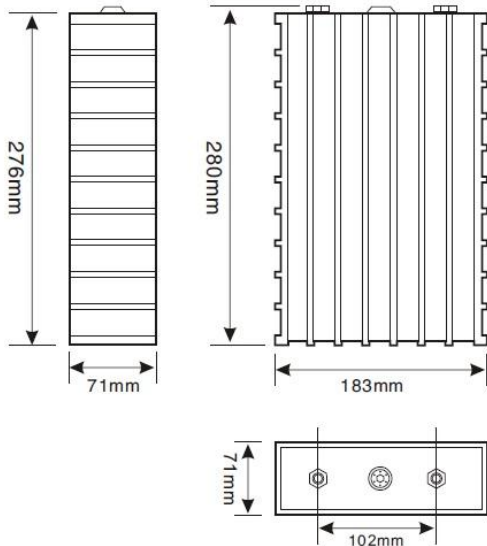
Figura I.2 – Folha de características da bateria TS-LFP160AHA, ano 2007 (continuação)

雷天牌稀土鈮鐵鋰動力電池性能說明 THUNDER SKY LiFeYPO₄ POWER BATTERY SPECIFICATIONS

單體電池尺寸 DIMENSIONS



型号(MODEL): TS-LFP160AHA



技術參數 SPECIFICATIONS

型号(MODEL): TS-LFP160AHA

標稱容量 Nominal Capacity	160Ah	
工作電壓 Operation Voltage	充電 (Charge)	4.0V
	放電 (Discharge)	2.8V
最大充電電流 Max Charge Current	≤3CA	
最大放電電流 Max Discharge Current	恒電流 (Constant Current)	≤ 3CA
	脈衝式 (Impulse Current)	≤ 20CA
標準充放電電流 Standard Charge/Discharge Current	0.5CA	
循環壽命 Cycle Life	(80DOD%)	≥3000Times
	(70DOD%)	≥5000Times
殼體耐溫性 Temperature Durability Of Case	≤200°C	
適應環境 Operating Temperature	充電 (Charge)	-45°C~85°C
	放電 (Discharge)	-45°C~85°C
自放電率(月) Self-discharge Rate	≤3% (Monthly)	
單體電池重量 Weight	5.6kg ± 100g	

Figura I.3 – Folha de características da bateria TS-LFP160AHA, ano 2010

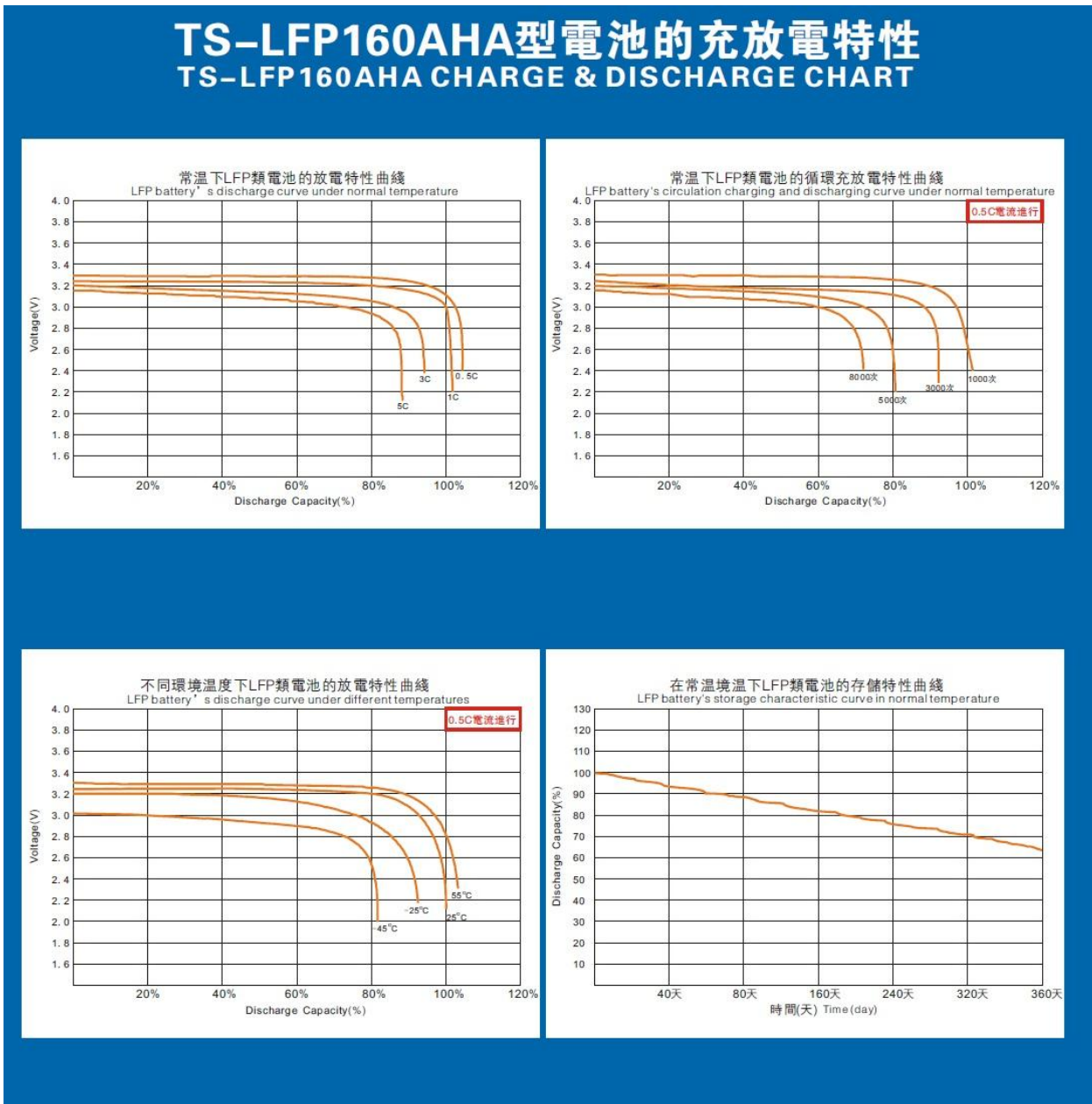
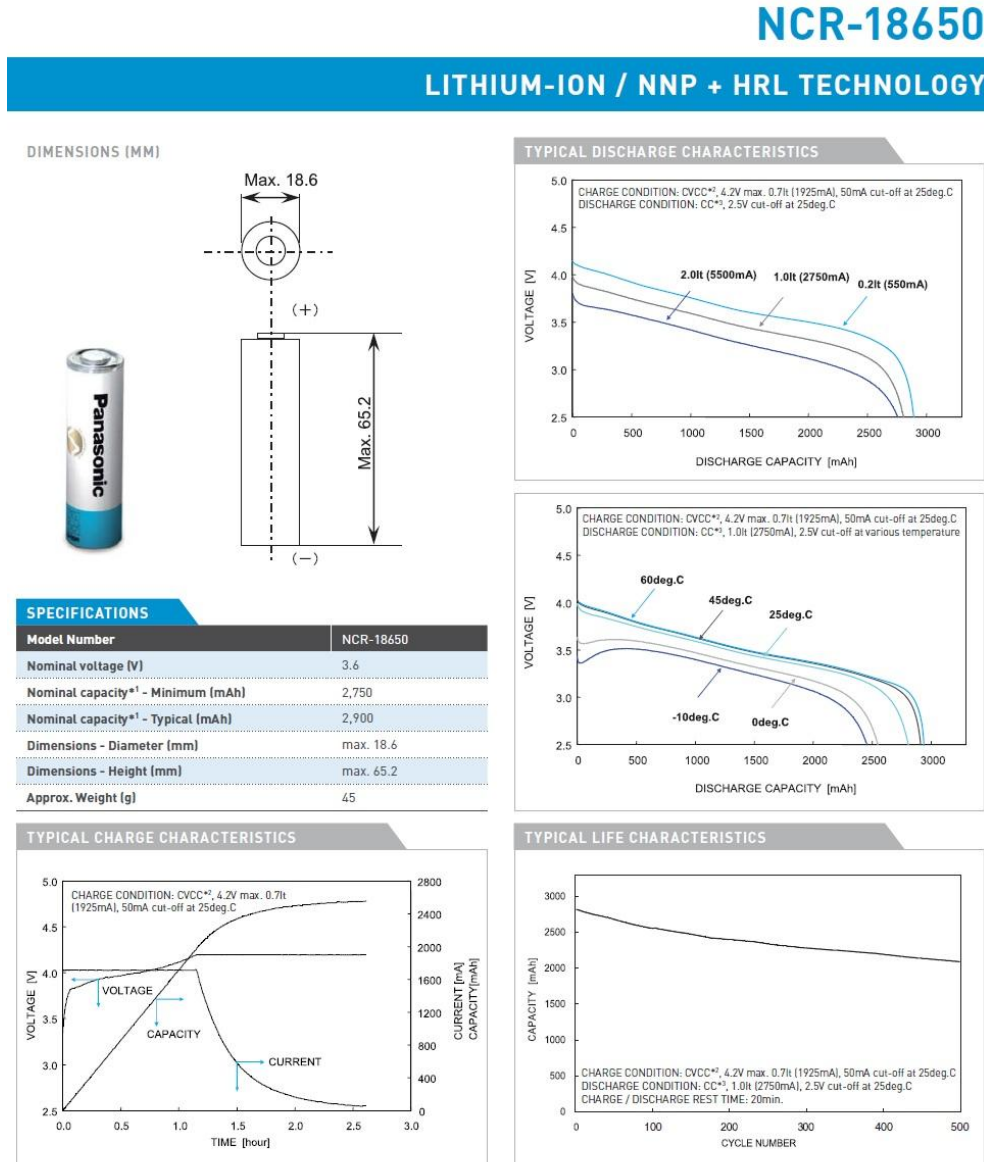


Figura I.4 – Folha de características da bateria TS-LFP160AHA, ano 2010 (continuação)

ANEXO 2 – CARACTERÍSTICAS DAS BATERIAS FORMATO 18650 DA PANASONIC

Folhas de características das baterias de íões de lítio formato 18650 da Panasonic.



*1 Charge: Constant Voltage / Constant Current, 4.2V, max. 1925mA, 50mA cut-off; Discharge: Constant Current, 550mA, 2.5V cut-off; Temperature: 25deg.C
*2 CVCC: Constant Voltage / Constant Current *3 CC: Constant Current

⚠ Notice to Readers

We are unable to support single cell business or accept orders from consumers. We design Lithium-Ion battery packs including a suitable safety unit device based on the technical specification of the customer. Due to the need for careful review when selecting Lithium-Ion battery solutions please contact your local Panasonic Sales Office. In order to avoid a lack of supply please check the battery availability with your Panasonic sales team before design-in.



Panasonic Industrial Europe GmbH | Winsbergring 15 | 22525 Hamburg | Website: <http://industrial.panasonic.com/eu>

Figura I.5 – Folha de características da bateria Panasonic 18650

ANEXO 3 – PROGRAMAÇÃO DO MICROCONTROLADOR ATMEGA328

A programação do microcontrolador ATmega328 através da plataforma de desenvolvimento arduino [34] permite obter os valores da placa de monitorização e reportar valores de tensões na porta série de modo ao IHM do Veeco conseguir obter esses valores para porpocionar essa informação ao utilizador.

O Arduino Uno é uma placa electrónica que se representa na Figura 2.7, com microcontrolador ATmega328 de velocidade de processamento de 16 MHz com auto-reset que permite comunicações com velocidades até 115200 bps, 0,5 KB, outras características na Tabela abaixo.

Tabela I.2 – Características do microcontrolador ATmega328

Microcontroller	ATmega328
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	14 (of which 6 provide PWM output)
Analog Input Pins	6
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	32 KB (ATmega328) of which 0.5 KB used by bootloader
SRAM	2 KB (ATmega328)
EEPROM	1 KB (ATmega328)
Clock Speed	16 MHz

A programação para reportar os valores da placa de monitorização, utiliza as seguintes instruções:

/*

SPI TEST - bq76PL536 - EVM3

- * SCLK - to digital pin 13 (SCK pin) - P5 - pin 7 - amarelo
- * CS - to digital pin 10 (SS pin) - P5 - pin 9 - verde
- * MISO - to digital pin 12 (MISO pin)- P5 - pin 5 - laranja
- * MOSI - to digital pin 11 (MOSI pin)- P5 - pin 8 - azul
- * GND - to digital ground (GND) - P4 - pin 6 - preto

- * Gpai - 0x01, 0x02 - (Vbrick)
- * Vcell 01 - 0x03, 0x04
- * Vcell 02 - 0x05, 0x06
- * Vcell 03 - 0x07, 0x08
- * Vcell 04 - 0x09, 0x0a
- * Vcell 05 - 0x0b, 0x0c
- * Vcell 06 - 0x0d, 0x0e
- * Temp 01 - 0x0f, 0x10
- * Temp 02 - 0x11, 0x12
- * COV_Fault - 0x22 - Cell in overvoltage
- * CUV_Fault - 0x23 - Cell in undervoltage

criado Set 2012
por Celso Menaia
*/

```
// include the SPI library:
#include <SPI.h>

// set pin 10 as the slave select for the digital pot:
const int CS = 10;
char MSB;
char LSB;
char CRC;
float values[12];
void setup() {
  // set the slaveSelectPin as an output:
  pinMode(CS, OUTPUT);
  SPI.setBitOrder(MSBFIRST);
  SPI.setClockDivider(SPI_CLOCK_DIV16);
  SPI.setDataMode(SPI_MODE1);
  SPI.begin();
  Serial.begin(9600);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    digitalWrite(CS, LOW);
```

```
    SPI.transfer(0x03);
```

```
    SPI.transfer(0x34);
```

```
    SPI.transfer(0x01);
```

```
    SPI.transfer(0x17);
```

```
    digitalWrite(CS, HIGH);
```

```
    delay(10);
```

```
    //Since we're performing a read operation, the most significant bit of the register address should be set.
```

```
    //If we're doing a multi-byte read, bit 6 needs to be set as well.
```

```
    //Set the Chip select pin low to start an SPI packet.
```

```
    digitalWrite(CS, LOW);
```

```
    SPI.transfer(0x02);
```

```
    SPI.transfer(0x01);
```

```
    SPI.transfer(0x23);
```

```
    //Vbrick
```

```
    MSB=SPI.transfer(0x00);
```

```
    LSB=SPI.transfer(0x00);
```

```
    values[0]=float(MSB*256+LSB)*33333/16383;
```

```
    // Cells 1-6
```

```
    for (int i=0; i<6; i++){
```

```
        MSB=SPI.transfer(0x00);
```

```
        LSB=SPI.transfer(0x00);
```

```
        values[i+1]=float(MSB*256+LSB)*6250/16383;}
```

```
    //Temp 1-2
```

```
    MSB=SPI.transfer(0x00);
```

```
    LSB=SPI.transfer(0x00);
```

```
values[7]=(1/(log((1820/((float(MSB*256+LSB)/33104)*5)*5-1820-1470)/10000)/3435+1/318.15)-
293.15)*10;
MSB=SPI.transfer(0x00);
LSB=SPI.transfer(0x00);
values[8]=(1/(log((1820/((float(MSB*256+LSB)/33104)*5)*5-1820-1470)/10000)/3435+1/318.15)-
293.15)*10;
CRC=SPI.transfer(0x00);
digitalWrite(CS, HIGH);

digitalWrite(CS, LOW);
SPI.transfer(0x02);
SPI.transfer(0x22);
SPI.transfer(0x02);
MSB=SPI.transfer(0x00);
values[9]=float(MSB);
MSB=SPI.transfer(0x00);
values[10]=float(MSB);
CRC=SPI.transfer(0x00);
digitalWrite(CS, HIGH);

//Set the Chip select pin low to start an SPI packet.
digitalWrite(CS, LOW);
SPI.transfer(0x04);
SPI.transfer(0x01);
SPI.transfer(0x23);

//Vbrick

MSB=SPI.transfer(0x00);
LSB=SPI.transfer(0x00);
values[11]=float(MSB*256+LSB)*33333/16383;

// Cells 1-6
for (int i=0; i<6; i++){
MSB=SPI.transfer(0x00);
LSB=SPI.transfer(0x00);
values[i+12]=float(MSB*256+LSB)*6250/16383;}
```

```
//Temp 1-2
MSB=SPI.transfer(0x00);
LSB=SPI.transfer(0x00);
values[18]=(1/(log((1820/((float(MSB*256+LSB)/33104)*5)*5-1820-1470)/10000)/3435+1/318.15)-
293.15)*10;
MSB=SPI.transfer(0x00);
LSB=SPI.transfer(0x00);
values[19]=(1/(log((1820/((float(MSB*256+LSB)/33104)*5)*5-1820-1470)/10000)/3435+1/318.15)-
293.15)*10;
CRC=SPI.transfer(0x00);
digitalWrite(CS, HIGH);

digitalWrite(CS, LOW);
SPI.transfer(0x02);
SPI.transfer(0x22);
SPI.transfer(0x02);
MSB=SPI.transfer(0x00);
values[20]=float(MSB);
MSB=SPI.transfer(0x00);
values[21]=float(MSB);
CRC=SPI.transfer(0x00);
digitalWrite(CS, HIGH);
for (int k=0; k<21; k++){
    Serial.print(values[k],5);
    Serial.print(",");
}
Serial.println(values[22],0);
delay(1000);
}
```


ANEXO 4 – RESULTADOS DE TESTES EFECTUADOS EM BANCO DE BATERIAS DO FABRICANTE HEADWAY, DO TIPO LFP DE 10AH

Parte dos dados cedidos por John Hardy, dados dos ensaios de um banco de baterias constituído por 8 baterias do tipo LFP com capacidade de 10Ah.

Tabela I.3 – Dados de carga e descarga, ciclo 50

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
10-06-2012 12:42	3429	3410	3419	3414	3411	3413	3418	19	50
10-06-2012 12:43	3431	3415	3423	3418	3414	3417	3419	17	50
10-06-2012 12:43	3433	3413	3423	3418	3416	3416	3420	20	50
10-06-2012 12:44	3434	3414	3423	3419	3417	3417	3422	20	50
10-06-2012 12:44	3434	3416	3424	3420	3418	3418	3423	18	50
10-06-2012 12:45	3435	3420	3425	3423	3419	3419	3424	16	50
10-06-2012 12:45	3436	3419	3428	3423	3420	3422	3425	17	50
10-06-2012 12:46	3440	3421	3429	3425	3423	3423	3428	19	50
10-06-2012 12:46	3440	3423	3433	3428	3425	3426	3429	17	50
10-06-2012 12:47	3442	3430	3433	3429	3426	3426	3431	16	50
10-06-2012 12:47	3444	3431	3436	3433	3429	3429	3434	15	50
10-06-2012 12:48	3446	3431	3437	3433	3430	3431	3435	16	50
10-06-2012 12:48	3448	3436	3439	3436	3434	3434	3439	14	50
10-06-2012 12:49	3450	3434	3442	3437	3434	3437	3439	16	50
10-06-2012 12:49	3452	3438	3442	3439	3435	3437	3442	17	50
10-06-2012 12:50	3454	3439	3445	3444	3439	3440	3444	15	50
10-06-2012 12:50	3456	3443	3447	3444	3439	3441	3445	17	50
10-06-2012 12:51	3458	3443	3448	3447	3441	3445	3447	17	50
10-06-2012 12:51	3459	3447	3452	3448	3444	3445	3448	15	50
10-06-2012 12:52	3462	3448	3452	3451	3445	3448	3452	17	50
10-06-2012 12:52	3464	3449	3456	3453	3448	3451	3453	16	50
10-06-2012 12:53	3467	3452	3457	3454	3450	3451	3456	17	50
10-06-2012 12:53	3469	3453	3459	3458	3452	3454	3458	17	50
10-06-2012 12:54	3469	3459	3462	3458	3453	3456	3459	16	50
10-06-2012 12:54	3474	3456	3463	3462	3456	3461	3463	18	50
10-06-2012 12:55	3475	3462	3467	3463	3458	3461	3463	17	50
10-06-2012 12:55	3478	3464	3469	3467	3461	3464	3467	17	50
10-06-2012 12:56	3480	3466	3472	3469	3463	3465	3469	17	50
10-06-2012 12:56	3484	3469	3474	3473	3467	3470	3473	17	50
10-06-2012 12:57	3486	3471	3476	3475	3469	3472	3474	17	50
10-06-2012 12:57	3489	3475	3480	3479	3473	3475	3478	16	50
10-06-2012 12:58	3492	3479	3483	3483	3478	3479	3481	14	50
10-06-2012 12:58	3497	3480	3486	3487	3481	3483	3484	17	50

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
10-06-2012 12:59	3500	3484	3491	3491	3485	3487	3487	16	50
10-06-2012 12:59	3503	3490	3495	3495	3490	3491	3492	13	50
10-06-2012 13:00	3509	3493	3500	3500	3495	3496	3497	16	50
10-06-2012 13:00	3513	3500	3506	3504	3500	3501	3502	13	50
10-06-2012 13:01	3519	3508	3512	3512	3508	3507	3507	12	50
10-06-2012 13:01	3528	3512	3518	3517	3513	3515	3513	16	50
10-06-2012 13:02	3536	3522	3526	3526	3523	3524	3523	14	50
10-06-2012 13:02	3542	3527	3531	3530	3529	3530	3528	15	50
10-06-2012 13:03	3551	3538	3541	3537	3539	3545	3540	14	50
10-06-2012 13:03	3557	3543	3546	3546	3552	3564	3551	21	50
10-06-2012 13:04	3564	3552	3552	3558	3580	3601	3576	49	50
10-06-2012 13:04	3565	3551	3556	3575	3617	3656	3606	105	50
10-06-2012 13:05	3562	3547	3551	3582	3651	3726	3640	179	50
10-06-2012 13:05	3551	3531	3536	3581	3681	3813	3673	282	50
10-06-2012 13:06	3531	3516	3517	3573	3709	3900	3702	384	50
10-06-2012 13:06	3517	3494	3497	3560	3731	3976	3726	482	50
10-06-2012 13:07	3469	3453	3453	3503	3647	3916	3641	463	50
10-06-2012 13:07	3444	3426	3429	3469	3579	3826	3580	400	50
10-06-2012 13:08	3429	3410	3414	3453	3548	3770	3550	360	50
10-06-2012 13:08	3419	3402	3407	3440	3534	3741	3532	339	50
10-06-2012 13:09	3414	3398	3398	3434	3524	3721	3523	323	50
10-06-2012 13:09	3409	3394	3394	3429	3514	3707	3513	313	50
10-06-2012 13:10	3405	3389	3390	3424	3509	3697	3508	308	50
10-06-2012 13:10	3400	3385	3389	3419	3504	3688	3503	303	50
10-06-2012 13:11	3400	3383	3384	3418	3500	3682	3498	299	50
10-06-2012 13:11	3395	3381	3384	3414	3495	3677	3495	296	50
10-06-2012 13:12	3395	3381	3383	3413	3495	3673	3493	292	50
10-06-2012 13:12	3392	3375	3379	3409	3490	3668	3489	293	50
10-06-2012 13:13	3390	3377	3379	3409	3490	3663	3489	286	50
10-06-2012 13:13	3390	3375	3378	3408	3485	3662	3484	287	50
10-06-2012 13:14	3389	3370	3375	3405	3485	3658	3484	288	50
10-06-2012 13:14	3385	3374	3374	3405	3483	3653	3481	279	50
10-06-2012 13:15	3385	3374	3374	3405	3479	3652	3479	278	50
10-06-2012 13:15	3385	3374	3374	3405	3479	3648	3479	274	50
10-06-2012 13:16	3385	3367	3373	3403	3478	3646	3476	279	50
10-06-2012 13:16	3384	3366	3370	3400	3474	3643	3474	277	50
10-06-2012 13:17	3383	3367	3369	3400	3474	3640	3474	273	50
10-06-2012 13:17	3380	3370	3369	3400	3474	3638	3473	269	50
10-06-2012 13:18	3380	3370	3369	3400	3470	3635	3469	266	50
10-06-2012 13:18	3380	3367	3369	3400	3469	3634	3469	267	50
10-06-2012 13:19	3380	3365	3369	3398	3469	3631	3469	266	50
10-06-2012 13:19	3380	3361	3368	3397	3469	3629	3468	268	50
10-06-2012 13:20	3379	3362	3367	3395	3467	3627	3464	265	50
10-06-2012 13:20	3378	3363	3366	3395	3464	3624	3464	261	50

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
10-06-2012 13:21	3375	3366	3364	3395	3464	3624	3464	260	50
10-06-2012 13:21	3375	3366	3364	3395	3464	3619	3464	255	50
10-06-2012 13:22	3375	3366	3364	3395	3463	3619	3462	255	50
10-06-2012 13:22	3375	3363	3364	3395	3461	3615	3459	252	50
10-06-2012 13:23	3375	3363	3364	3394	3459	3614	3459	251	50
10-06-2012 13:23	3219	3218	3219	3228	3228	3230	3207	23	50
10-06-2012 13:24	3214	3214	3212	3223	3218	3221	3200	23	50
10-06-2012 13:24	3210	3209	3211	3218	3213	3219	3195	24	50
10-06-2012 13:25	3208	3209	3207	3217	3213	3216	3195	22	50
10-06-2012 13:25	3205	3205	3206	3213	3208	3214	3190	24	50
10-06-2012 13:26	3205	3205	3205	3213	3208	3211	3190	23	50
10-06-2012 13:26	3205	3201	3202	3211	3208	3211	3190	21	50
10-06-2012 13:27	3200	3201	3202	3208	3205	3210	3189	21	50
10-06-2012 13:27	3200	3199	3197	3208	3204	3206	3185	23	50
10-06-2012 13:28	3199	3193	3197	3204	3204	3206	3185	21	50
10-06-2012 13:28	3195	3197	3195	3204	3199	3202	3180	24	50
10-06-2012 13:29	3195	3193	3193	3204	3199	3201	3180	24	50
10-06-2012 13:29	3194	3189	3193	3199	3199	3201	3180	21	50
10-06-2012 13:30	3190	3193	3190	3199	3194	3196	3177	22	50
10-06-2012 13:30	3190	3184	3188	3199	3194	3196	3176	23	50
10-06-2012 13:31	3189	3185	3188	3196	3194	3196	3176	20	50
10-06-2012 13:31	3185	3187	3186	3193	3191	3194	3173	21	50
10-06-2012 13:32	3185	3180	3183	3193	3189	3191	3171	22	50
10-06-2012 13:32	3185	3180	3183	3191	3189	3191	3171	20	50
10-06-2012 13:33	3180	3181	3179	3188	3188	3190	3169	21	50
10-06-2012 13:33	3180	3176	3177	3188	3184	3186	3166	22	50
10-06-2012 13:34	3179	3177	3177	3186	3184	3186	3166	20	50
10-06-2012 13:34	3176	3172	3173	3183	3183	3186	3165	21	50
10-06-2012 13:35	3176	3172	3172	3183	3179	3182	3161	22	50
10-06-2012 13:35	3174	3171	3172	3182	3179	3182	3161	21	50
10-06-2012 13:36	3171	3168	3168	3178	3178	3182	3160	22	50
10-06-2012 13:36	3171	3168	3167	3178	3174	3177	3156	22	50
10-06-2012 13:37	3167	3163	3166	3177	3174	3177	3156	21	50
10-06-2012 13:37	3166	3164	3162	3173	3173	3177	3155	22	50
10-06-2012 13:38	3165	3160	3162	3173	3169	3172	3151	22	50
10-06-2012 13:38	3161	3160	3158	3171	3169	3172	3151	21	50
10-06-2012 13:39	3161	3155	3157	3168	3165	3169	3146	23	50
10-06-2012 13:39	3156	3156	3156	3168	3165	3167	3146	22	50
10-06-2012 13:40	3156	3156	3152	3166	3165	3167	3145	22	50
10-06-2012 13:40	3151	3152	3152	3163	3160	3162	3141	22	50
10-06-2012 13:41	3151	3147	3147	3158	3158	3162	3139	23	50
10-06-2012 13:41	3147	3147	3147	3158	3155	3157	3137	21	50
10-06-2012 13:42	3146	3141	3143	3154	3154	3157	3134	23	50
10-06-2012 13:42	3141	3144	3141	3154	3150	3152	3130	24	50

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
10-06-2012 13:43	3141	3135	3138	3149	3149	3152	3129	23	50
10-06-2012 13:43	3137	3139	3137	3149	3145	3147	3126	23	50
10-06-2012 13:44	3137	3130	3133	3144	3143	3147	3124	23	50
10-06-2012 13:44	3132	3128	3129	3143	3140	3143	3121	22	50
10-06-2012 13:45	3129	3129	3128	3139	3135	3143	3117	26	50
10-06-2012 13:45	3127	3122	3123	3134	3134	3138	3116	22	50
10-06-2012 13:46	3122	3118	3118	3132	3130	3137	3111	26	50
10-06-2012 13:46	3117	3114	3117	3129	3126	3133	3109	24	50
10-06-2012 13:47	3250	3238	3245	3246	3245	3249	3241	12	50
10-06-2012 13:47	3264	3258	3260	3261	3257	3263	3256	8	50
10-06-2012 13:48	3272	3261	3264	3271	3267	3268	3262	11	50
10-06-2012 13:48	3277	3265	3269	3274	3272	3273	3267	12	50
10-06-2012 13:49	3277	3274	3274	3275	3272	3278	3267	11	50
10-06-2012 13:49	3281	3270	3274	3279	3277	3278	3272	11	50
10-06-2012 13:50	3281	3274	3277	3280	3277	3279	3272	9	50
10-06-2012 13:50	3281	3279	3279	3280	3277	3283	3272	11	50
10-06-2012 13:51	3285	3275	3279	3280	3278	3283	3274	11	50
10-06-2012 13:51	3286	3274	3279	3280	3280	3283	3277	12	50
10-06-2012 13:52	3286	3274	3279	3281	3281	3283	3277	12	50
10-06-2012 13:52	3286	3276	3279	3284	3281	3283	3277	10	50
10-06-2012 13:53	3286	3280	3279	3285	3281	3283	3277	9	50
10-06-2012 13:53	3286	3283	3280	3285	3281	3283	3277	9	50
10-06-2012 13:54	3286	3283	3281	3285	3281	3283	3277	9	50
10-06-2012 13:54	3286	3283	3283	3285	3281	3284	3277	9	50
10-06-2012 13:55	3286	3283	3283	3285	3281	3285	3277	9	50
10-06-2012 13:55	3286	3283	3284	3285	3281	3286	3277	9	50
10-06-2012 13:56	3288	3281	3284	3285	3281	3286	3277	11	50
10-06-2012 13:56	3288	3281	3284	3285	3281	3288	3277	11	50
10-06-2012 13:57	3289	3280	3284	3285	3281	3288	3277	12	50
10-06-2012 13:57	3290	3279	3284	3285	3283	3288	3278	12	50
10-06-2012 13:58	3290	3279	3284	3285	3283	3288	3278	12	50
10-06-2012 13:58	3290	3279	3284	3285	3284	3288	3278	12	50
10-06-2012 13:59	3291	3278	3284	3285	3284	3288	3279	13	50
10-06-2012 13:59	3291	3278	3284	3285	3285	3288	3279	13	50
10-06-2012 14:00	3291	3278	3284	3285	3285	3288	3280	13	50
10-06-2012 14:00	3291	3278	3284	3286	3286	3288	3278	13	50
10-06-2012 14:01	3291	3278	3284	3286	3286	3288	3279	13	50

Tabela I.4 – Dados de carga e descarga, ciclo 100

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
15-06-2012 18:19	3424	3406	3416	3409	3408	3409	3416	18	100
15-06-2012 18:19	3434	3418	3425	3422	3419	3420	3426	16	100
15-06-2012 18:20	3437	3420	3429	3424	3422	3423	3429	17	100
15-06-2012 18:20	3439	3422	3429	3426	3424	3424	3430	17	100
15-06-2012 18:21	3439	3424	3431	3426	3424	3425	3431	15	100
15-06-2012 18:21	3440	3423	3433	3428	3424	3426	3433	17	100
15-06-2012 18:22	3442	3426	3434	3429	3428	3426	3434	16	100
15-06-2012 18:22	3444	3428	3435	3431	3429	3429	3435	16	100
15-06-2012 18:23	3446	3429	3437	3431	3430	3431	3439	17	100
15-06-2012 18:23	3447	3434	3439	3435	3434	3433	3439	14	100
15-06-2012 18:24	3448	3436	3442	3437	3435	3436	3441	13	100
15-06-2012 18:24	3452	3436	3444	3437	3437	3436	3444	16	100
15-06-2012 18:25	3452	3441	3446	3442	3439	3440	3445	13	100
15-06-2012 18:25	3454	3441	3446	3444	3440	3441	3447	14	100
15-06-2012 18:26	3457	3444	3450	3444	3444	3444	3450	13	100
15-06-2012 18:26	3458	3443	3452	3447	3444	3445	3451	15	100
15-06-2012 18:27	3461	3447	3453	3448	3446	3447	3453	15	100
15-06-2012 18:27	3462	3448	3454	3450	3448	3450	3454	14	100
15-06-2012 18:28	3464	3451	3458	3453	3450	3451	3458	14	100
15-06-2012 18:28	3467	3452	3458	3454	3451	3454	3459	16	100
15-06-2012 18:29	3468	3456	3462	3458	3453	3456	3462	15	100
15-06-2012 18:29	3472	3456	3464	3459	3454	3458	3463	18	100
15-06-2012 18:30	3473	3460	3467	3461	3458	3461	3467	15	100
15-06-2012 18:30	3476	3461	3467	3464	3459	3462	3468	17	100
15-06-2012 18:31	3478	3466	3470	3465	3462	3465	3472	16	100
15-06-2012 18:31	3481	3465	3473	3468	3464	3467	3473	17	100
15-06-2012 18:32	3483	3470	3476	3472	3467	3470	3475	16	100
15-06-2012 18:32	3486	3469	3479	3473	3469	3472	3478	17	100
15-06-2012 18:33	3487	3477	3483	3478	3472	3475	3480	15	100
15-06-2012 18:33	3491	3477	3484	3479	3475	3478	3483	16	100
15-06-2012 18:34	3495	3478	3487	3484	3479	3479	3486	17	100
15-06-2012 18:34	3497	3485	3489	3487	3484	3484	3489	13	100
15-06-2012 18:35	3501	3488	3492	3492	3486	3489	3492	15	100
15-06-2012 18:35	3506	3489	3497	3496	3490	3492	3496	17	100
15-06-2012 18:36	3509	3493	3502	3501	3495	3496	3501	16	100
15-06-2012 18:36	3513	3498	3506	3504	3500	3501	3504	15	100
15-06-2012 18:37	3519	3503	3512	3511	3506	3507	3509	16	100
15-06-2012 18:37	3525	3510	3517	3517	3512	3513	3515	15	100
15-06-2012 18:38	3530	3514	3523	3523	3518	3518	3521	16	100
15-06-2012 18:38	3540	3522	3531	3530	3526	3526	3529	18	100
15-06-2012 18:39	3550	3532	3541	3537	3537	3537	3537	18	100
15-06-2012 18:39	3556	3542	3548	3546	3543	3543	3546	14	100

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
15-06-2012 18:40	3563	3548	3552	3551	3550	3552	3552	15	100
15-06-2012 18:40	3570	3559	3558	3556	3560	3563	3562	14	100
15-06-2012 18:41	3579	3564	3567	3569	3576	3584	3575	20	100
15-06-2012 18:41	3586	3572	3575	3581	3596	3613	3591	41	100
15-06-2012 18:42	3588	3573	3578	3591	3613	3647	3610	74	100
15-06-2012 18:42	3590	3573	3575	3596	3630	3690	3632	117	100
15-06-2012 18:43	3585	3569	3567	3596	3645	3740	3654	173	100
15-06-2012 18:43	3579	3557	3556	3591	3657	3793	3674	237	100
15-06-2012 18:44	3569	3540	3541	3586	3670	3844	3693	304	100
15-06-2012 18:44	3534	3513	3507	3551	3642	3852	3670	345	100
15-06-2012 18:45	3481	3463	3462	3490	3547	3716	3568	254	100
15-06-2012 18:45	3458	3441	3439	3467	3514	3657	3528	218	100
15-06-2012 18:46	3444	3431	3428	3453	3495	3629	3509	201	100
15-06-2012 18:46	3434	3421	3419	3444	3485	3613	3498	194	100
15-06-2012 18:47	3429	3410	3413	3434	3474	3599	3489	189	100
15-06-2012 18:47	3424	3406	3408	3429	3468	3590	3479	184	100
15-06-2012 18:48	3419	3402	3403	3424	3462	3580	3474	178	100
15-06-2012 18:48	3414	3398	3398	3419	3458	3575	3469	177	100
15-06-2012 18:49	3409	3394	3395	3418	3454	3570	3464	176	100
15-06-2012 18:49	3409	3394	3392	3414	3450	3564	3463	172	100
15-06-2012 18:50	3405	3389	3389	3413	3450	3560	3459	171	100
15-06-2012 18:50	3405	3389	3389	3409	3445	3556	3454	167	100
15-06-2012 18:51	3402	3386	3387	3408	3445	3551	3454	165	100
15-06-2012 18:51	3400	3385	3384	3406	3440	3546	3450	162	100
15-06-2012 18:52	3400	3385	3384	3405	3440	3546	3450	162	100
15-06-2012 18:52	3398	3381	3383	3405	3439	3541	3448	160	100
15-06-2012 18:53	3395	3381	3383	3403	3435	3539	3445	158	100
15-06-2012 18:53	3395	3381	3379	3400	3435	3536	3445	157	100
15-06-2012 18:54	3395	3379	3379	3400	3434	3532	3445	153	100
15-06-2012 18:54	3394	3376	3379	3400	3431	3531	3440	155	100
15-06-2012 18:55	3391	3376	3379	3398	3430	3529	3440	153	100
15-06-2012 18:55	3390	3377	3378	3397	3430	3526	3440	149	100
15-06-2012 18:56	3390	3377	3375	3395	3429	3525	3437	150	100
15-06-2012 18:56	3390	3375	3374	3395	3426	3521	3435	147	100
15-06-2012 18:57	3390	3371	3374	3395	3425	3521	3435	150	100
15-06-2012 18:57	3387	3372	3374	3394	3425	3517	3435	145	100
15-06-2012 18:58	3385	3374	3373	3394	3425	3517	3434	144	100
15-06-2012 18:58	3385	3374	3373	3391	3424	3517	3430	144	100
15-06-2012 18:59	3385	3374	3373	3390	3422	3512	3430	139	100
15-06-2012 18:59	3385	3371	3372	3390	3420	3512	3430	141	100
15-06-2012 19:00	3385	3371	3369	3390	3420	3511	3430	142	100
15-06-2012 19:00	3385	3367	3369	3390	3420	3507	3429	140	100
15-06-2012 19:01	3219	3218	3217	3228	3223	3230	3196	34	100
15-06-2012 19:01	3210	3209	3211	3218	3216	3216	3186	32	100

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
15-06-2012 19:02	3205	3205	3206	3213	3212	3212	3184	29	100
15-06-2012 19:02	3200	3203	3202	3212	3208	3211	3180	32	100
15-06-2012 19:03	3200	3201	3201	3208	3204	3206	3178	30	100
15-06-2012 19:03	3195	3197	3197	3206	3204	3206	3176	30	100
15-06-2012 19:04	3195	3197	3196	3204	3199	3201	3173	31	100
15-06-2012 19:04	3193	3190	3193	3202	3199	3201	3171	31	100
15-06-2012 19:05	3190	3193	3191	3199	3196	3196	3169	30	100
15-06-2012 19:05	3189	3185	3188	3197	3194	3196	3166	31	100
15-06-2012 19:06	3185	3189	3188	3193	3193	3194	3166	28	100
15-06-2012 19:06	3185	3183	3184	3193	3189	3191	3162	31	100
15-06-2012 19:07	3183	3182	3183	3190	3189	3191	3161	30	100
15-06-2012 19:07	3180	3183	3182	3188	3186	3186	3161	27	100
15-06-2012 19:08	3180	3176	3177	3188	3184	3186	3156	32	100
15-06-2012 19:08	3176	3180	3176	3185	3184	3186	3156	30	100
15-06-2012 19:09	3176	3172	3174	3183	3182	3182	3156	27	100
15-06-2012 19:09	3174	3174	3172	3183	3179	3182	3151	32	100
15-06-2012 19:10	3171	3170	3171	3179	3179	3180	3151	29	100
15-06-2012 19:10	3171	3168	3167	3178	3176	3177	3150	28	100
15-06-2012 19:11	3166	3170	3167	3177	3174	3177	3146	31	100
15-06-2012 19:11	3166	3164	3166	3173	3173	3176	3146	30	100
15-06-2012 19:12	3165	3162	3162	3173	3169	3172	3144	29	100
15-06-2012 19:12	3161	3160	3161	3171	3169	3172	3141	31	100
15-06-2012 19:13	3160	3161	3157	3168	3167	3167	3141	27	100
15-06-2012 19:13	3156	3156	3156	3167	3165	3167	3137	30	100
15-06-2012 19:14	3156	3156	3152	3163	3163	3166	3137	29	100
15-06-2012 19:14	3151	3152	3151	3162	3160	3162	3132	30	100
15-06-2012 19:15	3151	3150	3149	3158	3158	3161	3130	31	100
15-06-2012 19:15	3146	3148	3147	3158	3155	3157	3129	29	100
15-06-2012 19:16	3146	3143	3144	3154	3154	3157	3126	31	100
15-06-2012 19:16	3141	3144	3143	3154	3150	3152	3123	31	100
15-06-2012 19:17	3141	3135	3138	3149	3149	3152	3121	31	100
15-06-2012 19:17	3137	3139	3137	3147	3145	3147	3118	29	100
15-06-2012 19:18	3134	3133	3133	3144	3144	3147	3116	31	100
15-06-2012 19:18	3132	3128	3132	3143	3140	3143	3111	32	100
15-06-2012 19:19	3127	3131	3128	3139	3137	3141	3111	30	100
15-06-2012 19:19	3126	3123	3123	3137	3135	3138	3106	32	100
15-06-2012 19:20	3122	3118	3122	3134	3130	3133	3105	29	100
15-06-2012 19:20	3117	3121	3118	3129	3128	3133	3101	32	100
15-06-2012 19:21	3117	3114	3113	3126	3126	3128	3096	32	100
15-06-2012 19:21	3112	3110	3112	3124	3121	3126	3096	30	100
15-06-2012 19:22	3107	3106	3107	3119	3115	3123	3091	32	100
15-06-2012 19:22	3102	3103	3104	3115	3112	3118	3087	31	100
15-06-2012 19:23	3101	3095	3099	3110	3110	3113	3084	29	100
15-06-2012 19:23	3098	3091	3094	3107	3105	3112	3082	30	100

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
15-06-2012 19:24	3093	3087	3091	3104	3100	3109	3077	32	100
15-06-2012 19:24	3088	3081	3088	3099	3095	3104	3072	32	100
15-06-2012 19:25	3239	3231	3235	3236	3232	3239	3233	8	100
15-06-2012 19:25	3257	3249	3253	3255	3252	3253	3247	10	100
15-06-2012 19:26	3267	3257	3260	3261	3261	3263	3257	10	100
15-06-2012 19:26	3272	3261	3264	3266	3266	3268	3262	11	100
15-06-2012 19:27	3273	3269	3269	3271	3267	3273	3266	7	100
15-06-2012 19:27	3277	3265	3271	3273	3272	3273	3267	12	100
15-06-2012 19:28	3278	3273	3274	3275	3272	3278	3268	10	100
15-06-2012 19:28	3281	3270	3274	3275	3275	3278	3272	11	100
15-06-2012 19:29	3281	3272	3274	3278	3277	3278	3272	9	100
15-06-2012 19:29	3281	3279	3277	3280	3277	3279	3272	9	100
15-06-2012 19:30	3281	3279	3279	3280	3277	3283	3272	11	100
15-06-2012 19:30	3285	3275	3279	3280	3278	3283	3274	11	100
15-06-2012 19:31	3286	3274	3279	3280	3281	3283	3277	12	100
15-06-2012 19:31	3286	3274	3279	3280	3281	3283	3277	12	100
15-06-2012 19:32	3286	3276	3279	3281	3281	3283	3277	10	100
15-06-2012 19:32	3286	3278	3279	3283	3281	3283	3277	9	100
15-06-2012 19:33	3286	3283	3279	3284	3281	3283	3277	9	100
15-06-2012 19:33	3286	3283	3280	3285	3281	3283	3277	9	100
15-06-2012 19:34	3286	3283	3281	3285	3281	3283	3277	9	100
15-06-2012 19:34	3286	3283	3283	3285	3281	3284	3277	9	100
15-06-2012 19:35	3286	3283	3283	3285	3281	3285	3277	9	100
15-06-2012 19:35	3286	3283	3283	3285	3281	3286	3277	9	100
15-06-2012 19:36	3288	3281	3284	3285	3281	3286	3277	11	100
15-06-2012 19:36	3288	3281	3284	3285	3281	3288	3277	11	100
15-06-2012 19:37	3288	3281	3284	3285	3281	3288	3277	11	100
15-06-2012 19:37	3289	3280	3284	3285	3283	3288	3278	11	100
15-06-2012 19:38	3290	3279	3284	3285	3283	3288	3278	12	100
15-06-2012 19:38	3290	3279	3284	3285	3284	3288	3278	12	100
15-06-2012 19:39	3291	3278	3284	3285	3284	3288	3279	13	100

Tabela I.5 – Dados de carga e descarga, ciclo 150

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
18-06-2012 13:58	3413	3395	3402	3398	3395	3397	3406	18	150
18-06-2012 13:58	3420	3399	3409	3406	3403	3407	3413	21	150
18-06-2012 13:59	3424	3404	3414	3408	3406	3409	3416	20	150
18-06-2012 13:59	3424	3406	3416	3412	3408	3411	3417	18	150
18-06-2012 14:00	3426	3408	3417	3413	3409	3412	3418	18	150
18-06-2012 14:00	3428	3409	3418	3413	3411	3413	3419	19	150
18-06-2012 14:01	3429	3410	3419	3414	3413	3414	3420	19	150
18-06-2012 14:01	3430	3416	3422	3418	3414	3417	3423	16	150
18-06-2012 14:02	3433	3413	3424	3419	3417	3419	3425	20	150
18-06-2012 14:02	3435	3420	3426	3422	3419	3422	3426	16	150
18-06-2012 14:03	3437	3418	3430	3424	3422	3423	3429	19	150
18-06-2012 14:03	3440	3423	3433	3426	3425	3425	3433	17	150
18-06-2012 14:04	3442	3421	3434	3428	3425	3426	3434	21	150
18-06-2012 14:04	3444	3428	3436	3430	3429	3429	3435	16	150
18-06-2012 14:05	3445	3430	3439	3433	3430	3430	3437	15	150
18-06-2012 14:05	3447	3432	3439	3434	3431	3433	3439	16	150
18-06-2012 14:06	3448	3436	3440	3436	3434	3435	3440	14	150
18-06-2012 14:06	3450	3434	3442	3437	3435	3436	3441	16	150
18-06-2012 14:07	3451	3435	3444	3437	3435	3436	3444	16	150
18-06-2012 14:07	3452	3441	3444	3440	3437	3437	3444	15	150
18-06-2012 14:08	3453	3440	3446	3442	3439	3440	3445	14	150
18-06-2012 14:08	3454	3441	3448	3444	3439	3441	3447	15	150
18-06-2012 14:09	3457	3444	3448	3445	3440	3442	3448	17	150
18-06-2012 14:09	3458	3443	3450	3447	3442	3445	3450	16	150
18-06-2012 14:10	3461	3445	3453	3448	3444	3446	3452	17	150
18-06-2012 14:10	3463	3447	3453	3450	3445	3448	3454	18	150
18-06-2012 14:11	3464	3451	3456	3453	3448	3451	3456	16	150
18-06-2012 14:11	3468	3451	3458	3453	3450	3452	3458	18	150
18-06-2012 14:12	3469	3455	3462	3458	3453	3454	3461	16	150
18-06-2012 14:12	3473	3455	3463	3459	3454	3457	3463	19	150
18-06-2012 14:13	3475	3462	3467	3463	3458	3461	3465	17	150
18-06-2012 14:13	3478	3461	3470	3465	3459	3464	3468	19	150
18-06-2012 14:14	3481	3465	3473	3469	3463	3465	3472	18	150
18-06-2012 14:14	3485	3470	3476	3473	3468	3470	3474	17	150
18-06-2012 14:15	3487	3475	3480	3478	3472	3474	3478	15	150
18-06-2012 14:15	3492	3476	3483	3483	3475	3479	3483	17	150
18-06-2012 14:16	3497	3483	3487	3487	3479	3483	3487	18	150
18-06-2012 14:16	3502	3489	3492	3492	3486	3489	3492	16	150
18-06-2012 14:17	3508	3492	3498	3498	3495	3493	3497	16	150
18-06-2012 14:17	3515	3500	3507	3506	3500	3500	3503	15	150
18-06-2012 14:18	3521	3506	3513	3511	3506	3506	3508	15	150
18-06-2012 14:18	3528	3507	3518	3514	3511	3509	3512	21	150

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
18-06-2012 14:19	3535	3518	3523	3521	3518	3514	3518	21	150
18-06-2012 14:19	3545	3526	3531	3526	3524	3520	3524	25	150
18-06-2012 14:20	3556	3535	3542	3536	3536	3530	3534	26	150
18-06-2012 14:20	3564	3543	3552	3545	3547	3540	3542	24	150
18-06-2012 14:21	3395	3381	3384	3390	3386	3386	3381	14	150
18-06-2012 14:21	3370	3362	3364	3370	3367	3366	3362	8	150
18-06-2012 14:22	3363	3351	3355	3361	3356	3358	3352	12	150
18-06-2012 14:22	3357	3348	3350	3356	3351	3352	3347	10	150
18-06-2012 14:23	3356	3342	3350	3351	3346	3351	3342	14	150
18-06-2012 14:23	3351	3345	3345	3351	3346	3346	3341	10	150
18-06-2012 14:24	3351	3343	3345	3349	3345	3346	3341	10	150
18-06-2012 14:24	3351	3336	3345	3346	3341	3346	3338	15	150
18-06-2012 14:25	3350	3337	3344	3346	3341	3346	3336	14	150
18-06-2012 14:25	3349	3338	3342	3346	3341	3344	3336	13	150
18-06-2012 14:26	3346	3341	3340	3346	3341	3341	3336	10	150
18-06-2012 14:26	3346	3339	3340	3345	3341	3341	3336	10	150
18-06-2012 14:27	3346	3339	3340	3345	3340	3341	3336	10	150
18-06-2012 14:27	3346	3334	3340	3344	3339	3341	3335	12	150
18-06-2012 14:28	3346	3332	3340	3344	3339	3341	3335	14	150
18-06-2012 14:28	3346	3332	3340	3342	3338	3341	3334	14	150
18-06-2012 14:29	3346	3332	3340	3341	3338	3341	3333	14	150
18-06-2012 14:29	3346	3332	3339	3341	3336	3341	3331	15	150
18-06-2012 14:30	3346	3332	3339	3341	3336	3341	3331	15	150
18-06-2012 14:30	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	150
18-06-2012 14:31	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	150
18-06-2012 14:31	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	150
18-06-2012 14:32	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	150
18-06-2012 14:32	3344	3334	3339	3341	3336	3340	3331	13	150
18-06-2012 14:33	3344	3334	3338	3341	3336	3340	3331	13	150
18-06-2012 14:33	3344	3334	3338	3341	3336	3340	3331	13	150
18-06-2012 14:34	3344	3334	3338	3341	3336	3340	3331	13	150
18-06-2012 14:34	3344	3334	3336	3341	3336	3340	3331	13	150
18-06-2012 14:35	3341	3337	3338	3341	3336	3340	3331	10	150
18-06-2012 14:35	3341	3337	3336	3341	3336	3339	3331	10	150
18-06-2012 14:36	3224	3228	3227	3233	3228	3230	3205	28	150
18-06-2012 14:36	3219	3218	3221	3228	3223	3225	3200	28	150
18-06-2012 14:37	3216	3216	3217	3223	3221	3221	3195	28	150
18-06-2012 14:37	3214	3214	3213	3223	3218	3221	3194	29	150
18-06-2012 14:38	3211	3210	3212	3218	3216	3216	3190	28	150
18-06-2012 14:38	3210	3209	3208	3218	3213	3216	3190	28	150
18-06-2012 14:39	3208	3202	3207	3213	3212	3211	3185	28	150
18-06-2012 14:39	3205	3205	3206	3213	3208	3211	3185	28	150
18-06-2012 14:40	3204	3199	3202	3211	3207	3210	3180	31	150
18-06-2012 14:40	3200	3201	3201	3208	3204	3206	3180	28	150

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
18-06-2012 14:41	3200	3192	3197	3207	3204	3206	3179	28	150
18-06-2012 14:41	3195	3197	3196	3204	3199	3201	3176	28	150
18-06-2012 14:42	3195	3188	3193	3204	3199	3201	3176	28	150
18-06-2012 14:42	3190	3193	3190	3199	3194	3196	3171	28	150
18-06-2012 14:43	3189	3185	3188	3197	3193	3196	3171	26	150
18-06-2012 14:43	3185	3180	3183	3193	3189	3191	3166	27	150
18-06-2012 14:44	3183	3182	3183	3191	3186	3191	3163	28	150
18-06-2012 14:44	3180	3176	3177	3188	3184	3186	3161	27	150
18-06-2012 14:45	3176	3178	3176	3185	3182	3186	3156	30	150
18-06-2012 14:45	3176	3172	3172	3183	3179	3182	3156	27	150
18-06-2012 14:46	3171	3170	3171	3182	3178	3182	3152	30	150
18-06-2012 14:46	3171	3168	3167	3178	3174	3177	3151	27	150
18-06-2012 14:47	3166	3164	3167	3177	3173	3177	3150	27	150
18-06-2012 14:47	3166	3164	3162	3173	3169	3172	3146	27	150
18-06-2012 14:48	3162	3159	3162	3172	3169	3172	3145	27	150
18-06-2012 14:48	3161	3160	3157	3168	3165	3169	3141	28	150
18-06-2012 14:49	3157	3155	3157	3168	3165	3167	3140	28	150
18-06-2012 14:49	3156	3154	3152	3163	3160	3165	3137	28	150
18-06-2012 14:50	3151	3152	3152	3162	3160	3162	3137	25	150
18-06-2012 14:50	3151	3147	3147	3158	3155	3160	3130	30	150
18-06-2012 14:51	3146	3148	3146	3158	3155	3157	3130	28	150
18-06-2012 14:51	3146	3139	3143	3154	3150	3152	3126	28	150
18-06-2012 14:52	3141	3144	3140	3152	3149	3152	3124	28	150
18-06-2012 14:52	3140	3136	3138	3149	3145	3147	3121	28	150
18-06-2012 14:53	3137	3132	3133	3146	3143	3147	3118	29	150
18-06-2012 14:53	3132	3135	3133	3144	3140	3143	3116	28	150
18-06-2012 14:54	3130	3128	3128	3139	3135	3138	3111	28	150
18-06-2012 14:54	3127	3122	3123	3135	3133	3138	3110	28	150
18-06-2012 14:55	3122	3118	3121	3134	3130	3133	3106	28	150
18-06-2012 14:55	3117	3114	3117	3129	3126	3128	3101	28	150
18-06-2012 14:56	3113	3109	3113	3124	3121	3126	3096	30	150
18-06-2012 14:56	3109	3104	3109	3119	3115	3122	3091	31	150
18-06-2012 14:57	3102	3103	3102	3115	3110	3117	3088	29	150
18-06-2012 14:57	3098	3098	3096	3110	3105	3112	3082	30	150
18-06-2012 14:58	3093	3087	3089	3104	3096	3105	3077	28	150
18-06-2012 14:58	3088	3081	3084	3095	3090	3099	3072	27	150
18-06-2012 14:59	3078	3075	3076	3090	3085	3094	3067	27	150
18-06-2012 14:59	3223	3212	3216	3222	3216	3219	3214	11	150
18-06-2012 15:00	3238	3228	3230	3236	3232	3235	3233	10	150
18-06-2012 15:00	3247	3232	3240	3241	3236	3244	3238	15	150
18-06-2012 15:01	3252	3236	3245	3246	3243	3249	3243	16	150
18-06-2012 15:01	3252	3245	3245	3250	3247	3249	3247	7	150
18-06-2012 15:02	3257	3240	3249	3251	3247	3253	3247	17	150
18-06-2012 15:02	3257	3249	3250	3251	3251	3253	3250	8	150

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
18-06-2012 15:03	3257	3249	3250	3252	3252	3253	3252	8	150
18-06-2012 15:03	3258	3248	3250	3255	3252	3255	3252	10	150
18-06-2012 15:04	3261	3245	3250	3256	3252	3258	3252	16	150
18-06-2012 15:04	3262	3249	3252	3256	3252	3258	3252	13	150
18-06-2012 15:05	3262	3253	3253	3256	3253	3258	3252	10	150
18-06-2012 15:05	3262	3253	3255	3256	3255	3258	3253	9	150
18-06-2012 15:06	3262	3253	3255	3256	3256	3258	3253	9	150
18-06-2012 15:06	3262	3253	3255	3256	3257	3258	3256	9	150
18-06-2012 15:07	3262	3253	3255	3256	3257	3258	3257	9	150
18-06-2012 15:07	3262	3253	3255	3256	3257	3258	3257	9	150
18-06-2012 15:08	3262	3253	3255	3256	3257	3258	3257	9	150
18-06-2012 15:08	3262	3253	3255	3257	3257	3258	3257	9	150
18-06-2012 15:09	3263	3252	3255	3257	3257	3258	3257	11	150
18-06-2012 15:09	3263	3252	3255	3257	3257	3260	3257	11	150
18-06-2012 15:10	3263	3252	3255	3258	3257	3260	3257	11	150
18-06-2012 15:10	3264	3251	3255	3260	3257	3260	3257	13	150
18-06-2012 15:11	3266	3249	3255	3260	3257	3261	3257	17	150
18-06-2012 15:11	3266	3251	3255	3261	3257	3261	3257	15	150
18-06-2012 15:12	3267	3250	3255	3261	3257	3262	3257	17	150
18-06-2012 15:12	3267	3250	3255	3261	3257	3263	3257	17	150
18-06-2012 15:13	3267	3253	3255	3261	3257	3263	3257	14	150
18-06-2012 15:13	3267	3255	3255	3261	3257	3263	3257	12	150

Tabela I.6 – Dados de carga e descarga, ciclo 200

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
21-06-2012 05:46	3369	3345	3353	3349	3346	3346	3359	24	200
21-06-2012 05:47	3386	3361	3369	3364	3366	3364	3380	25	200
21-06-2012 05:47	3403	3380	3384	3380	3380	3381	3396	23	200
21-06-2012 05:48	3418	3392	3398	3394	3395	3396	3409	26	200
21-06-2012 05:48	3429	3408	3412	3405	3406	3407	3422	24	200
21-06-2012 05:49	3439	3416	3424	3416	3416	3418	3430	23	200
21-06-2012 05:49	3446	3426	3429	3424	3424	3425	3436	22	200
21-06-2012 05:50	3450	3434	3435	3430	3429	3430	3439	21	200
21-06-2012 05:50	3453	3437	3440	3434	3433	3433	3444	20	200
21-06-2012 05:51	3456	3437	3442	3437	3435	3436	3445	21	200
21-06-2012 05:51	3458	3443	3445	3439	3439	3440	3447	19	200
21-06-2012 05:52	3462	3442	3447	3444	3440	3441	3448	22	200
21-06-2012 05:52	3464	3446	3452	3446	3444	3444	3452	20	200
21-06-2012 05:53	3467	3450	3453	3448	3445	3446	3454	22	200
21-06-2012 05:53	3470	3449	3458	3450	3448	3451	3458	22	200
21-06-2012 05:54	3472	3456	3458	3453	3452	3452	3459	20	200
21-06-2012 05:54	3474	3456	3462	3456	3453	3456	3462	21	200
21-06-2012 05:55	3476	3461	3464	3458	3456	3456	3464	20	200
21-06-2012 05:55	3478	3461	3467	3461	3459	3459	3467	19	200
21-06-2012 05:56	3481	3465	3467	3463	3459	3461	3468	22	200
21-06-2012 05:56	3483	3463	3472	3464	3464	3463	3469	20	200
21-06-2012 05:57	3485	3468	3473	3467	3463	3465	3472	22	200
21-06-2012 05:57	3486	3469	3478	3469	3465	3467	3473	21	200
21-06-2012 05:58	3487	3475	3475	3473	3469	3467	3474	20	200
21-06-2012 05:58	3490	3474	3476	3473	3468	3468	3476	22	200
21-06-2012 05:59	3492	3474	3479	3473	3472	3470	3478	22	200
21-06-2012 05:59	3493	3480	3481	3474	3474	3474	3480	19	200
21-06-2012 06:00	3496	3477	3484	3478	3474	3475	3483	22	200
21-06-2012 06:00	3498	3484	3487	3479	3478	3476	3484	22	200
21-06-2012 06:01	3501	3483	3489	3483	3479	3480	3487	22	200
21-06-2012 06:01	3503	3488	3490	3484	3484	3481	3489	22	200
21-06-2012 06:02	3506	3492	3493	3486	3486	3484	3492	22	200
21-06-2012 06:02	3509	3491	3496	3489	3487	3487	3493	22	200
21-06-2012 06:03	3512	3497	3498	3492	3490	3489	3497	23	200
21-06-2012 06:03	3515	3498	3502	3495	3493	3491	3500	24	200
21-06-2012 06:04	3518	3500	3504	3497	3497	3495	3502	23	200
21-06-2012 06:04	3518	3500	3506	3498	3497	3495	3502	23	200
21-06-2012 06:05	3520	3502	3507	3502	3500	3496	3503	24	200
21-06-2012 06:05	3523	3504	3507	3503	3501	3500	3506	23	200
21-06-2012 06:06	3525	3506	3513	3508	3504	3500	3507	25	200
21-06-2012 06:06	3526	3509	3513	3508	3507	3501	3508	25	200

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
21-06-2012 06:07	3528	3507	3513	3511	3508	3502	3507	26	200
21-06-2012 06:07	3530	3508	3515	3512	3509	3504	3508	26	200
21-06-2012 06:08	3531	3513	3517	3517	3513	3506	3512	25	200
21-06-2012 06:08	3536	3517	3523	3521	3518	3511	3515	25	200
21-06-2012 06:09	3541	3521	3526	3524	3521	3514	3517	27	200
21-06-2012 06:09	3383	3371	3374	3379	3377	3375	3369	14	200
21-06-2012 06:10	3366	3357	3358	3361	3357	3361	3352	14	200
21-06-2012 06:10	3357	3348	3350	3356	3351	3351	3347	10	200
21-06-2012 06:11	3355	3341	3349	3351	3346	3351	3341	14	200
21-06-2012 06:11	3351	3345	3345	3350	3346	3346	3341	10	200
21-06-2012 06:12	3351	3340	3344	3346	3344	3346	3336	15	200
21-06-2012 06:12	3350	3337	3344	3346	3341	3346	3336	14	200
21-06-2012 06:13	3347	3340	3340	3346	3341	3345	3336	11	200
21-06-2012 06:13	3346	3341	3340	3346	3341	3341	3336	10	200
21-06-2012 06:14	3346	3341	3340	3345	3341	3341	3336	10	200
21-06-2012 06:14	3346	3341	3340	3345	3341	3341	3336	10	200
21-06-2012 06:15	3346	3339	3340	3345	3341	3341	3336	10	200
21-06-2012 06:15	3346	3339	3340	3344	3340	3341	3335	11	200
21-06-2012 06:16	3346	3337	3340	3342	3340	3341	3335	11	200
21-06-2012 06:16	3346	3337	3340	3342	3340	3341	3334	12	200
21-06-2012 06:17	3346	3334	3339	3341	3339	3341	3334	12	200
21-06-2012 06:17	3346	3332	3339	3341	3339	3341	3333	14	200
21-06-2012 06:18	3346	3332	3339	3341	3339	3341	3331	15	200
21-06-2012 06:18	3346	3332	3339	3341	3339	3341	3331	15	200
21-06-2012 06:19	3346	3332	3339	3341	3338	3341	3331	15	200
21-06-2012 06:19	3345	3333	3339	3341	3338	3341	3331	14	200
21-06-2012 06:20	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	200
21-06-2012 06:20	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	200
21-06-2012 06:21	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	200
21-06-2012 06:21	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	200
21-06-2012 06:22	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	200
21-06-2012 06:22	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	200
21-06-2012 06:23	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	200
21-06-2012 06:23	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	200
21-06-2012 06:24	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	200
21-06-2012 06:24	3205	3205	3207	3218	3213	3216	3185	33	200
21-06-2012 06:25	3195	3197	3197	3208	3204	3206	3176	32	200
21-06-2012 06:25	3189	3194	3193	3204	3199	3201	3171	33	200
21-06-2012 06:26	3184	3188	3188	3199	3193	3196	3166	33	200
21-06-2012 06:26	3179	3184	3183	3193	3188	3191	3161	32	200
21-06-2012 06:27	3176	3176	3177	3188	3183	3186	3157	31	200
21-06-2012 06:27	3171	3174	3172	3183	3179	3182	3155	28	200
21-06-2012 06:28	3166	3173	3167	3178	3174	3178	3151	27	200
21-06-2012 06:28	3162	3168	3163	3173	3171	3177	3146	31	200

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
21-06-2012 06:29	3161	3160	3162	3173	3169	3172	3141	32	200
21-06-2012 06:29	3156	3165	3157	3168	3165	3169	3141	28	200
21-06-2012 06:30	3156	3156	3157	3167	3165	3167	3137	30	200
21-06-2012 06:30	3151	3159	3152	3163	3161	3163	3137	26	200
21-06-2012 06:31	3151	3152	3152	3163	3160	3162	3130	33	200
21-06-2012 06:31	3146	3155	3147	3158	3158	3161	3130	31	200
21-06-2012 06:32	3146	3148	3147	3158	3155	3157	3127	31	200
21-06-2012 06:32	3144	3148	3145	3155	3155	3157	3126	31	200
21-06-2012 06:33	3141	3144	3143	3154	3150	3152	3124	30	200
21-06-2012 06:33	3139	3144	3141	3152	3150	3152	3121	31	200
21-06-2012 06:34	3137	3139	3138	3149	3145	3147	3121	28	200
21-06-2012 06:34	3134	3135	3135	3147	3145	3147	3116	31	200
21-06-2012 06:35	3132	3135	3133	3144	3140	3143	3116	28	200
21-06-2012 06:35	3127	3131	3128	3141	3140	3143	3111	32	200
21-06-2012 06:36	3127	3127	3128	3139	3135	3138	3110	29	200
21-06-2012 06:36	3122	3127	3123	3134	3133	3135	3106	29	200
21-06-2012 06:37	3117	3123	3118	3133	3130	3133	3101	32	200
21-06-2012 06:37	3117	3114	3116	3129	3126	3128	3100	29	200
21-06-2012 06:38	3112	3110	3112	3124	3121	3123	3096	28	200
21-06-2012 06:38	3107	3106	3109	3119	3115	3118	3091	28	200
21-06-2012 06:39	3102	3103	3104	3115	3110	3113	3087	28	200
21-06-2012 06:39	3098	3098	3099	3110	3105	3110	3082	28	200
21-06-2012 06:40	3093	3091	3093	3105	3100	3106	3077	29	200
21-06-2012 06:40	3087	3082	3088	3100	3095	3100	3072	28	200
21-06-2012 06:41	3078	3082	3079	3095	3090	3094	3067	28	200
21-06-2012 06:41	3073	3078	3074	3089	3084	3089	3061	28	200
21-06-2012 06:42	3068	3065	3068	3080	3077	3084	3052	32	200
21-06-2012 06:42	3062	3062	3062	3076	3071	3079	3048	31	200
21-06-2012 06:43	3054	3055	3054	3068	3066	3071	3043	28	200
21-06-2012 06:43	3048	3049	3048	3060	3057	3065	3034	31	200
21-06-2012 06:44	3039	3040	3039	3051	3051	3060	3028	32	200
21-06-2012 06:44	3029	3033	3029	3044	3041	3050	3018	32	200
21-06-2012 06:45	3020	3022	3020	3033	3032	3040	3012	28	200
21-06-2012 06:45	3010	3007	3009	3021	3021	3031	3003	28	200
21-06-2012 06:46	2994	2996	2995	3011	3007	3021	2989	32	200
21-06-2012 06:46	2979	2984	2981	2996	2992	3011	2979	32	200
21-06-2012 06:47	2965	2972	2966	2982	2982	3000	2968	35	200
21-06-2012 06:47	2950	2951	2950	2967	2967	2987	2955	37	200
21-06-2012 06:48	2936	2938	2936	2953	2953	2972	2940	36	200
21-06-2012 06:48	3174	3162	3166	3166	3167	3171	3165	12	200
21-06-2012 06:49	3194	3185	3186	3186	3186	3190	3184	10	200
21-06-2012 06:49	3204	3190	3193	3193	3194	3195	3194	14	200
21-06-2012 06:50	3207	3196	3196	3199	3197	3200	3199	11	200
21-06-2012 06:50	3208	3200	3201	3202	3202	3205	3199	9	200

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
21-06-2012 06:51	3211	3199	3201	3202	3202	3205	3202	12	200
21-06-2012 06:51	3213	3204	3204	3206	3205	3205	3204	9	200
21-06-2012 06:52	3213	3204	3206	3207	3207	3208	3204	9	200
21-06-2012 06:52	3213	3204	3206	3207	3207	3210	3204	9	200
21-06-2012 06:53	3213	3204	3206	3207	3207	3210	3204	9	200
21-06-2012 06:53	3213	3204	3206	3207	3207	3210	3204	9	200
21-06-2012 06:54	3214	3207	3206	3207	3207	3210	3205	9	200
21-06-2012 06:54	3216	3207	3206	3208	3207	3210	3205	11	200
21-06-2012 06:55	3217	3206	3206	3208	3207	3210	3206	11	200
21-06-2012 06:55	3218	3208	3206	3210	3207	3210	3207	12	200
21-06-2012 06:56	3218	3208	3206	3210	3208	3210	3207	12	200
21-06-2012 06:56	3218	3208	3207	3211	3208	3210	3208	11	200
21-06-2012 06:57	3218	3208	3207	3211	3208	3210	3208	11	200
21-06-2012 06:57	3218	3208	3208	3212	3210	3210	3208	10	200
21-06-2012 06:58	3218	3208	3208	3212	3210	3210	3208	10	200
21-06-2012 06:58	3218	3208	3210	3212	3211	3211	3208	10	200
21-06-2012 06:59	3218	3208	3210	3212	3211	3211	3208	10	200
21-06-2012 06:59	3218	3208	3210	3212	3211	3211	3208	10	200
21-06-2012 07:00	3218	3208	3210	3212	3212	3211	3208	10	200
21-06-2012 07:00	3218	3208	3210	3212	3212	3211	3208	10	200
21-06-2012 07:01	3218	3208	3210	3212	3212	3211	3208	10	200
21-06-2012 07:01	3218	3208	3211	3212	3212	3212	3208	10	200
21-06-2012 07:02	3218	3208	3211	3212	3212	3212	3208	10	200
21-06-2012 07:02	3218	3208	3210	3212	3212	3212	3208	10	200

Tabela I.7 – Dados de carga e descarga, ciclo 250

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
24-06-2012 05:38	3364	3345	3350	3346	3346	3347	3357	19	250
24-06-2012 05:38	3373	3348	3357	3351	3352	3353	3366	25	250
24-06-2012 05:39	3380	3358	3364	3359	3362	3362	3373	22	250
24-06-2012 05:39	3389	3365	3372	3366	3368	3368	3380	24	250
24-06-2012 05:40	3396	3371	3380	3373	3375	3377	3387	25	250
24-06-2012 05:40	3403	3380	3386	3379	3383	3383	3395	24	250
24-06-2012 05:41	3412	3389	3394	3386	3390	3392	3403	26	250
24-06-2012 05:41	3419	3398	3403	3395	3398	3400	3409	24	250
24-06-2012 05:42	3426	3404	3411	3403	3406	3407	3419	23	250
24-06-2012 05:42	3433	3413	3418	3411	3413	3414	3424	22	250
24-06-2012 05:43	3437	3418	3425	3418	3419	3420	3430	19	250
24-06-2012 05:43	3442	3421	3430	3423	3424	3426	3434	21	250
24-06-2012 05:44	3446	3429	3434	3428	3429	3430	3437	18	250
24-06-2012 05:44	3448	3436	3437	3433	3430	3433	3440	18	250
24-06-2012 05:45	3452	3436	3442	3435	3434	3436	3444	18	250
24-06-2012 05:45	3456	3437	3445	3439	3437	3439	3447	19	250
24-06-2012 05:46	3458	3443	3448	3444	3440	3440	3450	18	250
24-06-2012 05:46	3463	3447	3450	3445	3444	3442	3453	21	250
24-06-2012 05:47	3467	3450	3456	3450	3445	3450	3456	22	250
24-06-2012 05:47	3468	3451	3458	3452	3448	3451	3459	20	250
24-06-2012 05:48	3472	3456	3462	3454	3453	3454	3462	19	250
24-06-2012 05:48	3474	3461	3464	3457	3456	3457	3464	18	250
24-06-2012 05:49	3476	3461	3467	3459	3458	3459	3467	18	250
24-06-2012 05:49	3479	3465	3468	3464	3459	3462	3468	20	250
24-06-2012 05:50	3481	3465	3470	3464	3463	3464	3470	18	250
24-06-2012 05:50	3483	3470	3473	3468	3464	3465	3473	19	250
24-06-2012 05:51	3486	3469	3474	3469	3467	3468	3474	19	250
24-06-2012 05:51	3487	3475	3478	3472	3468	3470	3478	19	250
24-06-2012 05:52	3490	3474	3479	3473	3470	3473	3478	20	250
24-06-2012 05:52	3492	3479	3481	3476	3474	3475	3481	18	250
24-06-2012 05:53	3496	3477	3484	3479	3476	3476	3483	20	250
24-06-2012 05:53	3497	3485	3487	3481	3478	3479	3486	19	250
24-06-2012 05:54	3501	3485	3489	3484	3483	3481	3487	20	250
24-06-2012 05:54	3504	3487	3492	3486	3485	3484	3492	20	250
24-06-2012 05:55	3507	3493	3496	3489	3489	3487	3495	20	250
24-06-2012 05:55	3512	3497	3501	3493	3492	3490	3498	22	250
24-06-2012 05:56	3517	3501	3504	3498	3496	3495	3502	22	250
24-06-2012 05:56	3521	3506	3511	3503	3502	3500	3507	21	250
24-06-2012 05:57	3528	3507	3517	3508	3508	3504	3512	24	250
24-06-2012 05:57	3532	3515	3523	3514	3513	3509	3518	23	250
24-06-2012 05:58	3536	3517	3525	3518	3515	3511	3518	25	250
24-06-2012 05:58	3540	3522	3528	3523	3519	3514	3521	26	250

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
24-06-2012 05:59	3542	3523	3532	3526	3524	3515	3523	27	250
24-06-2012 05:59	3547	3524	3535	3529	3528	3519	3526	28	250
24-06-2012 06:00	3551	3529	3539	3532	3531	3521	3528	30	250
24-06-2012 06:00	3375	3366	3368	3370	3368	3370	3364	11	250
24-06-2012 06:01	3361	3351	3353	3356	3351	3356	3347	14	250
24-06-2012 06:01	3353	3343	3345	3351	3346	3349	3341	12	250
24-06-2012 06:02	3351	3336	3344	3346	3341	3346	3336	15	250
24-06-2012 06:02	3346	3341	3340	3346	3341	3342	3336	10	250
24-06-2012 06:03	3346	3339	3340	3344	3340	3341	3336	10	250
24-06-2012 06:03	3346	3332	3339	3341	3336	3341	3333	14	250
24-06-2012 06:04	3346	3332	3339	3341	3336	3341	3331	15	250
24-06-2012 06:04	3345	3333	3336	3341	3336	3341	3331	14	250
24-06-2012 06:05	3342	3336	3335	3341	3336	3341	3331	11	250
24-06-2012 06:05	3341	3337	3335	3341	3336	3340	3331	10	250
24-06-2012 06:06	3341	3337	3335	3340	3336	3340	3331	10	250
24-06-2012 06:06	3341	3337	3335	3340	3336	3339	3331	10	250
24-06-2012 06:07	3341	3337	3335	3340	3336	3339	3331	10	250
24-06-2012 06:07	3341	3335	3335	3340	3336	3338	3331	10	250
24-06-2012 06:08	3341	3335	3335	3340	3335	3336	3331	10	250
24-06-2012 06:08	3341	3335	3334	3340	3335	3336	3331	10	250
24-06-2012 06:09	3341	3335	3334	3340	3335	3336	3331	10	250
24-06-2012 06:09	3341	3333	3334	3340	3335	3336	3331	10	250
24-06-2012 06:10	3341	3333	3334	3340	3335	3336	3331	10	250
24-06-2012 06:10	3341	3333	3334	3340	3335	3336	3331	10	250
24-06-2012 06:11	3341	3333	3334	3339	3335	3336	3330	11	250
24-06-2012 06:11	3341	3330	3334	3339	3335	3336	3330	11	250
24-06-2012 06:12	3341	3330	3334	3339	3335	3336	3330	11	250
24-06-2012 06:12	3341	3330	3334	3339	3335	3336	3330	11	250
24-06-2012 06:13	3341	3330	3334	3339	3335	3336	3330	11	250
24-06-2012 06:13	3341	3328	3334	3339	3335	3336	3330	13	250
24-06-2012 06:14	3341	3330	3334	3339	3335	3336	3330	11	250
24-06-2012 06:14	3341	3328	3334	3339	3335	3336	3330	13	250
24-06-2012 06:15	3341	3328	3334	3338	3335	3336	3330	13	250
24-06-2012 06:15	3200	3201	3201	3212	3204	3211	3180	32	250
24-06-2012 06:16	3185	3189	3188	3199	3193	3196	3169	30	250
24-06-2012 06:16	3180	3179	3179	3188	3184	3190	3161	29	250
24-06-2012 06:17	3176	3172	3172	3183	3179	3183	3156	27	250
24-06-2012 06:17	3171	3168	3171	3178	3174	3179	3151	28	250
24-06-2012 06:18	3166	3170	3167	3177	3174	3177	3146	31	250
24-06-2012 06:18	3165	3165	3162	3173	3169	3172	3145	28	250
24-06-2012 06:19	3161	3160	3162	3172	3169	3171	3141	31	250
24-06-2012 06:19	3160	3161	3158	3168	3166	3167	3140	28	250
24-06-2012 06:20	3156	3158	3157	3168	3165	3167	3137	31	250
24-06-2012 06:20	3156	3156	3156	3165	3163	3162	3137	28	250

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
24-06-2012 06:21	3151	3159	3152	3163	3160	3162	3132	31	250
24-06-2012 06:21	3151	3152	3151	3162	3160	3161	3130	32	250
24-06-2012 06:22	3150	3151	3147	3158	3156	3157	3130	28	250
24-06-2012 06:22	3146	3148	3147	3157	3155	3157	3126	31	250
24-06-2012 06:23	3145	3144	3143	3154	3150	3152	3126	28	250
24-06-2012 06:23	3141	3144	3141	3152	3150	3151	3121	31	250
24-06-2012 06:24	3138	3138	3138	3149	3145	3147	3121	28	250
24-06-2012 06:24	3137	3130	3133	3144	3140	3143	3116	28	250
24-06-2012 06:25	3132	3133	3129	3139	3137	3141	3111	30	250
24-06-2012 06:25	3127	3131	3127	3138	3134	3138	3110	28	250
24-06-2012 06:26	3122	3127	3123	3134	3130	3133	3106	28	250
24-06-2012 06:26	3117	3123	3118	3129	3126	3128	3101	28	250
24-06-2012 06:27	3116	3115	3113	3124	3121	3123	3096	28	250
24-06-2012 06:27	3111	3111	3110	3122	3116	3121	3091	31	250
24-06-2012 06:28	3107	3106	3107	3118	3113	3118	3088	30	250
24-06-2012 06:28	3102	3103	3102	3115	3110	3113	3085	30	250
24-06-2012 06:29	3098	3098	3099	3110	3105	3109	3082	28	250
24-06-2012 06:29	3093	3094	3094	3105	3100	3104	3077	28	250
24-06-2012 06:30	3088	3090	3089	3100	3095	3099	3072	28	250
24-06-2012 06:30	3083	3086	3084	3098	3093	3094	3067	31	250
24-06-2012 06:31	3080	3080	3079	3094	3090	3090	3062	32	250
24-06-2012 06:31	3078	3073	3076	3089	3085	3089	3059	30	250
24-06-2012 06:32	3073	3069	3070	3085	3080	3084	3056	29	250
24-06-2012 06:32	3068	3065	3066	3079	3076	3079	3051	28	250
24-06-2012 06:33	3062	3062	3060	3074	3071	3074	3046	28	250
24-06-2012 06:33	3054	3059	3054	3066	3066	3068	3040	28	250
24-06-2012 06:34	3049	3048	3048	3060	3059	3060	3033	27	250
24-06-2012 06:34	3039	3040	3039	3050	3051	3054	3027	27	250
24-06-2012 06:35	3029	3033	3029	3040	3041	3045	3018	27	250
24-06-2012 06:35	3020	3015	3018	3031	3029	3034	3009	25	250
24-06-2012 06:36	3005	3003	3005	3018	3017	3021	2994	27	250
24-06-2012 06:36	2989	2992	2989	3003	3003	3006	2979	27	250
24-06-2012 06:37	2970	2975	2971	2987	2982	2992	2965	27	250
24-06-2012 06:37	2949	2947	2945	2962	2959	2972	2945	27	250
24-06-2012 06:38	2920	2918	2916	2932	2933	2948	2920	32	250
24-06-2012 06:38	2882	2883	2877	2893	2899	2914	2890	37	250
24-06-2012 06:39	2836	2832	2826	2844	2854	2870	2856	44	250
24-06-2012 06:39	3101	3086	3078	3080	3094	3093	3110	32	250
24-06-2012 06:40	3126	3112	3100	3104	3118	3115	3134	34	250
24-06-2012 06:40	3137	3119	3111	3113	3129	3126	3145	34	250
24-06-2012 06:41	3145	3122	3117	3118	3134	3132	3155	38	250
24-06-2012 06:41	3146	3128	3118	3123	3139	3133	3156	38	250
24-06-2012 06:42	3150	3133	3122	3123	3139	3137	3160	38	250
24-06-2012 06:42	3150	3133	3122	3124	3143	3137	3161	39	250

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
24-06-2012 06:43	3155	3134	3126	3128	3144	3140	3165	39	250
24-06-2012 06:43	3155	3137	3127	3128	3144	3141	3165	38	250
24-06-2012 06:44	3155	3137	3127	3128	3144	3141	3165	38	250
24-06-2012 06:44	3156	3136	3127	3128	3144	3141	3166	39	250
24-06-2012 06:45	3158	3134	3127	3128	3145	3141	3169	42	250
24-06-2012 06:45	3160	3134	3128	3128	3146	3141	3169	41	250
24-06-2012 06:46	3160	3138	3129	3129	3147	3141	3169	40	250
24-06-2012 06:46	3160	3141	3130	3130	3149	3143	3169	39	250
24-06-2012 06:47	3160	3141	3132	3132	3149	3145	3169	37	250
24-06-2012 06:47	3160	3141	3132	3132	3149	3145	3169	37	250
24-06-2012 06:48	3160	3141	3132	3132	3149	3146	3169	37	250
24-06-2012 06:48	3160	3141	3132	3133	3149	3146	3169	37	250
24-06-2012 06:49	3160	3141	3132	3133	3149	3146	3171	39	250
24-06-2012 06:49	3160	3141	3132	3133	3149	3146	3172	40	250
24-06-2012 06:50	3161	3140	3132	3133	3149	3146	3172	40	250
24-06-2012 06:50	3161	3140	3132	3133	3149	3146	3173	41	250
24-06-2012 06:51	3162	3139	3132	3133	3149	3146	3174	42	250
24-06-2012 06:51	3163	3138	3132	3133	3149	3146	3174	42	250
24-06-2012 06:52	3165	3138	3132	3133	3149	3146	3174	42	250
24-06-2012 06:52	3165	3138	3132	3133	3149	3146	3174	42	250
24-06-2012 06:53	3165	3140	3132	3133	3149	3146	3174	42	250
24-06-2012 06:53	3165	3140	3132	3133	3149	3146	3174	42	250

Tabela I.8 – Dados de carga e descarga, ciclo 300

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
27-06-2012 02:54	3398	3376	3383	3380	3380	3381	3391	22	300
27-06-2012 02:55	3419	3400	3407	3401	3401	3405	3413	19	300
27-06-2012 02:55	3431	3412	3419	3413	3414	3416	3424	19	300
27-06-2012 02:56	3436	3419	3424	3419	3419	3422	3429	17	300
27-06-2012 02:56	3439	3422	3429	3424	3423	3425	3430	17	300
27-06-2012 02:57	3442	3421	3430	3426	3424	3425	3433	21	300
27-06-2012 02:57	3444	3426	3433	3429	3425	3429	3434	19	300
27-06-2012 02:58	3446	3429	3435	3429	3429	3431	3436	17	300
27-06-2012 02:58	3447	3432	3437	3433	3430	3431	3439	17	300
27-06-2012 02:59	3451	3433	3440	3434	3433	3435	3441	18	300
27-06-2012 02:59	3453	3437	3444	3436	3435	3437	3444	18	300
27-06-2012 03:00	3456	3437	3445	3440	3439	3441	3446	19	300
27-06-2012 03:00	3458	3443	3448	3444	3440	3442	3448	18	300
27-06-2012 03:01	3459	3445	3451	3446	3444	3445	3451	15	300
27-06-2012 03:01	3462	3448	3453	3448	3445	3447	3452	17	300
27-06-2012 03:02	3463	3447	3454	3450	3447	3450	3453	16	300
27-06-2012 03:02	3467	3450	3457	3454	3448	3451	3456	19	300
27-06-2012 03:03	3468	3451	3458	3454	3450	3451	3458	18	300
27-06-2012 03:03	3469	3453	3461	3454	3454	3454	3458	16	300
27-06-2012 03:04	3472	3456	3462	3457	3454	3456	3461	18	300
27-06-2012 03:04	3473	3455	3463	3459	3454	3456	3463	19	300
27-06-2012 03:05	3474	3461	3464	3458	3457	3458	3463	17	300
27-06-2012 03:05	3476	3461	3468	3461	3458	3461	3465	18	300
27-06-2012 03:06	3478	3461	3467	3464	3459	3462	3468	19	300
27-06-2012 03:06	3480	3466	3469	3464	3462	3464	3468	18	300
27-06-2012 03:07	3481	3465	3472	3465	3464	3465	3469	17	300
27-06-2012 03:07	3484	3469	3472	3468	3464	3467	3473	20	300
27-06-2012 03:08	3486	3469	3476	3469	3468	3470	3474	18	300
27-06-2012 03:08	3489	3473	3478	3473	3469	3472	3478	20	300
27-06-2012 03:09	3491	3473	3481	3474	3473	3474	3479	18	300
27-06-2012 03:09	3493	3480	3483	3478	3474	3476	3483	19	300
27-06-2012 03:10	3497	3480	3487	3479	3478	3479	3485	19	300
27-06-2012 03:10	3501	3481	3490	3484	3481	3484	3487	20	300
27-06-2012 03:11	3503	3488	3492	3487	3485	3486	3491	18	300
27-06-2012 03:11	3507	3493	3496	3491	3489	3490	3495	18	300
27-06-2012 03:12	3512	3497	3501	3496	3493	3493	3498	19	300
27-06-2012 03:12	3515	3503	3506	3502	3498	3500	3502	17	300
27-06-2012 03:13	3521	3506	3512	3508	3504	3504	3507	17	300
27-06-2012 03:13	3526	3509	3518	3514	3509	3509	3513	17	300
27-06-2012 03:14	3532	3512	3523	3518	3515	3515	3518	20	300
27-06-2012 03:14	3536	3517	3525	3523	3519	3519	3520	19	300
27-06-2012 03:15	3541	3521	3531	3530	3525	3524	3525	20	300

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
27-06-2012 03:15	3546	3527	3536	3535	3532	3529	3528	19	300
27-06-2012 03:16	3553	3534	3541	3541	3539	3534	3531	22	300
27-06-2012 03:16	3560	3540	3547	3546	3545	3539	3537	23	300
27-06-2012 03:17	3385	3374	3379	3384	3381	3380	3372	13	300
27-06-2012 03:17	3366	3357	3359	3366	3362	3361	3357	9	300
27-06-2012 03:18	3359	3346	3352	3356	3351	3356	3347	13	300
27-06-2012 03:18	3356	3340	3349	3351	3346	3351	3341	16	300
27-06-2012 03:19	3351	3345	3345	3350	3346	3346	3341	10	300
27-06-2012 03:19	3351	3336	3344	3346	3342	3346	3336	15	300
27-06-2012 03:20	3349	3338	3342	3346	3341	3345	3336	13	300
27-06-2012 03:20	3346	3341	3340	3346	3341	3341	3336	10	300
27-06-2012 03:21	3346	3339	3340	3345	3341	3341	3336	10	300
27-06-2012 03:21	3346	3339	3340	3345	3340	3341	3335	11	300
27-06-2012 03:22	3346	3334	3340	3342	3340	3341	3335	12	300
27-06-2012 03:22	3346	3332	3339	3341	3339	3341	3334	14	300
27-06-2012 03:23	3346	3332	3339	3341	3338	3341	3331	15	300
27-06-2012 03:23	3346	3332	3339	3341	3338	3341	3331	15	300
27-06-2012 03:24	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	300
27-06-2012 03:24	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	300
27-06-2012 03:25	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	300
27-06-2012 03:25	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	300
27-06-2012 03:26	3344	3334	3338	3341	3336	3341	3331	13	300
27-06-2012 03:26	3567	3547	3554	3545	3547	3539	3542	28	300
27-06-2012 03:27	3587	3565	3574	3567	3569	3554	3557	33	300
27-06-2012 03:27	3593	3574	3580	3574	3576	3563	3563	30	300
27-06-2012 03:28	3598	3578	3585	3579	3581	3569	3569	29	300
27-06-2012 03:28	3603	3582	3588	3582	3582	3574	3574	29	300
27-06-2012 03:29	3419	3407	3409	3413	3409	3409	3403	16	300
27-06-2012 03:29	3392	3382	3384	3385	3384	3385	3378	14	300
27-06-2012 03:30	3380	3370	3370	3375	3372	3374	3367	13	300
27-06-2012 03:30	3370	3362	3364	3368	3366	3366	3361	9	300
27-06-2012 03:31	3366	3357	3359	3363	3362	3361	3357	9	300
27-06-2012 03:31	3366	3350	3356	3361	3356	3359	3352	16	300
27-06-2012 03:32	3361	3353	3355	3357	3355	3356	3351	10	300
27-06-2012 03:32	3361	3346	3353	3356	3351	3356	3347	15	300
27-06-2012 03:33	3357	3348	3350	3355	3351	3351	3347	10	300
27-06-2012 03:33	3356	3349	3350	3353	3350	3351	3347	9	300
27-06-2012 03:34	3356	3347	3349	3351	3349	3351	3344	12	300
27-06-2012 03:34	3356	3342	3349	3351	3346	3351	3341	15	300
27-06-2012 03:35	3355	3341	3347	3351	3346	3350	3341	14	300
27-06-2012 03:35	3353	3343	3346	3351	3346	3347	3341	12	300
27-06-2012 03:36	3351	3345	3345	3350	3346	3346	3341	10	300
27-06-2012 03:36	3351	3345	3345	3350	3346	3346	3341	10	300
27-06-2012 03:37	3351	3345	3345	3349	3345	3346	3341	10	300

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
27-06-2012 03:37	3351	3345	3345	3347	3345	3346	3340	11	300
27-06-2012 03:38	3351	3343	3344	3346	3345	3346	3340	11	300
27-06-2012 03:38	3351	3343	3344	3346	3345	3346	3339	12	300
27-06-2012 03:39	3351	3340	3344	3346	3344	3346	3336	15	300
27-06-2012 03:39	3351	3338	3344	3346	3341	3346	3336	15	300
27-06-2012 03:40	3351	3336	3344	3346	3341	3346	3336	15	300
27-06-2012 03:40	3351	3336	3344	3346	3341	3346	3336	15	300
27-06-2012 03:41	3351	3336	3344	3346	3341	3345	3336	15	300
27-06-2012 03:41	3350	3337	3344	3346	3341	3345	3336	14	300
27-06-2012 03:42	3350	3337	3342	3346	3341	3345	3336	14	300
27-06-2012 03:42	3350	3337	3342	3346	3341	3345	3336	14	300
27-06-2012 03:43	3350	3337	3342	3346	3341	3345	3336	14	300
27-06-2012 03:43	3350	3337	3341	3346	3341	3344	3336	14	300
27-06-2012 03:44	3210	3209	3211	3221	3217	3216	3185	36	300
27-06-2012 03:44	3200	3201	3202	3212	3208	3206	3179	33	300
27-06-2012 03:45	3195	3197	3197	3208	3204	3201	3176	32	300
27-06-2012 03:45	3190	3193	3193	3204	3199	3200	3171	33	300
27-06-2012 03:46	3190	3191	3191	3200	3197	3196	3168	32	300
27-06-2012 03:46	3185	3189	3188	3199	3194	3193	3166	33	300
27-06-2012 03:47	3185	3183	3185	3193	3190	3191	3163	30	300
27-06-2012 03:47	3180	3185	3183	3191	3189	3186	3161	30	300
27-06-2012 03:48	3179	3177	3178	3188	3184	3186	3158	30	300
27-06-2012 03:48	3176	3178	3176	3186	3184	3182	3156	30	300
27-06-2012 03:49	3173	3175	3172	3183	3179	3182	3154	29	300
27-06-2012 03:49	3171	3168	3171	3182	3178	3177	3151	31	300
27-06-2012 03:50	3166	3173	3167	3178	3174	3177	3147	31	300
27-06-2012 03:50	3166	3164	3165	3176	3172	3172	3146	30	300
27-06-2012 03:51	3161	3166	3162	3173	3169	3172	3143	30	300
27-06-2012 03:51	3161	3160	3157	3171	3167	3167	3141	30	300
27-06-2012 03:52	3156	3156	3156	3168	3165	3167	3137	31	300
27-06-2012 03:52	3156	3156	3152	3166	3163	3162	3137	29	300
27-06-2012 03:53	3151	3152	3152	3163	3160	3162	3132	31	300
27-06-2012 03:53	3151	3152	3147	3161	3158	3158	3130	31	300
27-06-2012 03:54	3146	3148	3147	3158	3155	3157	3128	30	300
27-06-2012 03:54	3145	3144	3143	3156	3154	3154	3126	30	300
27-06-2012 03:55	3141	3144	3141	3154	3150	3152	3123	31	300
27-06-2012 03:55	3140	3136	3138	3150	3147	3147	3121	29	300
27-06-2012 03:56	3137	3139	3137	3149	3145	3147	3117	32	300
27-06-2012 03:56	3133	3134	3133	3144	3141	3143	3116	28	300
27-06-2012 03:57	3132	3128	3129	3144	3140	3141	3111	33	300
27-06-2012 03:57	3127	3131	3128	3139	3135	3138	3111	28	300
27-06-2012 03:58	3126	3123	3123	3138	3134	3134	3106	32	300
27-06-2012 03:58	3122	3118	3122	3134	3130	3133	3105	29	300
27-06-2012 03:59	3117	3121	3118	3129	3126	3128	3101	28	300

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
27-06-2012 03:59	3116	3115	3113	3128	3124	3126	3096	32	300
27-06-2012 04:00	3112	3110	3111	3124	3121	3123	3096	28	300
27-06-2012 04:00	3107	3106	3107	3119	3115	3118	3091	28	300
27-06-2012 04:01	3102	3103	3104	3116	3110	3113	3087	29	300
27-06-2012 04:01	3100	3096	3099	3112	3105	3111	3082	30	300
27-06-2012 04:02	3096	3091	3094	3109	3101	3109	3080	29	300
27-06-2012 04:02	3091	3087	3089	3104	3095	3104	3077	27	300
27-06-2012 04:03	3085	3084	3084	3099	3090	3099	3072	27	300
27-06-2012 04:03	3078	3082	3079	3091	3085	3094	3067	27	300
27-06-2012 04:04	3073	3076	3073	3085	3080	3089	3061	28	300
27-06-2012 04:04	3068	3065	3066	3080	3073	3082	3054	28	300
27-06-2012 04:05	3062	3062	3059	3073	3066	3074	3048	26	300
27-06-2012 04:05	3054	3052	3052	3065	3061	3070	3043	27	300
27-06-2012 04:06	3049	3046	3044	3059	3051	3065	3037	28	300
27-06-2012 04:06	3039	3040	3038	3050	3046	3055	3028	27	300
27-06-2012 04:07	3034	3028	3029	3043	3037	3050	3023	27	300
27-06-2012 04:07	3024	3022	3020	3035	3031	3043	3013	30	300
27-06-2012 04:08	3204	3195	3201	3202	3197	3205	3199	10	300
27-06-2012 04:08	3223	3212	3217	3222	3217	3219	3218	11	300
27-06-2012 04:09	3233	3219	3225	3232	3227	3229	3228	14	300
27-06-2012 04:09	3238	3232	3230	3236	3232	3234	3233	8	300
27-06-2012 04:10	3243	3232	3235	3240	3235	3239	3238	11	300
27-06-2012 04:10	3246	3233	3239	3241	3236	3244	3238	13	300
27-06-2012 04:11	3247	3239	3240	3241	3241	3244	3241	8	300
27-06-2012 04:11	3247	3241	3240	3246	3243	3244	3243	7	300
27-06-2012 04:12	3251	3237	3240	3246	3243	3249	3243	14	300
27-06-2012 04:12	3252	3238	3244	3246	3243	3249	3243	14	300
27-06-2012 04:13	3252	3245	3245	3246	3245	3249	3245	7	300
27-06-2012 04:13	3252	3245	3245	3246	3247	3249	3247	7	300
27-06-2012 04:14	3252	3245	3245	3246	3247	3249	3247	7	300
27-06-2012 04:14	3252	3245	3245	3247	3247	3249	3247	7	300
27-06-2012 04:15	3253	3244	3245	3247	3247	3249	3247	9	300
27-06-2012 04:15	3256	3241	3245	3249	3247	3250	3247	15	300
27-06-2012 04:16	3257	3240	3245	3250	3247	3252	3247	17	300
27-06-2012 04:16	3257	3242	3245	3251	3247	3253	3247	15	300
27-06-2012 04:17	3257	3245	3246	3251	3247	3253	3247	12	300
27-06-2012 04:17	3257	3247	3246	3251	3247	3253	3247	11	300
27-06-2012 04:18	3257	3247	3246	3251	3249	3253	3247	11	300
27-06-2012 04:18	3257	3249	3247	3251	3249	3253	3249	10	300
27-06-2012 04:19	3257	3249	3247	3251	3249	3253	3250	10	300
27-06-2012 04:19	3257	3249	3249	3251	3251	3253	3250	8	300
27-06-2012 04:20	3257	3249	3249	3251	3251	3253	3251	8	300
27-06-2012 04:20	3257	3249	3250	3251	3252	3253	3251	8	300
27-06-2012 04:21	3257	3249	3250	3251	3252	3253	3252	8	300

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
27-06-2012 04:21	3257	3249	3250	3251	3252	3253	3252	8	300
27-06-2012 04:22	3257	3249	3250	3251	3252	3253	3252	8	300

Tabela I.9 – Dados de carga e descarga, ciclo 350

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
30-06-2012 18:29	3411	3390	3398	3394	3395	3398	3408	21	350
30-06-2012 18:30	3419	3400	3409	3405	3405	3407	3414	19	350
30-06-2012 18:30	3424	3404	3414	3409	3409	3412	3419	20	350
30-06-2012 18:31	3428	3409	3419	3413	3414	3417	3423	19	350
30-06-2012 18:31	3429	3414	3422	3417	3416	3418	3424	15	350
30-06-2012 18:32	3431	3415	3424	3419	3417	3420	3425	16	350
30-06-2012 18:32	3434	3416	3425	3422	3419	3422	3428	18	350
30-06-2012 18:33	3436	3419	3428	3423	3420	3425	3430	17	350
30-06-2012 18:33	3439	3422	3431	3424	3424	3428	3434	17	350
30-06-2012 18:34	3442	3421	3434	3429	3426	3430	3435	21	350
30-06-2012 18:34	3444	3431	3437	3430	3429	3431	3439	15	350
30-06-2012 18:35	3447	3430	3440	3433	3431	3436	3441	17	350
30-06-2012 18:35	3448	3436	3442	3436	3435	3437	3444	13	350
30-06-2012 18:36	3452	3436	3444	3437	3437	3440	3445	16	350
30-06-2012 18:36	3453	3440	3447	3442	3439	3440	3447	14	350
30-06-2012 18:37	3454	3441	3448	3445	3441	3442	3448	13	350
30-06-2012 18:37	3457	3444	3448	3445	3445	3445	3448	13	350
30-06-2012 18:38	3458	3443	3452	3447	3446	3446	3452	15	350
30-06-2012 18:38	3459	3445	3453	3451	3445	3448	3453	14	350
30-06-2012 18:39	3462	3448	3454	3450	3447	3451	3454	15	350
30-06-2012 18:39	3463	3447	3457	3452	3448	3451	3456	16	350
30-06-2012 18:40	3465	3452	3457	3453	3450	3453	3458	15	350
30-06-2012 18:40	3467	3452	3459	3454	3452	3456	3458	15	350
30-06-2012 18:41	3468	3454	3463	3457	3454	3456	3461	14	350
30-06-2012 18:41	3472	3456	3463	3458	3454	3458	3463	18	350
30-06-2012 18:42	3473	3455	3465	3459	3458	3461	3464	18	350
30-06-2012 18:42	3475	3462	3467	3463	3458	3461	3468	17	350
30-06-2012 18:43	3478	3459	3470	3464	3461	3464	3468	19	350
30-06-2012 18:43	3480	3466	3473	3468	3463	3467	3472	17	350
30-06-2012 18:44	3483	3468	3475	3469	3467	3469	3473	16	350
30-06-2012 18:44	3486	3469	3478	3473	3469	3473	3478	17	350
30-06-2012 18:45	3489	3475	3481	3478	3473	3475	3480	16	350
30-06-2012 18:45	3492	3479	3486	3479	3475	3479	3484	17	350
30-06-2012 18:46	3497	3480	3489	3485	3479	3483	3487	18	350
30-06-2012 18:46	3502	3487	3493	3487	3485	3487	3492	17	350
30-06-2012 18:47	3507	3493	3498	3493	3490	3495	3497	17	350
30-06-2012 18:47	3513	3496	3504	3502	3498	3500	3503	17	350
30-06-2012 18:48	3521	3506	3513	3509	3506	3509	3512	15	350
30-06-2012 18:48	3531	3513	3524	3521	3518	3519	3521	18	350
30-06-2012 18:49	3541	3521	3532	3531	3529	3529	3528	20	350
30-06-2012 18:49	3547	3531	3540	3536	3535	3534	3532	16	350
30-06-2012 18:50	3557	3539	3547	3545	3545	3542	3540	18	350

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
30-06-2012 18:50	3567	3549	3558	3553	3556	3551	3546	21	350
30-06-2012 18:51	3389	3378	3379	3385	3381	3385	3377	12	350
30-06-2012 18:51	3368	3355	3361	3366	3362	3366	3357	13	350
30-06-2012 18:52	3361	3348	3355	3356	3351	3356	3347	14	350
30-06-2012 18:52	3356	3344	3349	3352	3347	3351	3346	12	350
30-06-2012 18:53	3351	3345	3345	3351	3346	3349	3341	10	350
30-06-2012 18:53	3351	3343	3345	3349	3344	3346	3340	11	350
30-06-2012 18:54	3351	3336	3344	3346	3341	3346	3336	15	350
30-06-2012 18:54	3349	3338	3342	3346	3341	3346	3336	13	350
30-06-2012 18:55	3346	3341	3340	3346	3341	3344	3336	10	350
30-06-2012 18:55	3346	3341	3340	3345	3341	3341	3336	10	350
30-06-2012 18:56	3346	3339	3340	3345	3340	3341	3336	10	350
30-06-2012 18:56	3346	3339	3340	3345	3340	3341	3336	10	350
30-06-2012 18:57	3346	3337	3340	3344	3340	3341	3336	10	350
30-06-2012 18:57	3346	3332	3339	3344	3339	3341	3335	14	350
30-06-2012 18:58	3346	3332	3339	3341	3339	3341	3335	14	350
30-06-2012 18:58	3346	3332	3339	3341	3338	3341	3335	14	350
30-06-2012 18:59	3346	3332	3339	3341	3338	3341	3334	14	350
30-06-2012 18:59	3346	3332	3339	3341	3336	3341	3334	14	350
30-06-2012 19:00	3346	3332	3339	3341	3336	3341	3333	14	350
30-06-2012 19:00	3579	3555	3565	3556	3558	3554	3560	25	350
30-06-2012 19:01	3598	3574	3586	3578	3581	3576	3576	24	350
30-06-2012 19:01	3603	3575	3590	3581	3581	3581	3581	28	350
30-06-2012 19:02	3603	3575	3590	3581	3584	3584	3581	28	350
30-06-2012 19:02	3603	3578	3590	3582	3585	3585	3581	25	350
30-06-2012 19:03	3424	3415	3418	3419	3416	3419	3411	13	350
30-06-2012 19:03	3395	3381	3387	3390	3386	3390	3384	14	350
30-06-2012 19:04	3381	3369	3374	3378	3375	3375	3372	12	350
30-06-2012 19:04	3375	3363	3367	3370	3367	3370	3362	13	350
30-06-2012 19:05	3370	3355	3363	3366	3362	3366	3357	15	350
30-06-2012 19:05	3366	3357	3358	3361	3356	3361	3355	11	350
30-06-2012 19:06	3361	3353	3355	3359	3356	3358	3352	9	350
30-06-2012 19:06	3361	3353	3355	3356	3352	3356	3351	10	350
30-06-2012 19:07	3359	3346	3352	3356	3351	3356	3347	13	350
30-06-2012 19:07	3356	3349	3350	3355	3351	3351	3347	9	350
30-06-2012 19:08	3356	3349	3350	3353	3350	3351	3347	9	350
30-06-2012 19:08	3356	3347	3349	3351	3349	3351	3346	10	350
30-06-2012 19:09	3356	3340	3349	3351	3346	3351	3341	16	350
30-06-2012 19:09	3355	3341	3349	3351	3346	3351	3341	14	350
30-06-2012 19:10	3353	3343	3346	3351	3346	3350	3341	12	350
30-06-2012 19:10	3351	3345	3345	3351	3346	3347	3341	10	350
30-06-2012 19:11	3351	3345	3345	3350	3346	3346	3341	10	350
30-06-2012 19:11	3351	3345	3345	3350	3346	3346	3341	10	350
30-06-2012 19:12	3351	3345	3345	3349	3345	3346	3341	10	350

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
30-06-2012 19:12	3351	3343	3345	3349	3345	3346	3341	10	350
30-06-2012 19:13	3351	3343	3344	3347	3345	3346	3340	11	350
30-06-2012 19:13	3351	3343	3344	3346	3345	3346	3340	11	350
30-06-2012 19:14	3351	3340	3344	3346	3344	3346	3340	11	350
30-06-2012 19:14	3351	3338	3344	3346	3342	3346	3339	13	350
30-06-2012 19:15	3351	3336	3344	3346	3342	3346	3338	15	350
30-06-2012 19:15	3351	3336	3344	3346	3342	3346	3338	15	350
30-06-2012 19:16	3351	3336	3344	3346	3341	3346	3336	15	350
30-06-2012 19:16	3351	3336	3344	3346	3341	3346	3336	15	350
30-06-2012 19:17	3351	3336	3344	3346	3341	3346	3336	15	350
30-06-2012 19:17	3350	3337	3344	3346	3341	3346	3336	14	350
30-06-2012 19:18	3214	3214	3214	3223	3218	3221	3190	33	350
30-06-2012 19:18	3205	3205	3207	3217	3213	3211	3185	32	350
30-06-2012 19:19	3200	3203	3202	3213	3208	3207	3180	33	350
30-06-2012 19:19	3200	3201	3199	3208	3204	3206	3176	32	350
30-06-2012 19:20	3195	3197	3197	3207	3202	3201	3176	31	350
30-06-2012 19:20	3194	3191	3193	3204	3199	3200	3171	33	350
30-06-2012 19:21	3190	3193	3191	3199	3194	3196	3169	30	350
30-06-2012 19:21	3185	3189	3188	3197	3194	3191	3166	31	350
30-06-2012 19:22	3185	3180	3183	3193	3189	3191	3163	30	350
30-06-2012 19:22	3180	3185	3182	3190	3185	3186	3161	29	350
30-06-2012 19:23	3177	3179	3176	3188	3184	3185	3156	32	350
30-06-2012 19:23	3176	3172	3172	3183	3179	3182	3155	28	350
30-06-2012 19:24	3171	3172	3171	3182	3177	3179	3151	31	350
30-06-2012 19:24	3169	3170	3167	3178	3174	3177	3147	31	350
30-06-2012 19:25	3166	3164	3163	3176	3171	3173	3146	30	350
30-06-2012 19:25	3163	3167	3162	3173	3169	3172	3141	32	350
30-06-2012 19:26	3161	3160	3158	3171	3167	3168	3141	30	350
30-06-2012 19:26	3158	3160	3157	3168	3165	3167	3137	31	350
30-06-2012 19:27	3156	3156	3152	3167	3163	3165	3137	30	350
30-06-2012 19:27	3152	3153	3151	3163	3160	3162	3132	31	350
30-06-2012 19:28	3151	3152	3147	3162	3157	3157	3130	32	350
30-06-2012 19:28	3146	3148	3147	3158	3155	3157	3128	30	350
30-06-2012 19:29	3146	3146	3143	3156	3151	3152	3126	30	350
30-06-2012 19:29	3141	3144	3141	3154	3150	3152	3122	32	350
30-06-2012 19:30	3140	3138	3138	3150	3145	3147	3121	29	350
30-06-2012 19:30	3137	3139	3135	3149	3145	3147	3116	33	350
30-06-2012 19:31	3133	3134	3133	3144	3140	3143	3116	28	350
30-06-2012 19:31	3132	3131	3128	3143	3139	3139	3111	32	350
30-06-2012 19:32	3127	3131	3127	3139	3135	3138	3110	29	350
30-06-2012 19:32	3126	3123	3123	3137	3130	3133	3106	31	350
30-06-2012 19:33	3122	3118	3119	3134	3129	3132	3104	30	350
30-06-2012 19:33	3117	3121	3117	3129	3126	3128	3101	28	350
30-06-2012 19:34	3115	3116	3113	3126	3121	3123	3096	30	350

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
30-06-2012 19:34	3112	3110	3109	3123	3116	3121	3093	30	350
30-06-2012 19:35	3107	3106	3104	3119	3112	3118	3091	28	350
30-06-2012 19:35	3102	3103	3101	3115	3110	3113	3087	28	350
30-06-2012 19:36	3098	3098	3096	3110	3105	3109	3082	28	350
30-06-2012 19:36	3093	3094	3093	3105	3099	3104	3077	28	350
30-06-2012 19:37	3088	3090	3087	3100	3094	3099	3072	28	350
30-06-2012 19:37	3083	3084	3079	3095	3087	3094	3067	28	350
30-06-2012 19:38	3078	3073	3074	3089	3080	3089	3062	27	350
30-06-2012 19:38	3071	3071	3068	3080	3076	3084	3057	27	350
30-06-2012 19:39	3063	3068	3062	3076	3070	3078	3052	26	350
30-06-2012 19:39	3059	3056	3054	3068	3061	3070	3043	27	350
30-06-2012 19:40	3052	3052	3049	3060	3056	3065	3038	27	350
30-06-2012 19:40	3044	3044	3039	3054	3048	3060	3033	27	350
30-06-2012 19:41	3037	3034	3033	3045	3041	3050	3023	27	350
30-06-2012 19:41	3029	3024	3023	3035	3032	3045	3018	27	350
30-06-2012 19:42	3199	3191	3193	3197	3193	3196	3194	8	350
30-06-2012 19:42	3213	3206	3208	3212	3207	3212	3208	7	350
30-06-2012 19:43	3223	3212	3216	3219	3216	3219	3218	11	350
30-06-2012 19:43	3228	3216	3221	3223	3221	3224	3223	12	350
30-06-2012 19:44	3230	3222	3222	3227	3222	3229	3223	8	350
30-06-2012 19:44	3233	3219	3225	3228	3227	3229	3228	14	350
30-06-2012 19:45	3233	3228	3225	3232	3227	3233	3228	8	350
30-06-2012 19:45	3236	3225	3225	3232	3227	3234	3230	11	350
30-06-2012 19:46	3238	3223	3227	3232	3228	3234	3233	15	350
30-06-2012 19:46	3238	3223	3228	3232	3230	3234	3233	15	350
30-06-2012 19:47	3238	3226	3229	3232	3232	3234	3233	12	350
30-06-2012 19:47	3238	3230	3230	3232	3232	3234	3233	8	350
30-06-2012 19:48	3238	3232	3230	3232	3232	3235	3233	8	350
30-06-2012 19:48	3238	3232	3230	3233	3232	3235	3233	8	350
30-06-2012 19:49	3239	3231	3230	3233	3232	3236	3233	9	350
30-06-2012 19:49	3240	3230	3230	3233	3232	3236	3233	10	350
30-06-2012 19:50	3241	3229	3230	3233	3232	3238	3233	12	350
30-06-2012 19:50	3241	3229	3230	3233	3232	3239	3234	12	350
30-06-2012 19:51	3243	3227	3230	3234	3232	3239	3234	16	350
30-06-2012 19:51	3243	3227	3230	3233	3232	3239	3235	16	350
30-06-2012 19:52	3243	3227	3230	3235	3232	3239	3235	16	350
30-06-2012 19:52	3243	3227	3230	3235	3232	3239	3236	16	350
30-06-2012 19:53	3243	3227	3230	3235	3232	3239	3238	16	350
30-06-2012 19:53	3243	3227	3230	3235	3232	3239	3238	16	350
30-06-2012 19:54	3243	3227	3230	3235	3232	3239	3238	16	350
30-06-2012 19:54	3243	3227	3230	3235	3232	3239	3238	16	350
30-06-2012 19:55	3243	3227	3230	3235	3232	3239	3238	16	350
30-06-2012 19:55	3243	3227	3230	3235	3232	3239	3238	16	350
30-06-2012 19:56	3243	3227	3230	3235	3232	3239	3238	16	350

Tabela I.10 – Dados de carga e descarga, ciclo 400

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
09-07-2012 00:56	3429	3408	3418	3412	3409	3414	3419	21	400
09-07-2012 00:56	3445	3430	3434	3428	3426	3429	3435	19	400
09-07-2012 00:57	3451	3433	3439	3433	3431	3435	3439	20	400
09-07-2012 00:57	3452	3436	3441	3435	3434	3436	3441	18	400
09-07-2012 00:58	3453	3440	3442	3437	3435	3436	3442	18	400
09-07-2012 00:58	3456	3437	3444	3437	3437	3439	3444	19	400
09-07-2012 00:59	3458	3441	3447	3439	3439	3441	3445	19	400
09-07-2012 00:59	3459	3442	3448	3444	3441	3444	3448	18	400
09-07-2012 01:00	3462	3446	3452	3445	3445	3446	3450	17	400
09-07-2012 01:00	3464	3446	3454	3448	3447	3448	3453	18	400
09-07-2012 01:01	3467	3452	3458	3451	3450	3451	3454	17	400
09-07-2012 01:01	3468	3451	3458	3453	3451	3452	3457	17	400
09-07-2012 01:02	3472	3454	3462	3456	3453	3454	3458	19	400
09-07-2012 01:02	3473	3455	3464	3457	3454	3456	3461	19	400
09-07-2012 01:03	3474	3459	3464	3459	3457	3458	3463	17	400
09-07-2012 01:03	3476	3461	3467	3459	3458	3461	3463	18	400
09-07-2012 01:04	3478	3461	3468	3462	3459	3461	3465	19	400
09-07-2012 01:04	3480	3466	3469	3463	3461	3463	3468	19	400
09-07-2012 01:05	3483	3463	3472	3465	3463	3465	3468	20	400
09-07-2012 01:05	3484	3469	3473	3468	3464	3465	3472	20	400
09-07-2012 01:06	3486	3469	3475	3468	3467	3469	3473	19	400
09-07-2012 01:06	3487	3473	3478	3470	3468	3472	3474	19	400
09-07-2012 01:07	3491	3473	3479	3473	3469	3473	3476	22	400
09-07-2012 01:07	3492	3476	3483	3473	3473	3475	3479	19	400
09-07-2012 01:08	3496	3477	3484	3478	3474	3478	3481	22	400
09-07-2012 01:08	3497	3483	3486	3478	3479	3480	3484	19	400
09-07-2012 01:09	3501	3481	3490	3483	3479	3483	3487	22	400
09-07-2012 01:09	3504	3487	3492	3485	3484	3485	3490	20	400
09-07-2012 01:10	3507	3493	3496	3487	3487	3489	3492	20	400
09-07-2012 01:10	3511	3491	3500	3492	3490	3492	3497	21	400
09-07-2012 01:11	3514	3495	3502	3496	3493	3495	3500	21	400
09-07-2012 01:11	3518	3500	3507	3500	3498	3500	3502	20	400
09-07-2012 01:12	3521	3506	3512	3503	3502	3503	3507	19	400
09-07-2012 01:12	3525	3508	3515	3508	3504	3506	3509	21	400
09-07-2012 01:13	3529	3509	3519	3512	3509	3509	3513	20	400
09-07-2012 01:13	3531	3513	3524	3517	3513	3513	3517	18	400
09-07-2012 01:14	3534	3517	3524	3518	3515	3515	3518	19	400
09-07-2012 01:14	3536	3517	3528	3521	3519	3519	3520	19	400
09-07-2012 01:15	3540	3520	3529	3525	3523	3519	3521	21	400
09-07-2012 01:15	3543	3522	3531	3528	3525	3524	3523	21	400
09-07-2012 01:16	3546	3525	3535	3532	3530	3528	3526	21	400
09-07-2012 01:16	3550	3530	3540	3536	3536	3532	3530	20	400

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
09-07-2012 01:17	3557	3539	3546	3542	3542	3539	3534	23	400
09-07-2012 01:17	3563	3544	3551	3547	3548	3543	3539	24	400
09-07-2012 01:18	3394	3382	3384	3389	3386	3389	3379	15	400
09-07-2012 01:18	3370	3362	3364	3368	3367	3366	3359	11	400
09-07-2012 01:19	3361	3353	3355	3359	3356	3357	3352	9	400
09-07-2012 01:19	3356	3349	3350	3355	3351	3351	3347	9	400
09-07-2012 01:20	3355	3341	3347	3351	3346	3351	3341	14	400
09-07-2012 01:20	3351	3345	3345	3350	3346	3346	3341	10	400
09-07-2012 01:21	3351	3336	3344	3346	3344	3346	3336	15	400
09-07-2012 01:21	3350	3337	3342	3346	3341	3346	3336	14	400
09-07-2012 01:22	3346	3341	3340	3346	3341	3344	3336	10	400
09-07-2012 01:22	3346	3341	3340	3345	3341	3341	3336	10	400
09-07-2012 01:23	3346	3339	3340	3344	3341	3341	3336	10	400
09-07-2012 01:23	3346	3337	3340	3342	3340	3341	3335	11	400
09-07-2012 01:24	3346	3334	3339	3341	3340	3341	3334	12	400
09-07-2012 01:24	3346	3332	3339	3341	3339	3341	3333	14	400
09-07-2012 01:25	3346	3332	3339	3341	3338	3341	3331	15	400
09-07-2012 01:25	3346	3332	3339	3341	3338	3341	3331	15	400
09-07-2012 01:26	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	400
09-07-2012 01:26	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	400
09-07-2012 01:27	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	400
09-07-2012 01:27	3580	3558	3565	3556	3559	3552	3558	28	400
09-07-2012 01:28	3598	3580	3585	3578	3582	3569	3571	29	400
09-07-2012 01:28	3607	3580	3590	3584	3591	3575	3579	32	400
09-07-2012 01:29	3613	3583	3595	3588	3593	3584	3586	30	400
09-07-2012 01:29	3618	3587	3597	3592	3596	3588	3592	31	400
09-07-2012 01:30	3434	3421	3424	3424	3424	3424	3420	14	400
09-07-2012 01:30	3405	3389	3394	3397	3396	3398	3391	16	400
09-07-2012 01:31	3390	3377	3379	3384	3381	3385	3377	13	400
09-07-2012 01:31	3380	3370	3373	3375	3372	3375	3367	13	400
09-07-2012 01:32	3375	3366	3366	3370	3367	3370	3362	13	400
09-07-2012 01:32	3370	3362	3363	3366	3362	3366	3359	11	400
09-07-2012 01:33	3366	3357	3359	3362	3362	3361	3357	9	400
09-07-2012 01:33	3366	3355	3358	3361	3356	3361	3352	14	400
09-07-2012 01:34	3362	3352	3355	3359	3356	3357	3352	10	400
09-07-2012 01:34	3361	3353	3353	3356	3355	3356	3351	10	400
09-07-2012 01:35	3361	3348	3353	3356	3351	3356	3347	14	400
09-07-2012 01:35	3359	3346	3350	3355	3351	3355	3347	13	400
09-07-2012 01:36	3356	3349	3350	3355	3351	3351	3347	9	400
09-07-2012 01:36	3356	3349	3350	3352	3350	3351	3347	9	400
09-07-2012 01:37	3356	3347	3349	3351	3349	3351	3346	10	400
09-07-2012 01:37	3356	3344	3349	3351	3346	3351	3342	14	400
09-07-2012 01:38	3356	3340	3349	3351	3346	3351	3341	16	400
09-07-2012 01:38	3355	3341	3347	3351	3346	3350	3341	14	400

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
09-07-2012 01:39	3353	3343	3346	3350	3346	3350	3341	12	400
09-07-2012 01:39	3613	3592	3588	3581	3588	3586	3599	32	400
09-07-2012 01:40	3632	3600	3599	3596	3607	3609	3619	36	400
09-07-2012 01:40	3632	3600	3599	3596	3612	3619	3625	36	400
09-07-2012 01:41	3634	3598	3597	3597	3613	3627	3630	37	400
09-07-2012 01:41	3634	3598	3595	3598	3617	3636	3635	41	400
09-07-2012 01:42	3507	3488	3487	3491	3498	3512	3503	25	400
09-07-2012 01:42	3474	3456	3457	3459	3464	3478	3469	22	400
09-07-2012 01:43	3453	3442	3439	3445	3445	3458	3450	19	400
09-07-2012 01:43	3441	3427	3425	3429	3433	3444	3435	19	400
09-07-2012 01:44	3430	3418	3417	3419	3423	3434	3425	17	400
09-07-2012 01:44	3424	3406	3409	3414	3416	3424	3420	18	400
09-07-2012 01:45	3418	3403	3405	3408	3411	3419	3411	16	400
09-07-2012 01:45	3413	3397	3398	3405	3406	3414	3406	17	400
09-07-2012 01:46	3408	3395	3394	3400	3401	3409	3401	15	400
09-07-2012 01:46	3405	3389	3390	3395	3396	3406	3400	17	400
09-07-2012 01:47	3400	3385	3387	3394	3395	3405	3396	20	400
09-07-2012 01:47	3400	3383	3384	3390	3391	3400	3391	17	400
09-07-2012 01:48	3395	3381	3384	3389	3390	3400	3391	19	400
09-07-2012 01:48	3395	3379	3381	3385	3386	3395	3386	16	400
09-07-2012 01:49	3390	3377	3379	3385	3386	3395	3386	18	400
09-07-2012 01:49	3390	3377	3379	3384	3383	3392	3385	15	400
09-07-2012 01:50	3389	3372	3377	3380	3381	3390	3381	18	400
09-07-2012 01:50	3385	3374	3374	3380	3381	3390	3381	16	400
09-07-2012 01:51	3385	3374	3374	3380	3380	3389	3381	15	400
09-07-2012 01:51	3385	3371	3373	3379	3378	3385	3378	14	400
09-07-2012 01:52	3383	3367	3373	3375	3377	3385	3377	18	400
09-07-2012 01:52	3380	3370	3369	3375	3377	3385	3377	16	400
09-07-2012 01:53	3380	3370	3369	3375	3377	3384	3377	15	400
09-07-2012 01:53	3380	3370	3369	3374	3375	3381	3374	12	400
09-07-2012 01:54	3380	3365	3368	3374	3373	3380	3372	15	400
09-07-2012 01:54	3379	3362	3368	3373	3372	3380	3372	18	400
09-07-2012 01:55	3375	3366	3367	3370	3372	3380	3372	14	400
09-07-2012 01:55	3375	3366	3364	3370	3372	3380	3372	16	400
09-07-2012 01:56	3375	3366	3364	3370	3372	3379	3370	15	400
09-07-2012 01:56	3375	3366	3364	3370	3372	3378	3370	14	400
09-07-2012 01:57	3195	3197	3197	3208	3205	3206	3178	30	400
09-07-2012 01:57	3185	3189	3188	3199	3194	3196	3166	33	400
09-07-2012 01:58	3180	3185	3183	3193	3189	3190	3161	32	400
09-07-2012 01:58	3176	3180	3177	3189	3186	3186	3160	29	400
09-07-2012 01:59	3174	3174	3176	3186	3184	3182	3156	30	400
09-07-2012 01:59	3171	3177	3172	3183	3179	3182	3152	31	400
09-07-2012 02:00	3167	3172	3171	3182	3179	3177	3151	31	400
09-07-2012 02:00	3166	3170	3167	3178	3174	3177	3150	28	400

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
09-07-2012 02:01	3163	3167	3166	3177	3174	3172	3146	31	400
09-07-2012 02:01	3161	3164	3162	3173	3169	3172	3146	27	400
09-07-2012 02:02	3160	3161	3161	3172	3169	3167	3141	31	400
09-07-2012 02:02	3156	3160	3157	3168	3167	3167	3141	27	400
09-07-2012 02:03	3156	3156	3156	3168	3165	3166	3139	29	400
09-07-2012 02:03	3151	3156	3152	3165	3163	3162	3137	28	400
09-07-2012 02:04	3151	3152	3151	3163	3160	3162	3134	29	400
09-07-2012 02:04	3146	3155	3147	3162	3160	3157	3130	32	400
09-07-2012 02:05	3146	3148	3147	3158	3155	3157	3130	28	400
09-07-2012 02:05	3144	3148	3144	3157	3155	3154	3127	30	400
09-07-2012 02:06	3141	3144	3143	3154	3151	3152	3126	28	400
09-07-2012 02:06	3140	3143	3138	3152	3150	3151	3124	28	400
09-07-2012 02:07	3137	3139	3138	3149	3147	3147	3121	28	400
09-07-2012 02:07	3135	3137	3133	3149	3145	3146	3119	30	400
09-07-2012 02:08	3132	3135	3132	3144	3143	3143	3116	28	400
09-07-2012 02:08	3129	3129	3128	3144	3140	3141	3116	28	400
09-07-2012 02:09	3127	3131	3127	3139	3137	3138	3111	28	400
09-07-2012 02:09	3122	3127	3123	3138	3135	3137	3110	28	400
09-07-2012 02:10	3122	3118	3121	3134	3130	3133	3106	28	400
09-07-2012 02:10	3117	3121	3117	3133	3129	3128	3101	32	400
09-07-2012 02:11	3113	3118	3113	3129	3126	3128	3101	28	400
09-07-2012 02:11	3112	3110	3110	3124	3121	3123	3096	28	400
09-07-2012 02:12	3107	3106	3107	3123	3117	3118	3094	29	400
09-07-2012 02:12	3102	3109	3104	3119	3115	3118	3091	28	400
09-07-2012 02:13	3102	3103	3099	3115	3110	3113	3087	28	400
09-07-2012 02:13	3098	3098	3096	3110	3105	3109	3083	27	400
09-07-2012 02:14	3093	3094	3093	3109	3100	3107	3082	27	400
09-07-2012 02:14	3088	3090	3088	3104	3098	3104	3077	27	400
09-07-2012 02:15	3084	3085	3084	3100	3094	3099	3072	28	400
09-07-2012 02:15	3082	3078	3079	3095	3089	3094	3067	28	400
09-07-2012 02:16	3077	3074	3074	3090	3084	3089	3063	27	400
09-07-2012 02:16	3072	3070	3068	3085	3079	3084	3060	25	400
09-07-2012 02:17	3067	3066	3063	3080	3072	3079	3056	24	400
09-07-2012 02:17	3062	3062	3059	3074	3066	3074	3052	22	400
09-07-2012 02:18	3054	3059	3052	3066	3061	3070	3046	24	400
09-07-2012 02:18	3049	3048	3046	3060	3056	3065	3039	26	400
09-07-2012 02:19	3044	3044	3039	3055	3050	3060	3033	27	400
09-07-2012 02:19	3038	3033	3034	3049	3041	3055	3028	27	400
09-07-2012 02:20	3029	3033	3026	3040	3037	3049	3023	26	400
09-07-2012 02:20	3024	3020	3020	3035	3028	3040	3016	24	400
09-07-2012 02:21	3218	3208	3211	3217	3210	3214	3208	10	400
09-07-2012 02:21	3238	3223	3230	3236	3229	3234	3228	15	400
09-07-2012 02:22	3247	3241	3240	3246	3243	3244	3240	7	400
09-07-2012 02:22	3252	3245	3249	3251	3247	3252	3247	7	400

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
09-07-2012 02:23	3257	3249	3251	3256	3252	3256	3252	8	400
09-07-2012 02:23	3262	3253	3255	3258	3256	3258	3252	10	400
09-07-2012 02:24	3262	3255	3256	3261	3257	3262	3257	7	400
09-07-2012 02:24	3267	3257	3260	3261	3258	3263	3257	10	400
09-07-2012 02:25	3267	3257	3260	3264	3262	3263	3260	10	400
09-07-2012 02:25	3267	3261	3260	3266	3262	3266	3262	7	400
09-07-2012 02:26	3271	3262	3262	3266	3262	3268	3262	9	400
09-07-2012 02:26	3272	3261	3264	3266	3263	3268	3262	11	400
09-07-2012 02:27	3272	3261	3264	3266	3266	3268	3262	11	400
09-07-2012 02:27	3272	3261	3264	3267	3267	3268	3262	11	400
09-07-2012 02:28	3272	3261	3264	3269	3267	3268	3264	11	400
09-07-2012 02:28	3272	3263	3264	3271	3267	3269	3266	9	400
09-07-2012 02:29	3272	3268	3264	3271	3267	3271	3267	8	400
09-07-2012 02:29	3273	3269	3264	3271	3267	3273	3267	9	400
09-07-2012 02:30	3274	3268	3266	3271	3267	3273	3267	8	400
09-07-2012 02:30	3275	3267	3266	3271	3268	3273	3267	9	400
09-07-2012 02:31	3277	3265	3267	3271	3268	3273	3267	12	400
09-07-2012 02:31	3277	3265	3268	3271	3269	3273	3267	12	400
09-07-2012 02:32	3277	3265	3268	3271	3271	3273	3267	12	400
09-07-2012 02:32	3277	3265	3268	3271	3272	3273	3267	12	400
09-07-2012 02:33	3277	3265	3269	3271	3272	3273	3267	12	400
09-07-2012 02:33	3277	3265	3269	3271	3272	3273	3267	12	400
09-07-2012 02:34	3277	3265	3269	3271	3272	3273	3267	12	400
09-07-2012 02:34	3277	3265	3269	3272	3272	3273	3267	12	400
09-07-2012 02:35	3277	3265	3269	3272	3272	3273	3267	12	400

Tabela I.11 – Dados de carga e descarga, ciclo 450

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
13-07-2012 07:59	3362	3343	3352	3345	3344	3344	3352	19	450
13-07-2012 08:00	3377	3355	3364	3359	3356	3359	3367	22	450
13-07-2012 08:00	3390	3366	3378	3369	3370	3373	3379	24	450
13-07-2012 08:01	3401	3380	3386	3380	3380	3383	3391	21	450
13-07-2012 08:01	3413	3388	3398	3390	3390	3395	3403	25	450
13-07-2012 08:02	3423	3400	3409	3400	3401	3406	3414	23	450
13-07-2012 08:02	3433	3413	3418	3409	3412	3416	3424	24	450
13-07-2012 08:03	3440	3417	3428	3420	3420	3423	3431	23	450
13-07-2012 08:03	3446	3429	3435	3425	3428	3429	3437	21	450
13-07-2012 08:04	3450	3434	3437	3433	3430	3435	3441	20	450
13-07-2012 08:04	3453	3435	3444	3435	3435	3436	3444	18	450
13-07-2012 08:05	3457	3436	3446	3439	3437	3441	3447	21	450
13-07-2012 08:05	3459	3442	3448	3444	3440	3444	3448	19	450
13-07-2012 08:06	3463	3447	3453	3445	3444	3446	3453	19	450
13-07-2012 08:06	3468	3449	3457	3448	3447	3450	3457	21	450
13-07-2012 08:07	3470	3452	3459	3452	3450	3453	3458	20	450
13-07-2012 08:07	3473	3455	3463	3456	3453	3456	3463	20	450
13-07-2012 08:08	3476	3461	3467	3459	3457	3459	3465	19	450
13-07-2012 08:08	3479	3460	3469	3463	3458	3462	3468	21	450
13-07-2012 08:09	3481	3465	3472	3464	3463	3465	3469	18	450
13-07-2012 08:09	3484	3467	3475	3468	3464	3467	3473	20	450
13-07-2012 08:10	3486	3469	3476	3469	3467	3468	3474	19	450
13-07-2012 08:10	3489	3473	3479	3472	3469	3470	3478	20	450
13-07-2012 08:11	3491	3473	3481	3473	3470	3474	3478	21	450
13-07-2012 08:11	3493	3478	3484	3476	3474	3473	3481	20	450
13-07-2012 08:12	3496	3477	3486	3478	3475	3476	3483	21	450
13-07-2012 08:12	3498	3484	3489	3479	3478	3480	3486	20	450
13-07-2012 08:13	3502	3482	3491	3484	3479	3480	3487	23	450
13-07-2012 08:13	3504	3487	3493	3484	3485	3485	3490	20	450
13-07-2012 08:14	3507	3491	3497	3487	3486	3486	3492	21	450
13-07-2012 08:14	3511	3489	3501	3490	3489	3489	3496	22	450
13-07-2012 08:15	3514	3495	3503	3493	3493	3493	3498	21	450
13-07-2012 08:15	3517	3501	3508	3497	3496	3495	3502	22	450
13-07-2012 08:16	3521	3506	3513	3503	3500	3498	3507	23	450
13-07-2012 08:16	3526	3503	3517	3504	3503	3502	3508	24	450
13-07-2012 08:17	3528	3507	3519	3508	3507	3504	3512	24	450
13-07-2012 08:17	3532	3512	3523	3513	3512	3509	3515	23	450
13-07-2012 08:18	3536	3517	3528	3518	3515	3511	3518	25	450
13-07-2012 08:18	3537	3516	3530	3519	3518	3513	3518	24	450
13-07-2012 08:19	3540	3516	3532	3521	3520	3514	3520	26	450
13-07-2012 08:19	3541	3521	3534	3524	3524	3514	3521	27	450
Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance	Cycle number

								(mV)	
13-07-2012 08:20	3547	3522	3537	3526	3528	3519	3523	28	450
13-07-2012 08:20	3547	3526	3541	3532	3530	3520	3525	27	450
13-07-2012 08:21	3551	3529	3542	3534	3534	3524	3526	27	450
13-07-2012 08:21	3553	3529	3547	3536	3537	3526	3529	27	450
13-07-2012 08:22	3557	3532	3550	3541	3540	3530	3531	27	450
13-07-2012 08:22	3380	3370	3374	3375	3372	3375	3367	13	450
13-07-2012 08:23	3363	3351	3355	3359	3356	3356	3352	12	450
13-07-2012 08:23	3356	3347	3349	3351	3346	3351	3342	14	450
13-07-2012 08:24	3351	3343	3345	3347	3345	3346	3341	10	450
13-07-2012 08:24	3350	3337	3342	3346	3341	3346	3336	14	450
13-07-2012 08:25	3346	3341	3340	3345	3341	3341	3336	10	450
13-07-2012 08:25	3346	3337	3340	3342	3339	3341	3336	10	450
13-07-2012 08:26	3346	3332	3339	3341	3336	3341	3334	14	450
13-07-2012 08:26	3345	3333	3339	3341	3336	3341	3331	14	450
13-07-2012 08:27	3345	3333	3338	3341	3336	3341	3331	14	450
13-07-2012 08:27	3342	3336	3336	3341	3336	3341	3331	11	450
13-07-2012 08:28	3341	3337	3335	3341	3336	3340	3331	10	450
13-07-2012 08:28	3341	3337	3335	3341	3336	3340	3331	10	450
13-07-2012 08:29	3341	3337	3335	3341	3336	3340	3331	10	450
13-07-2012 08:29	3341	3337	3335	3340	3336	3339	3331	10	450
13-07-2012 08:30	3341	3337	3335	3340	3335	3339	3331	10	450
13-07-2012 08:30	3341	3335	3335	3340	3335	3338	3331	10	450
13-07-2012 08:31	3341	3335	3335	3340	3335	3336	3331	10	450
13-07-2012 08:31	3341	3335	3335	3340	3335	3336	3331	10	450
13-07-2012 08:32	3530	3517	3521	3513	3512	3508	3518	22	450
13-07-2012 08:32	3564	3543	3557	3547	3547	3536	3541	28	450
13-07-2012 08:33	3565	3551	3562	3551	3551	3540	3545	25	450
13-07-2012 08:33	3569	3547	3562	3554	3553	3543	3546	26	450
13-07-2012 08:34	3569	3556	3564	3556	3556	3545	3548	24	450
13-07-2012 08:34	3395	3381	3385	3390	3386	3386	3381	14	450
13-07-2012 08:35	3374	3358	3364	3370	3367	3367	3362	16	450
13-07-2012 08:35	3366	3352	3358	3361	3356	3361	3352	14	450
13-07-2012 08:36	3361	3348	3353	3356	3351	3356	3347	14	450
13-07-2012 08:36	3356	3349	3350	3353	3350	3351	3347	9	450
13-07-2012 08:37	3355	3341	3349	3351	3346	3351	3341	14	450
13-07-2012 08:37	3351	3345	3345	3351	3346	3347	3341	10	450
13-07-2012 08:38	3351	3345	3345	3350	3345	3346	3341	10	450
13-07-2012 08:38	3351	3343	3344	3347	3344	3346	3340	11	450
13-07-2012 08:39	3351	3338	3344	3346	3342	3346	3339	13	450
13-07-2012 08:39	3350	3337	3344	3346	3341	3346	3336	14	450
13-07-2012 08:40	3350	3337	3342	3346	3341	3346	3336	14	450
13-07-2012 08:40	3349	3338	3341	3346	3341	3345	3336	13	450
13-07-2012 08:41	3346	3341	3340	3346	3341	3345	3336	10	450
13-07-2012 08:41	3346	3341	3340	3345	3341	3344	3336	10	450

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
13-07-2012 08:42	3346	3341	3340	3345	3341	3342	3336	10	450
13-07-2012 08:42	3346	3341	3340	3345	3341	3341	3336	10	450
13-07-2012 08:43	3346	3341	3340	3345	3341	3341	3336	10	450
13-07-2012 08:43	3346	3339	3340	3345	3341	3341	3336	10	450
13-07-2012 08:44	3557	3539	3543	3535	3536	3531	3541	26	450
13-07-2012 08:44	3587	3565	3576	3567	3567	3557	3567	30	450
13-07-2012 08:45	3588	3573	3581	3571	3571	3560	3570	28	450
13-07-2012 08:45	3593	3568	3582	3574	3573	3564	3571	29	450
13-07-2012 08:46	3593	3570	3584	3575	3575	3564	3571	29	450
13-07-2012 08:46	3412	3400	3405	3405	3403	3405	3400	12	450
13-07-2012 08:47	3385	3374	3379	3380	3379	3380	3377	11	450
13-07-2012 08:47	3375	3366	3368	3370	3367	3370	3362	13	450
13-07-2012 08:48	3369	3354	3361	3366	3362	3363	3357	15	450
13-07-2012 08:48	3366	3352	3358	3361	3356	3359	3352	14	450
13-07-2012 08:49	3361	3353	3355	3357	3355	3356	3352	9	450
13-07-2012 08:49	3361	3346	3352	3356	3351	3355	3347	15	450
13-07-2012 08:50	3356	3349	3350	3355	3351	3351	3347	9	450
13-07-2012 08:50	3356	3349	3350	3351	3350	3351	3346	10	450
13-07-2012 08:51	3356	3347	3349	3351	3346	3351	3342	14	450
13-07-2012 08:51	3355	3341	3347	3351	3346	3350	3341	14	450
13-07-2012 08:52	3353	3343	3346	3351	3346	3347	3341	12	450
13-07-2012 08:52	3351	3345	3345	3350	3346	3346	3341	10	450
13-07-2012 08:53	3351	3345	3345	3350	3346	3346	3341	10	450
13-07-2012 08:53	3351	3345	3345	3349	3345	3346	3341	10	450
13-07-2012 08:54	3351	3345	3345	3347	3345	3346	3340	11	450
13-07-2012 08:54	3351	3343	3344	3346	3345	3346	3340	11	450
13-07-2012 08:55	3351	3340	3344	3346	3344	3346	3338	13	450
13-07-2012 08:55	3351	3338	3344	3346	3342	3346	3339	13	450
13-07-2012 08:56	3351	3336	3344	3346	3341	3346	3336	15	450
13-07-2012 08:56	3351	3336	3344	3346	3341	3346	3336	15	450
13-07-2012 08:57	3351	3336	3344	3346	3341	3345	3336	15	450
13-07-2012 08:57	3350	3337	3344	3346	3341	3345	3336	14	450
13-07-2012 08:58	3350	3337	3341	3346	3341	3345	3336	14	450
13-07-2012 08:58	3350	3337	3341	3346	3341	3345	3336	14	450
13-07-2012 08:59	3349	3338	3341	3346	3341	3344	3336	13	450
13-07-2012 08:59	3349	3338	3340	3345	3341	3342	3336	13	450
13-07-2012 09:00	3347	3340	3340	3345	3341	3341	3336	11	450
13-07-2012 09:00	3346	3341	3340	3345	3341	3341	3336	10	450
13-07-2012 09:01	3346	3341	3340	3345	3341	3341	3336	10	450
13-07-2012 09:01	3195	3197	3196	3208	3204	3201	3176	32	450
13-07-2012 09:02	3182	3188	3186	3199	3194	3191	3166	33	450
13-07-2012 09:02	3176	3180	3179	3191	3189	3186	3160	31	450
13-07-2012 09:03	3171	3177	3176	3188	3184	3182	3156	32	450
13-07-2012 09:03	3168	3171	3172	3183	3179	3182	3151	32	450

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
13-07-2012 09:04	3166	3166	3167	3178	3174	3177	3146	32	450
13-07-2012 09:04	3161	3166	3162	3176	3171	3172	3145	31	450
13-07-2012 09:05	3156	3165	3157	3172	3168	3168	3141	31	450
13-07-2012 09:05	3155	3157	3156	3168	3165	3167	3137	31	450
13-07-2012 09:06	3151	3152	3152	3163	3160	3162	3133	30	450
13-07-2012 09:06	3146	3155	3147	3162	3158	3161	3130	32	450
13-07-2012 09:07	3146	3148	3146	3158	3155	3157	3126	32	450
13-07-2012 09:07	3141	3144	3143	3156	3154	3154	3126	30	450
13-07-2012 09:08	3141	3144	3141	3154	3150	3152	3121	33	450
13-07-2012 09:08	3137	3139	3138	3151	3149	3150	3121	30	450
13-07-2012 09:09	3137	3139	3137	3149	3145	3147	3116	33	450
13-07-2012 09:09	3132	3135	3133	3147	3145	3146	3116	31	450
13-07-2012 09:10	3130	3137	3130	3144	3140	3143	3112	32	450
13-07-2012 09:10	3127	3131	3128	3143	3140	3141	3111	32	450
13-07-2012 09:11	3126	3128	3124	3139	3135	3138	3109	30	450
13-07-2012 09:11	3122	3127	3123	3138	3135	3135	3106	32	450
13-07-2012 09:12	3118	3122	3118	3134	3130	3133	3102	32	450
13-07-2012 09:12	3117	3121	3117	3132	3129	3128	3101	31	450
13-07-2012 09:13	3112	3119	3113	3129	3126	3128	3096	33	450
13-07-2012 09:13	3111	3111	3109	3124	3121	3123	3096	28	450
13-07-2012 09:14	3107	3106	3107	3123	3117	3121	3091	32	450
13-07-2012 09:14	3102	3107	3102	3119	3115	3118	3087	32	450
13-07-2012 09:15	3098	3107	3099	3115	3110	3113	3087	28	450
13-07-2012 09:15	3096	3100	3094	3110	3105	3109	3082	28	450
13-07-2012 09:16	3091	3096	3089	3106	3100	3107	3077	30	450
13-07-2012 09:16	3088	3090	3085	3102	3095	3104	3072	32	450
13-07-2012 09:17	3083	3086	3080	3099	3090	3099	3070	29	450
13-07-2012 09:17	3078	3082	3074	3094	3085	3094	3065	29	450
13-07-2012 09:18	3073	3073	3068	3089	3080	3089	3060	29	450
13-07-2012 09:18	3067	3066	3063	3083	3076	3084	3055	29	450
13-07-2012 09:19	3061	3063	3059	3076	3071	3079	3049	30	450
13-07-2012 09:19	3054	3061	3054	3070	3066	3074	3043	31	450
13-07-2012 09:20	3049	3055	3048	3065	3060	3068	3038	30	450
13-07-2012 09:20	3044	3044	3039	3059	3051	3060	3033	27	450
13-07-2012 09:21	3034	3041	3034	3050	3046	3055	3026	29	450
13-07-2012 09:21	3029	3033	3024	3044	3037	3050	3018	32	450
13-07-2012 09:22	3020	3024	3018	3035	3031	3040	3013	27	450
13-07-2012 09:22	3011	3015	3010	3026	3022	3034	3004	30	450
13-07-2012 09:23	3001	3007	3000	3016	3012	3026	2994	32	450
13-07-2012 09:23	2989	3001	2990	3006	3003	3016	2984	32	450
13-07-2012 09:24	2979	2984	2977	2996	2990	3006	2974	32	450
13-07-2012 09:24	2968	2969	2966	2984	2977	2996	2965	31	450
13-07-2012 09:25	2955	2957	2950	2972	2967	2982	2954	32	450
13-07-2012 09:25	3184	3179	3176	3180	3178	3184	3179	8	450

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
13-07-2012 09:26	3204	3195	3196	3197	3197	3200	3194	10	450
13-07-2012 09:26	3213	3204	3206	3207	3204	3210	3204	9	450
13-07-2012 09:27	3218	3208	3208	3212	3207	3213	3208	11	450
13-07-2012 09:27	3218	3208	3211	3212	3212	3214	3208	10	450
13-07-2012 09:28	3221	3211	3212	3216	3212	3214	3213	10	450
13-07-2012 09:28	3223	3212	3214	3217	3212	3219	3213	11	450
13-07-2012 09:29	3223	3212	3216	3217	3214	3219	3213	11	450
13-07-2012 09:29	3223	3212	3216	3217	3217	3219	3213	11	450
13-07-2012 09:30	3223	3212	3216	3217	3217	3219	3213	11	450
13-07-2012 09:30	3223	3212	3216	3217	3217	3219	3214	11	450
13-07-2012 09:31	3223	3214	3216	3218	3217	3219	3216	9	450
13-07-2012 09:31	3224	3213	3216	3218	3217	3219	3217	11	450
13-07-2012 09:32	3224	3215	3216	3218	3217	3219	3218	9	450
13-07-2012 09:32	3225	3216	3216	3221	3217	3221	3218	9	450
13-07-2012 09:33	3225	3216	3216	3221	3217	3222	3218	9	450
13-07-2012 09:33	3225	3216	3216	3221	3217	3222	3218	9	450
13-07-2012 09:34	3227	3217	3216	3222	3217	3222	3218	11	450
13-07-2012 09:34	3227	3217	3216	3221	3217	3222	3218	11	450
13-07-2012 09:35	3228	3216	3216	3222	3217	3223	3218	12	450
13-07-2012 09:35	3228	3216	3216	3221	3217	3222	3218	12	450
13-07-2012 09:36	3228	3216	3217	3222	3217	3223	3218	12	450
13-07-2012 09:36	3228	3216	3217	3222	3217	3223	3218	12	450
13-07-2012 09:37	3228	3216	3217	3222	3217	3223	3218	12	450
13-07-2012 09:37	3228	3216	3217	3222	3217	3223	3218	12	450
13-07-2012 09:38	3228	3216	3217	3222	3217	3223	3218	12	450
13-07-2012 09:38	3228	3216	3217	3222	3217	3223	3218	12	450
13-07-2012 09:39	3228	3216	3217	3222	3217	3223	3218	12	450
13-07-2012 09:39	3228	3216	3217	3222	3217	3223	3218	12	450

Tabela I.12 – Dados de carga e descarga, ciclo 500

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
17-07-2012 15:39	3342	3325	3329	3329	3327	3329	3333	17	500
17-07-2012 15:39	3353	3338	3340	3341	3339	3344	3349	15	500
17-07-2012 15:40	3363	3340	3347	3349	3346	3349	3355	23	500
17-07-2012 15:40	3368	3344	3352	3353	3350	3353	3358	24	500
17-07-2012 15:41	3370	3351	3356	3356	3353	3356	3361	19	500
17-07-2012 15:41	3373	3352	3358	3358	3355	3358	3363	21	500
17-07-2012 15:42	3373	3356	3359	3359	3357	3358	3366	17	500
17-07-2012 15:42	3377	3352	3363	3362	3358	3362	3364	25	500
17-07-2012 15:43	3378	3358	3363	3363	3361	3363	3367	20	500
17-07-2012 15:43	3378	3360	3364	3364	3361	3363	3367	18	500
17-07-2012 15:44	3378	3360	3366	3364	3362	3363	3368	18	500
17-07-2012 15:44	3380	3358	3367	3364	3363	3364	3368	22	500
17-07-2012 15:45	3381	3357	3367	3366	3363	3363	3368	24	500
17-07-2012 15:45	3381	3357	3367	3366	3364	3364	3369	24	500
17-07-2012 15:46	3381	3360	3367	3367	3364	3364	3369	21	500
17-07-2012 15:46	3381	3360	3368	3367	3364	3366	3370	21	500
17-07-2012 15:47	3383	3362	3368	3368	3364	3366	3370	21	500
17-07-2012 15:47	3383	3362	3368	3368	3366	3367	3372	21	500
17-07-2012 15:48	3383	3364	3369	3368	3366	3367	3372	19	500
17-07-2012 15:48	3383	3364	3369	3369	3366	3368	3373	19	500
17-07-2012 15:49	3384	3363	3370	3369	3366	3368	3373	21	500
17-07-2012 15:49	3384	3363	3370	3369	3366	3368	3373	21	500
17-07-2012 15:50	3386	3361	3372	3370	3367	3368	3373	25	500
17-07-2012 15:50	3386	3364	3372	3370	3368	3368	3373	22	500
17-07-2012 15:51	3387	3367	3373	3372	3369	3369	3374	20	500
17-07-2012 15:51	3387	3367	3373	3372	3369	3370	3375	20	500
17-07-2012 15:52	3387	3369	3374	3373	3369	3372	3377	18	500
17-07-2012 15:52	3390	3366	3374	3374	3370	3372	3377	24	500
17-07-2012 15:53	3391	3365	3375	3373	3370	3373	3378	26	500
17-07-2012 15:53	3391	3368	3377	3374	3372	3372	3379	23	500
17-07-2012 15:54	3392	3371	3377	3375	3373	3373	3378	21	500
17-07-2012 15:54	3392	3373	3378	3375	3374	3374	3380	19	500
17-07-2012 15:55	3392	3373	3378	3377	3375	3374	3381	19	500
17-07-2012 15:55	3395	3370	3379	3378	3375	3378	3384	25	500
17-07-2012 15:56	3396	3371	3381	3378	3375	3378	3383	25	500
17-07-2012 15:56	3396	3376	3383	3379	3375	3378	3383	21	500
17-07-2012 15:57	3397	3377	3381	3379	3379	3379	3385	20	500
17-07-2012 15:57	3397	3377	3386	3380	3379	3374	3385	23	500
17-07-2012 15:58	3400	3374	3387	3383	3379	3380	3385	26	500
17-07-2012 15:58	3402	3377	3386	3381	3379	3383	3387	25	500
17-07-2012 15:59	3402	3381	3387	3384	3381	3383	3387	21	500
17-07-2012 15:59	3402	3381	3389	3384	3383	3384	3389	21	500

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
17-07-2012 16:00	3402	3381	3387	3385	3384	3384	3392	21	500
17-07-2012 16:00	3406	3382	3389	3385	3384	3385	3392	24	500
17-07-2012 16:01	3406	3384	3391	3386	3385	3387	3391	22	500
17-07-2012 16:01	3407	3385	3391	3389	3385	3387	3392	22	500
17-07-2012 16:02	3407	3385	3392	3389	3386	3387	3394	22	500
17-07-2012 16:02	3408	3384	3394	3390	3387	3390	3396	24	500
17-07-2012 16:03	3409	3387	3394	3390	3390	3391	3396	22	500
17-07-2012 16:03	3411	3390	3395	3391	3390	3392	3397	21	500
17-07-2012 16:04	3412	3389	3396	3394	3390	3392	3398	23	500
17-07-2012 16:04	3412	3389	3396	3394	3392	3392	3398	23	500
17-07-2012 16:05	3412	3389	3397	3395	3392	3396	3400	23	500
17-07-2012 16:05	3413	3390	3398	3395	3394	3396	3401	23	500
17-07-2012 16:06	3414	3394	3398	3397	3395	3397	3401	20	500
17-07-2012 16:06	3416	3394	3401	3397	3395	3397	3402	22	500
17-07-2012 16:07	3416	3394	3402	3398	3396	3398	3402	22	500
17-07-2012 16:07	3417	3393	3403	3398	3397	3400	3406	24	500
17-07-2012 16:08	3417	3395	3403	3400	3397	3401	3405	22	500
17-07-2012 16:08	3418	3399	3403	3401	3398	3402	3407	20	500
17-07-2012 16:09	3419	3400	3406	3402	3400	3402	3407	19	500
17-07-2012 16:09	3420	3399	3407	3403	3400	3402	3408	21	500
17-07-2012 16:10	3422	3397	3407	3403	3400	3402	3407	25	500
17-07-2012 16:10	3422	3397	3408	3405	3402	3403	3409	25	500
17-07-2012 16:11	3422	3401	3408	3406	3402	3406	3411	21	500
17-07-2012 16:11	3423	3403	3409	3407	3403	3406	3412	20	500
17-07-2012 16:12	3424	3404	3411	3407	3403	3406	3412	21	500
17-07-2012 16:12	3425	3403	3412	3408	3405	3407	3413	22	500
17-07-2012 16:13	3426	3402	3413	3408	3405	3407	3414	24	500
17-07-2012 16:13	3426	3406	3413	3409	3406	3409	3414	20	500
17-07-2012 16:14	3428	3406	3414	3412	3407	3411	3417	22	500
17-07-2012 16:14	3429	3408	3414	3412	3408	3412	3417	21	500
17-07-2012 16:15	3430	3407	3417	3413	3409	3411	3417	23	500
17-07-2012 16:15	3430	3409	3418	3413	3409	3412	3418	21	500
17-07-2012 16:16	3431	3412	3418	3414	3411	3412	3419	20	500
17-07-2012 16:16	3431	3415	3419	3416	3412	3416	3420	19	500
17-07-2012 16:17	3434	3412	3420	3417	3413	3416	3422	22	500
17-07-2012 16:17	3435	3411	3422	3418	3413	3416	3423	24	500
17-07-2012 16:18	3436	3414	3423	3418	3414	3417	3424	22	500
17-07-2012 16:18	3436	3419	3423	3419	3416	3418	3424	20	500
17-07-2012 16:19	3437	3418	3424	3422	3417	3419	3426	20	500
17-07-2012 16:19	3440	3415	3426	3423	3418	3422	3428	25	500
17-07-2012 16:20	3441	3418	3428	3423	3419	3422	3428	23	500
17-07-2012 16:20	3441	3422	3428	3424	3419	3422	3429	22	500
17-07-2012 16:21	3444	3419	3429	3425	3420	3424	3431	25	500
17-07-2012 16:21	3445	3418	3431	3426	3423	3425	3431	27	500

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
17-07-2012 16:22	3446	3426	3433	3428	3424	3426	3433	22	500
17-07-2012 16:22	3448	3427	3434	3429	3425	3428	3435	23	500
17-07-2012 16:23	3450	3427	3435	3430	3426	3430	3436	24	500
17-07-2012 16:23	3451	3430	3437	3433	3429	3431	3437	22	500
17-07-2012 16:24	3453	3431	3439	3435	3429	3431	3440	24	500
17-07-2012 16:24	3456	3432	3441	3437	3433	3435	3441	24	500
17-07-2012 16:25	3457	3436	3444	3437	3434	3436	3442	23	500
17-07-2012 16:25	3459	3436	3445	3442	3436	3437	3446	23	500
17-07-2012 16:26	3462	3439	3447	3444	3439	3441	3447	23	500
17-07-2012 16:26	3465	3441	3451	3447	3440	3442	3451	25	500
17-07-2012 16:27	3469	3441	3452	3448	3444	3446	3451	28	500
17-07-2012 16:27	3470	3449	3457	3452	3447	3447	3456	23	500
17-07-2012 16:28	3475	3451	3459	3454	3450	3451	3458	25	500
17-07-2012 16:28	3480	3450	3463	3458	3453	3454	3462	30	500
17-07-2012 16:29	3484	3458	3468	3462	3457	3459	3467	27	500
17-07-2012 16:29	3490	3463	3474	3467	3462	3462	3472	28	500
17-07-2012 16:30	3497	3467	3481	3472	3467	3468	3478	30	500
17-07-2012 16:30	3504	3478	3487	3478	3474	3474	3486	30	500
17-07-2012 16:31	3515	3485	3498	3486	3484	3480	3495	35	500
17-07-2012 16:31	3529	3493	3512	3497	3493	3490	3508	39	500
17-07-2012 16:32	3550	3503	3531	3511	3509	3504	3525	47	500
17-07-2012 16:32	3575	3523	3554	3529	3530	3524	3548	52	500
17-07-2012 16:33	3588	3537	3567	3539	3542	3534	3567	54	500
17-07-2012 16:33	3603	3549	3579	3551	3556	3545	3582	58	500
17-07-2012 16:34	3617	3559	3591	3560	3568	3559	3601	58	500
17-07-2012 16:34	3627	3569	3601	3571	3580	3574	3617	58	500
17-07-2012 16:35	3637	3577	3607	3580	3591	3590	3630	60	500
17-07-2012 16:35	3642	3583	3610	3585	3601	3607	3641	59	500
17-07-2012 16:36	3647	3590	3613	3590	3608	3624	3654	64	500
17-07-2012 16:36	3652	3589	3613	3592	3617	3642	3664	75	500
17-07-2012 16:37	3653	3597	3609	3596	3626	3662	3679	83	500
17-07-2012 16:37	3653	3597	3608	3596	3635	3685	3690	94	500
17-07-2012 16:38	3653	3597	3603	3597	3641	3705	3703	108	500
17-07-2012 16:38	3652	3598	3599	3598	3648	3726	3713	128	500
17-07-2012 16:39	3648	3595	3592	3598	3656	3749	3724	157	500
17-07-2012 16:39	3647	3594	3586	3598	3660	3769	3733	183	500
17-07-2012 16:40	3541	3506	3502	3513	3548	3634	3601	132	500
17-07-2012 16:40	3507	3477	3473	3484	3509	3580	3548	107	500
17-07-2012 16:41	3485	3461	3457	3464	3490	3550	3523	93	500
17-07-2012 16:41	3468	3445	3444	3454	3474	3526	3503	82	500
17-07-2012 16:42	3458	3437	3434	3445	3459	3512	3489	78	500
17-07-2012 16:42	3448	3429	3424	3434	3452	3502	3478	78	500
17-07-2012 16:43	3440	3417	3419	3429	3445	3492	3469	75	500
17-07-2012 16:43	3434	3414	3413	3423	3437	3483	3459	70	500

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
17-07-2012 16:44	3429	3408	3408	3417	3430	3476	3453	68	500
17-07-2012 16:44	3424	3404	3405	3413	3425	3468	3445	64	500
17-07-2012 16:45	3419	3402	3398	3409	3420	3463	3440	65	500
17-07-2012 16:45	3414	3398	3394	3405	3419	3458	3435	64	500
17-07-2012 16:46	3412	3391	3392	3403	3416	3453	3430	62	500
17-07-2012 16:46	3409	3387	3389	3400	3411	3448	3429	61	500
17-07-2012 16:47	3405	3389	3387	3396	3408	3444	3425	57	500
17-07-2012 16:47	3405	3380	3384	3395	3406	3442	3420	62	500
17-07-2012 16:48	3400	3385	3383	3392	3402	3439	3419	56	500
17-07-2012 16:48	3400	3376	3379	3390	3401	3434	3416	58	500
17-07-2012 16:49	3395	3381	3379	3389	3398	3433	3411	54	500
17-07-2012 16:49	3395	3372	3378	3385	3396	3429	3411	57	500
17-07-2012 16:50	3392	3375	3374	3385	3395	3426	3406	52	500
17-07-2012 16:50	3390	3375	3374	3385	3391	3424	3406	50	500
17-07-2012 16:51	3390	3369	3373	3380	3391	3422	3402	53	500
17-07-2012 16:51	3387	3372	3370	3380	3389	3419	3401	49	500
17-07-2012 16:52	3385	3371	3369	3380	3386	3419	3401	50	500
17-07-2012 16:52	3385	3365	3369	3379	3386	3414	3396	49	500
17-07-2012 16:53	3384	3366	3368	3378	3385	3414	3396	48	500
17-07-2012 16:53	3381	3369	3368	3375	3381	3411	3395	43	500
17-07-2012 16:54	3380	3367	3364	3375	3381	3409	3391	45	500
17-07-2012 16:54	3380	3361	3364	3375	3381	3409	3391	48	500
17-07-2012 16:55	3200	3201	3201	3213	3208	3211	3183	30	500
17-07-2012 16:55	3190	3193	3193	3204	3199	3201	3173	31	500
17-07-2012 16:56	3185	3189	3188	3199	3194	3196	3169	30	500
17-07-2012 16:56	3184	3186	3183	3197	3194	3191	3166	31	500
17-07-2012 16:57	3180	3185	3182	3193	3189	3191	3161	32	500
17-07-2012 16:57	3178	3178	3177	3189	3188	3186	3161	28	500
17-07-2012 16:58	3176	3180	3173	3188	3184	3186	3157	31	500
17-07-2012 16:58	3173	3175	3172	3185	3183	3183	3156	29	500
17-07-2012 16:59	3171	3177	3168	3183	3179	3182	3154	29	500
17-07-2012 16:59	3168	3171	3167	3180	3179	3180	3151	29	500
17-07-2012 17:00	3166	3170	3163	3178	3174	3177	3150	28	500
17-07-2012 17:00	3165	3165	3162	3177	3174	3177	3146	31	500
17-07-2012 17:01	3161	3169	3160	3173	3169	3172	3146	27	500
17-07-2012 17:01	3160	3161	3157	3173	3169	3172	3141	32	500
17-07-2012 17:02	3156	3165	3156	3168	3168	3169	3141	28	500
17-07-2012 17:02	3156	3156	3152	3168	3165	3167	3140	28	500
17-07-2012 17:03	3151	3159	3151	3166	3163	3167	3137	30	500
17-07-2012 17:03	3151	3152	3147	3163	3160	3162	3137	26	500
17-07-2012 17:04	3146	3152	3146	3162	3160	3162	3130	32	500
17-07-2012 17:04	3146	3148	3143	3158	3155	3157	3130	28	500
17-07-2012 17:05	3141	3146	3141	3158	3155	3157	3126	32	500
17-07-2012 17:05	3141	3144	3138	3154	3150	3154	3126	28	500

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
17-07-2012 17:06	3137	3139	3135	3154	3150	3152	3121	33	500
17-07-2012 17:06	3135	3141	3133	3149	3145	3149	3121	28	500
17-07-2012 17:07	3132	3135	3128	3147	3145	3147	3116	31	500
17-07-2012 17:07	3127	3133	3127	3144	3140	3143	3115	29	500
17-07-2012 17:08	3127	3131	3123	3143	3139	3143	3111	32	500
17-07-2012 17:08	3122	3127	3119	3139	3135	3138	3110	29	500
17-07-2012 17:09	3118	3122	3118	3134	3130	3137	3106	31	500
17-07-2012 17:09	3117	3121	3113	3133	3130	3133	3101	32	500
17-07-2012 17:10	3112	3119	3109	3129	3126	3128	3101	28	500
17-07-2012 17:10	3107	3115	3107	3126	3121	3128	3096	32	500
17-07-2012 17:11	3106	3107	3104	3124	3118	3123	3091	33	500
17-07-2012 17:11	3102	3107	3099	3119	3115	3118	3091	28	500
17-07-2012 17:12	3098	3107	3094	3115	3110	3118	3087	31	500
17-07-2012 17:12	3093	3103	3090	3111	3105	3113	3082	31	500
17-07-2012 17:13	3089	3098	3088	3109	3101	3109	3079	30	500
17-07-2012 17:13	3087	3091	3084	3105	3098	3106	3077	29	500
17-07-2012 17:14	3083	3086	3078	3100	3094	3104	3072	32	500
17-07-2012 17:14	3078	3082	3074	3095	3089	3099	3067	32	500
17-07-2012 17:15	3073	3078	3068	3090	3084	3094	3062	32	500
17-07-2012 17:15	3068	3074	3063	3085	3079	3089	3057	32	500
17-07-2012 17:16	3063	3070	3057	3080	3072	3084	3052	32	500
17-07-2012 17:16	3056	3066	3049	3073	3066	3079	3048	31	500
17-07-2012 17:17	3049	3057	3044	3065	3061	3074	3043	31	500
17-07-2012 17:17	3044	3053	3039	3060	3056	3070	3038	32	500
17-07-2012 17:18	3039	3045	3031	3055	3050	3065	3033	34	500
17-07-2012 17:18	3029	3042	3024	3048	3041	3057	3027	33	500
17-07-2012 17:19	3218	3208	3211	3217	3212	3218	3211	10	500
17-07-2012 17:19	3235	3226	3229	3235	3228	3234	3228	9	500
17-07-2012 17:20	3243	3236	3236	3243	3236	3244	3238	8	500
17-07-2012 17:20	3247	3243	3243	3247	3246	3249	3243	6	500
17-07-2012 17:21	3252	3245	3245	3251	3247	3253	3247	8	500
17-07-2012 17:21	3257	3249	3249	3256	3252	3258	3250	9	500
17-07-2012 17:22	3257	3249	3250	3256	3252	3258	3252	9	500
17-07-2012 17:22	3257	3256	3250	3256	3257	3260	3252	10	500
17-07-2012 17:23	3261	3254	3251	3258	3257	3263	3255	12	500
17-07-2012 17:23	3262	3253	3255	3261	3257	3263	3257	10	500
17-07-2012 17:24	3262	3253	3255	3261	3257	3263	3257	10	500
17-07-2012 17:24	3262	3255	3255	3261	3258	3263	3257	8	500
17-07-2012 17:25	3262	3258	3255	3261	3261	3263	3257	8	500
17-07-2012 17:25	3262	3262	3255	3261	3262	3264	3257	9	500
17-07-2012 17:26	3263	3261	3255	3262	3262	3267	3257	12	500
17-07-2012 17:26	3266	3258	3256	3262	3262	3268	3258	12	500
17-07-2012 17:27	3267	3257	3257	3263	3262	3268	3260	11	500
17-07-2012 17:27	3267	3257	3257	3264	3262	3268	3261	11	500

Timestamp	Cell 1 (mV)	Cell 2 (mV)	Cell 3 (mV)	Cell 4 (mV)	Cell 5 (mV)	Cell 7 (mV)	Cell 8 (mV)	Cell Variance (mV)	Cycle number
17-07-2012 17:28	3267	3257	3260	3266	3262	3268	3262	11	500
17-07-2012 17:28	3267	3257	3260	3266	3262	3268	3262	11	500
17-07-2012 17:29	3267	3257	3260	3266	3262	3268	3262	11	500
17-07-2012 17:29	3267	3257	3260	3266	3262	3268	3262	11	500
17-07-2012 17:30	3267	3259	3260	3266	3262	3268	3262	9	500
17-07-2012 17:30	3267	3259	3260	3266	3263	3268	3262	9	500
17-07-2012 17:31	3267	3259	3260	3266	3263	3268	3262	9	500
17-07-2012 17:31	3267	3261	3260	3266	3263	3268	3262	8	500
17-07-2012 17:32	3267	3264	3260	3266	3264	3268	3262	8	500
17-07-2012 17:32	3267	3266	3260	3266	3266	3268	3262	8	500
17-07-2012 17:33	3267	3266	3260	3266	3266	3268	3262	8	500

ANEXO 5 – CARACTERÍSTICAS DE BATERIAS DE VÁRIOS FABRICANTES

As características de uma bateria de LFP de 60Ah é apresentada, primeiro a característica do fabricante ThunderSky do ano de 2007, em 2010 o fabricante mudou o seu nome para Sinopoly, e para comparação as características do ano de 2011 de uma bateria da mesma capacidade (60Ah)



Figura I.6 – Características da bateria de 60Ah, à esquerda do ano 2011, à direita de 2007

Ocorre uma situação semelhante com a sua antiga bateria de 160Ah, que com as mesmas dimensões e peso apresenta capacidade de 200Ah em 2011



中聚锂电池性能说明
SINOPOLY LITHIUM ION BATTERY SPECIFICATIONS



雷天牌锂离子动力电池技术说明
THUNDER SKY LITHIUM-ION POWER BATTERY SPECIFICATIONS

单体电池尺寸
DIMENSIONS



型号(MODEL):SP-LFP200AHA

技术参数 SPECIFICATION	
型号(MODEL):SP-LFP200AHA	
标称容量 Nominal Capacity	200Ah,640Wh
标称电压 Nominal Voltage	3.2V
循环寿命 Life Cycles	80% DOD >2000Times 70% DOD >3000Times
自放电率 Self-discharge Rate	≤3%
重量 Weight	5.75±0.1kg

	充电 Charge (模式:Mode:cc-cv)	放电 Discharge
截止电压 Cut-Off Voltage	3.8V	2.8V
标准电流 Standard Current	0.3C,60A	0.3C,60A
最大恒电流 Max Constant Current	3C,600A	3C,600A
最大脉冲电流(10秒) Max Impulse Current (10s)	3C,600A	5C,1000A
工作温度 Operating Temperature	0°C ~ +70°C	-20°C ~ +70°C

型号(MODEL):SP-LFP200AHA



单体电池尺寸
DIMENSIONS



型号(MODEL): TS-LFP160AHA

技术参数 SPECIFICATIONS	
型号(MODEL): TS-LFP160AHA	
标称容量 Nominal Capacity	160Ah
工作电压 Operation Voltage	充电 (Charge) 4.25V 放电 (Discharge) 2.5V
最大充电电流 Max Charge Current	≤3CA
最大放电电流 Max Discharge Current	恒电流 (Constant Current) <3CA 脉冲式 (Impulse Current) <10CA
标准充电/放电电流 Standard Charge/Discharge Current	0.3CA
循环寿命 Cycle Life	(80DOD%) >2000Times (70DOD%) >3000Times
耐热耐温性 Temperature Durability Of Case	≤250°C
适应环境 Operating Temperature	充电 (Charge) -25°C~75°C 放电 (Discharge) -25°C~75°C
自放电率(月) Self-discharge Rate	≤3% (Monthly)
单组电池重量 Weight	5.6kg±100g

型号(MODEL): TS-LFP160AHA



2007年01月01日 日期: 01/01/2007 The Latest Edition

Figura I.7 – Características da bateria de 200Ah, à esquerda do ano 2011, à direita de 2007

ANEXO 6 – TABELA DE ENSAIOS DO MOTOR 18KW

Apresenta-se na Tabela I.13 os parâmetros de fábrica relativos ao motor de 18kw da Best Motor, de notar que existem valores com erro de leitura pois apresenta rendimento superior a 100%

Tabela I.13 – Ensaio do fabricante Best Motors relativos ao motor de 18 kW

FSAT	FREQ	SLIP	Giri	C	V	IBATT	IMOT	P.R	P.Batt	Rend	S2	S3
Hz	Hz	Hz	Rpm	Kgm	Volt	Amp	Amp	KW	KW	%	min	%
55	31,2	0,6	918	4,05	81,7	79,4	287,3	3,82	6,48	59,0	70,9	76,8
55	31,2	0,8	913	6,11	81,7	102,8	289,1	5,73	8,40	68,2	70,0	76,3
55	31,2	0,9	909	8,23	81,6	127,7	302,2	7,68	10,42	73,7	63,7	72,4
55	31,2	1,0	905	9,53	81,9	152,9	320,2	8,85	12,52	70,7	55,3	66,7
55	31,2	1,2	899	12,09	81,5	184,4	347,3	11,16	15,03	74,3	43,4	57,2
55	31,2	1,5	892	14,00	81,5	214,5	374,2	12,82	17,47	73,4	32,4	46,6
55	31,2	1,5	891	15,05	81,9	233,0	393,9	13,77	19,08	72,2	24,8	37,8
55	31,2	1,7	884	16,27	81,7	252,6	415,2	14,77	20,62	71,6	17,0	27,2
55	31,2	1,8	881	16,95	81,5	264,3	427,2	15,34	21,53	71,3	12,8	20,7
55	31,2	2,0	876	18,54	81,9	288,0	463,0	16,68	23,58	70,7	2,5	4,4
55	41,2	0,7	1216	3,88	81,8	96,2	290,6	4,85	7,87	61,6	69,3	75,9
55	41,2	0,9	1208	8,09	81,3	161,0	306,6	10,03	13,09	76,6	61,6	71,1
55	41,2	1,3	1197	12,31	81,9	230,3	344,5	15,13	18,87	80,2	44,6	58,3
55	41,2	1,5	1190	15,41	82,1	282,6	387,2	18,84	23,19	81,2	27,4	40,9
55	41,2	2,0	1177	18,32	81,7	356,6	451,2	22,14	29,12	76,0	4,6	6,2
55	61,2	0,8	1812	4,25	82,0	115,8	194,7	7,91	9,49	83,3	123,4	99,1
55	61,2	1,0	1806	6,03	81,6	164,6	218,8	11,19	13,43	83,3	108,3	94,0
55	61,2	1,2	1801	8,01	81,7	218,1	250,8	14,82	17,83	83,1	89,9	86,5
55	61,2	1,4	1793	9,53	81,8	268,0	283,2	17,54	21,92	80,0	72,9	78,0
55	61,2	1,6	1788	12,11	82,4	323,2	330,2	22,25	26,63	83,5	50,8	63,4
55	61,2	1,9	1778	13,41	81,5	366,9	356,8	24,49	29,88	81,9	39,5	53,6
55	61,2	2,1	1774	14,36	82,5	384,5	379,9	26,17	31,71	82,5	30,2	44,1
55	61,2	2,2	1769	15,44	82,4	418,2	407,0	28,05	34,46	81,4	20,0	31,4
55	61,2	2,3	1767	16,15	80,9	441,4	418,0	29,30	35,71	82,1	16,0	25,8
55	81,2	0,8	2412	2,59	81,9	75,2	119,1	6,41	6,16	104,1	179,1	112,6
55	81,2	1,3	2398	3,66	81,8	138,3	158,2	9,02	11,31	79,8	148,6	106,0
55	81,2	2,2	2370	6,06	81,5	209,8	212,9	14,75	17,11	86,2	111,9	95,3
55	81,2	2,1	2374	7,82	82,1	278,0	268,3	19,06	22,81	83,5	80,6	82,0
55	81,2	3,1	2342	10,02	81,7	350,3	327,0	24,09	28,63	84,2	52,3	64,4
55	81,2	2,8	2351	11,26	81,7	391,5	371,6	27,19	32,00	85,0	33,5	47,7
55	81,2	3,7	2325	12,07	82,2	423,3	389,6	28,81	34,80	82,8	26,5	39,8
55	81,2	3,5	2331	13,04	82,2	465,1	430,2	31,22	38,23	81,7	11,7	19,0
55	100,5	0,6	2998	2,00	80,4	88,2	108,6	6,17	7,09	87,0	188,0	114,2
55	100,5	1,1	2982	3,98	80,4	172,7	177,2	12,19	13,89	87,8	135,1	102,5
55	100,5	1,9	2959	5,84	80,4	259,4	248,6	17,74	20,86	85,0	91,1	87,1
55	100,5	2,8	2931	7,74	80,5	363,7	343,5	23,31	29,28	79,6	45,1	58,6
55	100,5	3,2	2918	8,84	80,5	399,6	376,9	26,50	32,17	82,4	31,4	45,4
55	100,5	3,5	2910	9,16	80,5	424,5	397,3	27,38	34,17	80,1	23,5	36,2
55	120,5	0,6	3597	1,17	80,7	65,9	85,6	4,33	5,32	81,3	208,9	117,7
55	120,5	1,0	3585	2,08	79,9	117,2	123,5	7,64	9,37	81,6	175,4	111,9
55	120,5	1,7	3565	3,08	80,8	168,1	167,2	11,27	13,57	83,0	142,1	104,4
55	120,5	2,2	3549	4,13	79,8	234,7	224,2	15,05	18,74	80,3	105,1	92,8
55	120,5	2,9	3529	5,32	80,3	292,6	275,4	19,30	23,50	82,1	76,9	80,1
55	120,5	4,0	3495	6,01	80,5	357,6	339,5	21,57	28,79	74,9	46,8	60,1
55	120,5	4,1	3491	6,45	80,3	395,7	379,2	23,12	31,77	72,8	30,5	44,4
55	140,5	0,9	4187	0,90	80,6	72,8	85,7	3,89	5,86	66,3	208,8	117,6
55	140,5	1,5	4171	2,00	80,4	133,4	133,5	8,58	10,72	80,1	167,4	110,3
55	140,5	2,4	4143	3,05	80,6	197,4	193,5	12,99	15,90	81,7	124,2	99,3
55	140,5	3,4	4112	4,01	80,7	278,2	269,8	16,92	22,45	75,3	79,8	81,6
55	140,5	4,1	4093	4,35	80,4	315,3	306,1	18,28	25,36	72,1	61,8	71,2
55	110,3	888888,0	0	21,89	80,7	80,6	369,3	0,00	6,51	0,0	34,4	48,6
55	110,3	888888,0	0	22,94	80,3	83,3	411,0	0,00	6,69	0,0	18,5	29,4
55	110,3	888888,0	0	23,28	80,8	88,9	420,5	0,00	7,18	0,0	15,1	24,4
55	120,3	888888,0	0	22,28	80,2	91,1	429,7	0,00	7,31	0,0	11,9	19,3
55	120,3	888888,0	0	21,89	80,3	90,4	441,1	0,00	7,26	0,0	8,0	12,6
55	120,3	888888,0	0	22,15	80,5	84,3	397,1	0,00	6,78	0,0	23,6	36,3

ANEXO II

REFERÊNCIAS NORMATIVAS

Resumo

Este Anexo contém as referências normativas na área da mobilidade eléctrica rodoviária

ANEXO II – REFERÊNCIAS NORMATIVAS

- EN 1986-2:2001, Electrically propelled road vehicles. Measurement of energy performances. Thermal electric hybrid vehicles.
- EN 50065-1:2001, Signalling on low-voltage electrical installations in the frequency range 3 kHz to 148,5 kHz – Part 1: General requirements, frequency bands and electromagnetic Disturbances.
- EN 61851-1:2010, Electric road vehicles and electric industrial trucks.
- EN 61851-21:2002: Electric vehicle conductive charging system - - Part 21: Electric vehicle requirements for conductive connection to an a.c/d.c. supply.
- EN 61851-22:2002: Electric vehicle conductive charging system – Part 22: AC electric vehicle charging station.
- IEC 60034-1:2004 Rotating electrical machines –Part 1: Rating and performance.
- IEC 60038:2009, IEC standard voltages.
- IEC 60065:1998, Audio, video and similar electronic apparatus – Safety requirements.
- IEC 60068-2-30:2005, Environmental testing – Part 2-30: Tests – Test Db: Damp heat, cyclic (12 + 12 h cycle).
- IEC 60068-2-75:1997, Environmental testing – Part 2: Tests – Test Eh: Hammer tests.
- IEC 60068-2-78:2001, Environmental testing – Part 2-78: Tests – Test Cab: Damp heat, steady State.
- IEC 60245-1:1994, Rubber insulated cables – Rated voltages up to and including 450/750 V – Part 1: General requirements; Amendment 1 (1997), Amendment 2 (1997).
- IEC 60245-2:1994, Rubber insulated cables – Rated voltages up to and including 450/750 V – Part 2: Test methods; Amendment 1 (1997), Amendment 2 (1997).
- IEC 60245-3:1994, Rubber insulated cables – Rated voltages up to and including 450/750 V – Part 3: Heat resistant silicone insulated cables; Amendment 1 (1997).
- IEC 60245-4:1994, Rubber insulated cables of rated voltages up to and including 450/750 V –Part 4: Cords and flexible cables; Amendment 1 (1997)
- IEC 60276, Definitions and nomenclature for carbon brushes, brush-holders, commutators and slip-rings.
- IEC 60309-1:1999, Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 1: General requirements.
- IEC 60309-2:1999, Plugs, socket-outlets and couplers for industrial purposes – Part 2: Dimensional interchangeability requirements for pin and contact-tube accessories.
- IEC 60364-4-41:2005, Low-voltage electrical installations – Part 4-41: Protection for safety – Protection against electric shock.
- IEC 60529:1989, Degrees of protection provided by enclosures (IP Code).
- IEC 60664-1:2007, Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests.

- IEC/TR 60755:2008, General requirements for residual current operated protective devices.
- IEC 60884-1:2002, Plugs and socket-outlets for household and similar purposes – Part 1:General requirements.
- IEC 60884-2-5:1995, Plugs and socket-outlets for household and similar purposes – Part 2 particular requirements for adaptors.
- IEC 60947-3:2008, Low-voltage switchgear and controlgear – Part 3: Switches, disconnectors, switch-disconnectors and fuse-combination units.
- IEC 60950-1:2005, Information technology equipment – Safety – Part 1: General requirements.
- IEC 60990:1999, Methods of measurement of touch current and protective conductor current.
- IEC 61000-6-1:2005, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-1: Generic standards – Immunity for residential, commercial and light-industrial environments.
- IEC 61000-6-3:2006, Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-3: Generic standards – Emission standard for residential, commercial and light-industrial environments.
- IEC 61008-1:2010, Residual current operated circuit-breakers without integral overcurrent protection for household and similar uses (RCCBs) – General rules.
- IEC 61009-1:2010, Residual current operated circuit-breakers with integral overcurrent protection for household and similar uses (RCBOs) – General rules.
- IEC 61180-1:1992, High-voltage test techniques for low-voltage equipment – Part 1: definitions, test and procedure requirements.
- IEC 62196-1:2003, Plugs, socket-outlets, vehicle couplers and vehicle inlets – Conductive charging of electric vehicles – Part 1: Charging of electric vehicles up to 250 A a.c. and 400 A d.c.
- ISO 6469-1:2009: Electric road vehicles --Safety specifications – Part 1: On-board electrical energy storage.
- ISO 6469-2:2009, Electrically propelled road vehicles – Safety specifications – Part 2: Vehicle operational safety means and protection against failures.
- ISO 6469-3:2001, Electric road vehicles – Safety specifications – Part 3: Protection of persons against electric hazards.
- ISO 8713:2005: Electric road vehicles – Vocabulary.
- ISO 8714:2002: Reference energy consumption and range – Test procedures for passenger cars and light commercial vehicles.
- ISO 8715:2001: Road operating characteristics.
- SAE J1772:2010, Recommended practices: SAE Electric Vehicle and Plug In Hybrid Electric Vehicle Conductive Charge Coupler.

ANEXO III

RELATÓRIO PROJECTO VEECO

Resumo

Este anexo destina-se ao Relatório consolidado do desenvolvimento do projecto B.M.S./V.M.S. e Circuitos Electrónicos de 01/04/2010 a 31/04/2011, elaborado no âmbito do projecto Veeco.



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



QUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013

adi 
agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE



COMPETE

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL)

(ref. VEECO nº003408)



Relatório consolidado do desenvolvimento do projecto
B.M.S./V.M.S. e
Circuitos Electrónicos
De 01/04/2010 a 31/04/2011



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



QUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013



PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE



COMPETE

Título:

Desenvolvimento do projecto –B.M.S./V.M.S. e circuitos electrónicos
Projecto veículo eléctrico VEECO

Investigadores:

Celso Miguel de Carvalho Menaia (ISEL)
João Valente (VE)

Orientador:

Prof. Doutor José Carlos Quadrado (ISEL)

Co-Orientadores:

Eng. Acácio Galhardo (ISEL)
João Manuel M. S. Oliveira (VE)

Instituição Académica Universitária:

Instituto Superior de Engenharia de Lisboa (ISEL)

Empresa de Acolhimento:

VE – Fabricação de Veículos de Tracção Eléctrica, Lda.

Data de Apresentação:

Setembro de 2010

Palavras – Chave:

Baterias
Veículo eléctrico
Iões de lítio
LiFePO4

Keywords:

Batteries
Electric vehicle
Lithium ion
LiFePO4



Índice

Introdução.....	3
Objectivos.....	3
Princípio de funcionamento das baterias de iões de lítio do tipo LiFePO_4 ,	3
Introdução.....	3
Mecanismo de inserção/extracção de lítio.....	5
Estrutura cristalina.....	5
Transformações de fase	6
Performance electroquímica.....	7
Taxa de capacidade.....	7
Densidade energética.....	8
Capacidade de ciclos e vida útil	9
Dependência da temperatura	11
Conclusões.....	12
Referências	12
Ensaio da bateria.....	15
Teste em pista.....	20
Esquemas para elaboração de um BMS	23
Conclusões.....	25
Bibliografia.....	26



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



QUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013

adi
agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE



COMPETE

Introdução

O presente relatório visa o desenvolvimento do projecto do B.M.S./V.M.S. (Sistema de gestão do banco de baterias) do Veículo Eléctrico Ecológico (VEECO).

Objectivos

As baterias seleccionadas para aplicação no projecto Veeco são tipo LiFePO_4 , e requerem uma análise prévia detalhada. Para tal tem sido testada uma bateria de 40Ah da CALB (China Aviation Litium Battery), com o principal objectivo de compreender o seu comportamento face a diferentes situações.

Realizar-se-á um estudo das baterias, para através do *software* Advisor, desenvolver o modelo matemático de simulação do VEECO RT.

Princípio de funcionamento das baterias de iões de lítio do tipo LiFePO_4 ,

Segundo Wei-Jun Zhang

LiFePO_4 é considerado um dos materiais mais promissores para baterias em veículos eléctricos. Contudo, ainda existem desafios a superar antes da sua aplicação industrial. De seguida será descrito o tipo de estrutura e performance do LiFePO_4 tendo em conta a sua aplicação em baterias para veículos eléctricos.

Introdução

As principais vantagens do LiFePO_4 é o seu perfil de tensão muito plano, baixo custo de materiais, abundância de matérias-primas e menor impacto ambiental comparado com outro tipo de materiais de cátodo [3-8]. As desvantagens do LiFePO_4 incluem uma capacidade teórica



relativamente baixa, baixa densidade, pouca condutibilidade electrónica e taxas baixas de difusão iónica (*Table 1*). No entanto o custo de processamento do LiFePO_4 é geralmente alto devido à adição de carbono ou devido à dimensão das partículas que é necessária para obter uma performance adequada quando o seu uso em descargas elevadas.

Desde a sua descoberta em 1997 [9], o entendimento da estrutura, performance electroquímica e técnicas de síntese de LiFePO_4 [10-161] tem progredido. Estes avanços têm vindo a ser discutidos em vários artigos [5-8]. É necessário um entendimento realista acerca das promessas e limitações do LiFePO_4 para o seu uso generalizado no mercado dos veículos eléctricos.

Table 1
Comparison of the properties of different cathodes in 18,650 cells [2].

Property	$\text{LiAl}_{0.05}\text{Co}_{0.15}\text{Ni}_{0.8}\text{O}_2$	LiCoO_2	LiMn_2O_4	LiFePO_4
Avg. voltage (V)	3.65	3.84	3.86	3.22
Theo. capacity (mAh g^{-1})	265	274	117	170
True density (g cm^{-3})	4.73	5.05	4.15	3.60
Specific energy (Wh kg^{-1})	219.8	193.3	154.3	162.9
Energy density (Wh L^{-1})	598.9	557.8	418.6	415.0
Materials' cost	1.628	1.824	1.159	1.219
Energy cost ($\text{Wh US}\$^{-1}$)	6.08	5.05	5.97	6.31

Table 2
Summary of major requirements for HEV and PHEV batteries [1].

Characteristics	HEV	PHEV (10 miles)	PHEV (40 miles)
Pulse discharge power ($\text{kW } 10 \text{ s}^{-1}$)	25–40	38	46
Available energy (kWh)	0.3–0.5	3.4	11.6
Cycle life (charge sustaining, 50 Wh)	300,000	300,000	300,000
Cycle life (charge depleting)	N/A	5000	5000
Calendar life (years)	15	15 (35 °C)	15 (35 °C)
Maximum weight (kg)	40–60	60	120
Maximum volume (L)	32–45	40	80
Max. price ($\text{\$}$) ($100\text{k units year}^{-1}$)	500–800	1700	3400
Operating temperature (°C)	–30 to +52	–0 to +52	–30 to +52

De acordo com o *standard* proposto pelo departamento de energia dos Estados Unidos da América (*Table 2*), as maiores barreiras tecnológicas que têm de ser resolvidas para possibilitar a comercialização de veículos com baterias de alta energia para PHEVs (veículos híbridos eléctricos plug-in) a baterias de alta potência para HEVs (veículos híbridos eléctricos) são os seguintes [1] :

- (1) Performance: é necessário uma densidade energética superior para ir ao encontro das limitações de peso/volume; performance a baixa temperatura e número de ciclos tem que ser melhorado.
- (2) Custo: O custo corrente das novas baterias de iões de lítio é cerca de duas a cinco vezes mais caro que objectivo, devido ao custo dos materiais, involucro das células e processo de fabrico.



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento RegionalQUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013

agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE

COMPETE

- (3) Vida: Um tempo de vida de 15 anos parece difícil de atingir, especialmente, o impacto devido ao número de ciclos e tempo de utilização em elevados estados de carga na vida da bateria é desconhecido.
- (4) Tolerância ao abuso: tolerância em condições de abuso tem que ser resolvidos, tais como curto-circuitos, sobrecargas, sobre descargas e exposição ao fogo.

Mecanismo de inserção/extracção de lítio

Estrutura cristalina

O LiFePO_4 tem uma estrutura triclinico pertence à família dos olivinos de lítio ortho-fosfatos com uma estrutura ortorrômbico do grupo $Pnma$ [9-12]. Os parâmetros da estrutura são $a=10,33 \text{ \AA}$, $b=6,01 \text{ \AA}$, $c=4,69 \text{ \AA}$ e $V=291,2 \text{ \AA}^3$. A estrutura consiste em octaedros FeO_6 e LiO_6 octaedros paralelos ao eixo b , que estão ligados entre si por tetraedros de PO_4 (figura 1). Após deslithização, os iões de lítio são extraídos e dá-se a produção de FePO_4 sem alteração significativa da estrutura [9,13]. No entanto, os parâmetros são alteradas para $a=9,81 \text{ \AA}$, $b=5,79 \text{ \AA}$, $c=4,78 \text{ \AA}$ e $V=271,5 \text{ \AA}^3$ para o FePO_4 , o que corresponde a uma redução no volume de 6,77% e um aumento em c de 1,9%, e uma diminuição em a e b de 5% e 3,7%, respectivamente.

Devido à forte ligação entre os átomos de Fe e P ao oxigénio, a estrutura LiFePO_4 é mais estável a alta temperatura do que LiCoO_2 , LiFePO_4 é estável até aos 400°C , enquanto o LiCoO_2 aos 250°C começa a decompor-se [14-16]. A alta estabilidade da estrutura resulta em excelente performance cíclica o segurança no uso de LiFePO_4 . Contudo a forte ligação covalente com o oxigénio resulta numa lenta difusão iónica (10^{-13} a $10^{-16} \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$) e uma pobre condutibilidade electrónica ($\sim 10^{-9} \text{ cms}^{-1}$)[17]. A difusão de Li no FePO_4 acredita-se que seja unidimensional e no sentido do eixo b [10,11,18].

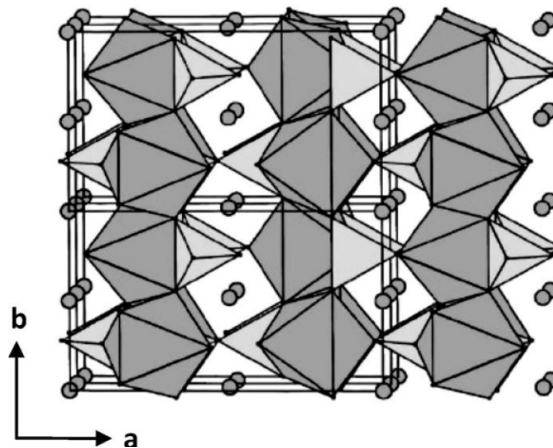


Figura 1 –A estrutura cristalina de LiFePO_4 vista ao longo do eixo c [12]. Os átomos de Fe (octaedro) ocupam o lado (4c) (mais escuro), os átomos de P (tetraedro) ocupam o lado (4c)(mais claro). Os iões de lítio (círculos) ocupam lados (4a)

Transformações de fase

De acordo com a teoria clássica, a força para a difusão de átomos num processo de fase única é o gradiente de concentração. Um gradiente de concentração mais alto resulta numa difusão atómica mais rápida. Infelizmente, um gradiente de concentração raramente ocorre em micro partículas de Li_xFePO_4 devido ao limite da solução-sólido de ambas LiFePO_4 e FePO_4 fases [19-21]. Acredita-se que a solubilidade é menos de 0,05 à temperatura ambiente para partículas maiores que 100 nm. Com temperatura elevada diminui a lacuna entre as duas fases [22,23] A lacuna entre as duas fases de LiFePO_4 e FePO_4 diminui quando o tamanho das partículas é diminuído para 50nm, e é previsto que seja uma solução completamente sólida para partículas de tamanho inferior a 15 nm à temperatura ambiente [26]. A transformação das fases de heterónimo a triclinica para a solução sólida desordenada de Li_xFePO_4 ocorre a cerca de 200°C. Estas duas fases são totalmente solúveis à temperatura ambiente acima de 300°C. Notar que o diagrama de fase é bastante dependente do tamanho das partículas devido ao efeito de superfície de energia [24,25].



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento RegionalQUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007-2013

agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE

COMPETE

Performance electroquímica

Taxa de capacidade

A taxa de capacidade do LiFePO_4 tem sido extensamente investigada, devido ao facto da necessidade de pulso de alta potência em muitas das suas aplicações. A taxa de capacidade é afectada por vários factores, entre eles, o tamanho das partículas, dopagem, cobertura de carbono, processo de síntese, processo de mistura e carregamento de carbono condutivo [39-44]. Uma comparação relativa a várias taxas de vários compostos de LiFePO_4 é apresentada num artigo em referência [45]. A análise aponta para que a condutibilidade eléctrica entre os póis de LiFePO_4 e os colectores de corrente tem uma importância decisiva para altas taxas de capacidade das células. O revestimento a carbono parece melhorar a taxa de capacidade do LiFePO_4 , com mais eficiência do que a redução do tamanho das partículas e dopagem. Porque a reacção $\text{LiFePO}_4/\text{FePO}_4$ é não-difusora o transporte de iões de Li e electrões através das partículas não parece ser o processo limitativo. Ao invés o rápido transporte dos electrões da superfície das partículas até ao colector de corrente é mais crítico, particularmente em altas taxas de capacidade, tendo em conta que a difusão de iões de Li através do electrólito e da grafite do ânodo não é limitada. Assim o revestimento de carbono e a adição de carbono condutivo é bastante mais importante que o controlo da dimensão das partículas a elevadas taxas de correntes.

Como mostra a figura 2, os materiais preparados por polyol, precipitação directa, sol-gel and ball-milling exibem um resultado excelente a altas taxas de capacidade [45]. Para micro partículas (DP-140, BM-C-300) exibem um resultado excelente quando comparados com as nano partículas (PL-30). É de notar o bom desempenho de SS-30, apesar do resultado ser discutível com outros [46,47].

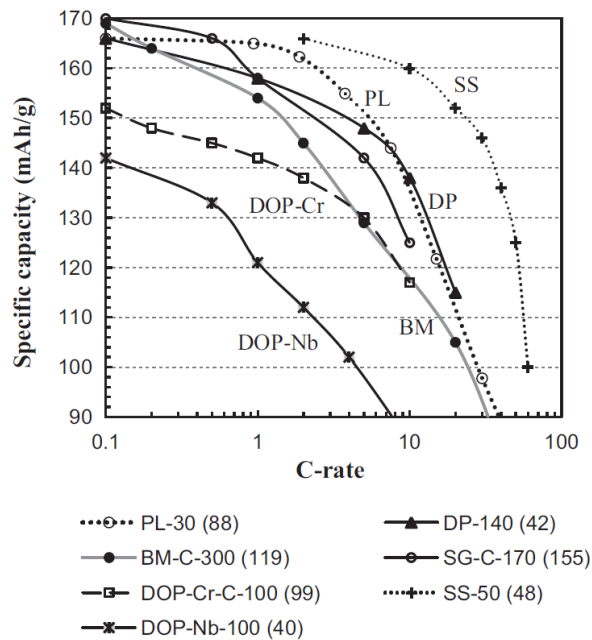


Figura 2 – Comparação das taxas de capacidade para vários tipo de LiFePO_4 com métodos de síntese ou com dopagem : PL (polyol), DP (precipitação-directa), SG (sol-gel), BM (ball-miling), SS(solid-state), e DOP (dopagem) [45]. A dimensão das partícula e o revestimento de carbono (C) está indicado na legenda.

Densidade energética

A energia específica (Whkg^{-1}) a densidade de energia (WhL^{-1}) das baterias, sendo parâmetros importantes para veículos eléctricos e outras aplicações. Aumentar a energia específica significa reduzir o seu peso e custo, o que são duas grandes barreiras técnicas para a aplicação de baterias de iões de lítio em veículos eléctricos. A energia específica de uma bateria pode ser determinada por vários factores, tais como, desenho das células, estrutura dos eléctrodos, potencial e capacidade dos eléctrodos [49-50]. Entre estes, a densidade de capacidade (mAhL^{-1}) do cátodo é um dos pontos mais críticos, já que a quantidade dos materiais activos, representa cerca de 40% do peso de uma célula de alta energia (table3).

A capacidade específica (mAhg^{-1}) do LiFePO_4 tem sido amplamente investigado, e capacidades muito perto do teórico (170mAhg^{-1}) são obtidas em vários materiais de LiFePO_4 (figura 2). Contudo a densidade energética das baterias está relacionada com a densidade de capacidade e não com a capacidade específica. Devido ao revestimento de carbono e à redução da dimensão



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento RegionalQUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE

PO REGIONAL DO NORTE

PO REGIONAL DO CENTRO

PO REGIONAL DO ALENTEJO

PO REGIONAL DE LISBOA

PO REGIONAL DO ALGARVE



COMPETE

das partículas a densidade dos pós de LiFePO_4 é geralmente baixa [44,51,52]. Uma densidade baixa reduz a densidade energética e aumenta as dimensões e custo das células, porque mais material é necessário, tal como, electrólito, separador e matérias para a caixa, como resultado acaba-se com menos material activo por área ou por volume. Os materiais de suporte representam uma larga parte da massa e custo da célula, como mostram as tabelas seguintes (table 3 e table 4). Portanto alta capacidade específica não resulta necessariamente a uma bateria de LiFePO_4 de alta densidade energética.

Table 3

Estimated material content of typical Li-ion cells [32].

Material/component	High-energy cell (100 Ah)		High-power cell (10 Ah)	
	Quantity (g)	wt. %	Quantity (g)	wt. %
Anode (dry)	785	23	56	17
Cathode (dry)	1610	47	93	29
Active material	1408	41	74	23
Electrolyte	618	18	44	13
Separators	60	1.8	16	5
Package (other)	358	10	115	35

Table 4

The estimated cost of major components in 18,650 cells with different cathodes [2].

Component/material	$\text{LiAl}_{0.05}\text{Co}_{0.15}\text{Ni}_{0.8}\text{O}_2$	LiCoO_2	LiMn_2O_4	LiFePO_4
Cathode	0.523	0.751	0.187	0.213
Anode	0.274	0.240	0.191	0.218
Electrolyte	0.267	0.296	0.296	0.276
Separator	0.174	0.156	0.130	0.140
Others	0.390	0.381	0.355	0.372
Total	1.628	1.824	1.159	1.219

Capacidade de ciclos e vida útil

As baterias com cátodos de LiFePO_4 , em testes de laboratório, já atingiram de 1500 a 2400 ciclos. Contudo, o desafio será de desenvolver métodos e protocolos para testes que possam efectivamente simular e prever a performance das baterias [65]. Para desenhar testes e métodos apropriados é necessário compreender o que provoca a degradação da capacidade em ambos os tipos de utilização, ciclagem (a conduzir) ou em armazenamento (parque).

Os possíveis mecanismos de degradação da capacidade das células de LiFePO_4 incluem os seguintes:



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento RegionalQUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013

agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE

COMPETE

- (1) perda de Li através de reacções laterais,
- (2) perda de material activo devido à fractura e dissolução,
- (3) subida da impedância da célula devido à formação de películas (SEI) (*surface-electrolite-interface*), e
- (4) degradação física da estrutura dos eléctrodos [64-69]. Entre estas a perdas Li devido à formação de películas SEI é considerado como a principal causa de perda de capacidade [70.71].

Estudos recentes indicam que a formação de películas SEI no ânodo de grafite nas células de LiFePO_4 é catalisada pela migração de depósitos de ferro do LiFePO_4 através do electrólito [65,66]. Foram observados precipitados de ferro na superfície do ânodo de grafite e no separador [66,72,73]. O grau de degradação aparenta estar relacionado com a quantidade de ferro acumulado no ânodo de grafite [72,74]. Acredita-se que estes iões se desprendem do material activo de LiFePO_4 devido à característica ácida da solução do electrólito. Foi descoberto que substituindo o sal LiPF_6 por sais menos ácidos, LiBOB ou LiAlO_4 resulta numa dissolução menor de iões e portanto a numa melhor retenção da capacidade [65,75].

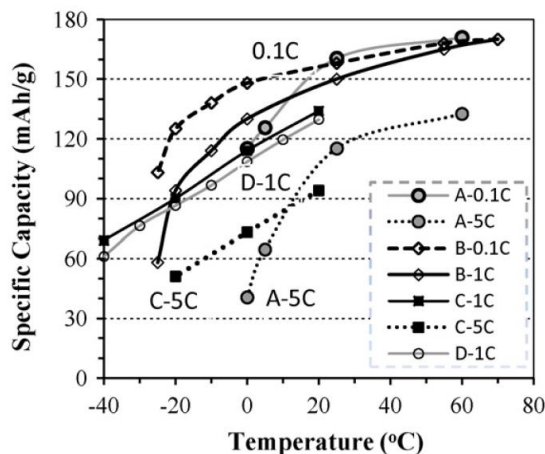


Figura 3 – Dependência da capacidade do LiFePO_4 / temperatura, materiais testados em meias-células com diferentes electrólitos: A: $\text{LiClO}_4/\text{EC-DMC}$ [118], B: $\text{LiPF}_6/\text{EC-DMC}$ [82], C: $\text{LiPF}_6/\text{EC-DMC-DED-EMC}$ [80], e D: $\text{LiBF}_4\text{-LiBOB/PC-EC-EMC}$ [81].

A taxa de dissolução de ferro no electrólito também depende da temperatura, tensão de “cut-off”, dos métodos de síntese, do conteúdo de impurezas e a dimensão das partículas de LiFePO_4 [65,72-78]. Temperaturas mais altas, tensão de “cut-off” mais elevada (4,2V), partículas mais pequenas, a presença de humidade e impurezas tal como $\text{Fe}_4(\text{P}_2\text{O}_7)_3$ provocam acréscimo na taxa de dissolução do ferro e consequentemente uma diminuição da capacidade mais rápida. A título



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento RegionalQUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013

agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE

COMPETE

de exemplo, a retenção da capacidade da célula LiFePO_4 /grafite caiu de 100% para 57% após 100 ciclos quando a temperatura aumentou de 25 para 37°C [65]. Substituindo o ânodo de grafite por Li metálico ou $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ melhorou a capacidade de retenção em cerca de 30% para 90% a 55°C após 100 ciclos. A capacidade de retenção também pode ser melhorada através da deposição de uma camada de óxidos ou polímeros no ânodo de grafite para retardar a deposição e decomposição do ferro [68,74,79]. A dissolução de Ferro tem alguns efeitos negativos, nomeadamente: catalisação da formação de uma camada SEI no ânodo, redução do inventário de material activo, aumento da resistência eléctrica. Fissuras também podem levar ao isolamento das partículas activas do electrólito ou das redes de condutividade [67]

Dependência da temperatura

A baixa performance das baterias de iões de lítio a baixa temperatura é um dos maiores desafios técnicos a solucionar para a aplicação em veículos eléctricos [1]. A operação espectável de veículos eléctricos é de -40 a +50°C. Observou-se que as capacidades específicas de LiFePO_4 caem rapidamente a baixa temperatura (especialmente abaixo dos -20°C), como ilustrado na figura 4. A influência da temperatura na capacidade é mais pronunciada a taxas de descarga mais elevadas. A perda de capacidade à baixa temperatura é atribuído à baixa condutividade do electrólito, baixa difusão de Li, e alta resistência de transferência entre o eléctrodo/electrólito [80-83]. Pode ver-se na figura 3, que a capacidade a baixa temperatura pode ser melhorada pela optimização dos sais de Li ou pelas soluções do electrólito (amostras C-D vs A-B)[80]. O uso de uma mistura de sais LiBF_4 -LiBOB no electrólito providencia uma capacidade mais elevada com uma elevada gama de temperaturas (-50 a +80°C) ao invés de apenas LiBF_6 [81]. A influência da fórmula do electrólito, películas de carbono, dimensão das partículas e a estrutura de superfície de LiFePO_4 a baixa temperatura pode ser alvo de um estudo mais detalhado por parte da comunidade científica. A influência da utilização continuada a baixa temperatura também ainda não está completamente compreendida. Um estudo a uma célula de LiFePO_4 /grafite com um electrolito de polímero-gel indica que a capacidade de ciclagem a 0°C é inferior do que a 25°C [84].



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento RegionalQUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013

agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE

COMPETE

A temperaturas altas, a capacidade específica é melhorada, devido ao aumento da taxa de difusão e da actividade de transferência de electrões [15,85]. Mas a utilização ou armazenamento das células de LiFePO_4 a alta temperatura resulta numa perda significativa da sua capacidade de ciclagem [65,71,83]. A principal causa é atribuída ao aumento da dissolução de iões de ferro das partículas de LiFePO_4 para o electrólito que por sua vez são depositados na superfície do ânodo de grafite. A deposição do ferro catalisa a formação de películas SEI, levando a um aumento da impedância eléctrica [65]. A altas temperaturas a estabilidade foi melhorada mediante o uso de um electrólito de LiBOB ou um ânodo de $\text{Li}_4\text{Ti}_5\text{O}_{12}$ [34,65].

Conclusões

As transformações de fase e performance electroquímica de variados tipos de LiFePO_4 foram apresentados face às necessidades para baterias de veículos eléctricos.

A vida do LiFePO_4 foi significativamente melhorada acima dos 2000 ciclos. A migração de Fe do cátodo para a superfície do ânodo de grafite através do electrólito é reportado como o principal efeito para a degradação da capacidade porque a deposição de ferro catalisa a formação de uma camada SEI no ânodo. Assim a vida cíclica/calendário tem que ser cuidadosamente analisada para a sua aplicação em veículos eléctricos. A performance a baixa temperatura do LiFePO_4 pode provavelmente ser melhorada desenvolvendo novas fórmulas para os electrólitos. Em ordem de ir ao encontro dos requisitos dos veículos eléctricos o custo das baterias de LiFePO_4 tem que descer e a sua densidade energética de subir.

Referências

- [1] D. Howell, DOE Energy Storage Research and Development, Annual Progress Report, 2008.
- [2] W.F. Howard, R.M. Spontnitz, J. Power Sources 165 (2007) 887.
- [3] A. Ritchie, W. Howard, J. Power Sources 162 (2006) 809.
- [4] J.M. Tarascon, M. Armand, Nature 414 (2001) 359.
- [5] M.S. Whittingham, MRS Bull. 33 (2008) 411.
- [6] T. Ohzuhu, R.J. Brodd, J. Power Sources 174 (2007) 449.
- [7] D. Jugovic, D. Uskokovic, J. Power Sources 190 (2009) 538.
- [8] B. Scrosati, J. Garche, J. Power Sources 195 (2010) 2419.
- [9] A.K. Pahlí, K.S. Nanjundaswamy, J.B. Goodenough, J. Electrochem. Soc. 144(1997) 1188.
- [10] J. Li, W. Yao, S. Martin, D. Vaknin, Solid State Ionics 179 (2008) 2016.
- [11] C.A. Fisher, V.M. Hart Prieto, M.S. Islam, Chem. Mater. 20 (2008) 5907.
- [12] A.S. Andersson, J.O. Thomas, J. Power Sources 97 (2001) 498.



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento RegionalQUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007-2013

agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE

- [13] A.S. Andersson, B. Kalska, L. Haggstrom, J.O. Thomas, *Solid State Ionics* 130 (2000) 41.
- [14] G. Atnold, J. Garche, R. Hemmer, S. Strobele, C. Vogler, M. Wohlfahrt-Mehrens, *J. Power Sources* 119 (2003) 247.
- [15] M. Takahashi, S. Tobishima, K. Takei, Y. Sakurai, *Solid State Ionics* 148 (2002) 283.
- [16] J.R. Dahn, E.W. Fuller, M. Obrovac, U. von Sacken, *Solid State Ionics* 69 (1994) 265.
- [17] X.C. Tang, L.X. Li, Q.L. Lai, X.W. Song, L.H. Jiang, *Electrochem. Acta* 54 (2009) 2329.
- [18] D. Morgan, A. Van der Ven, G. Ceder, *Electrochem. Solid-State Lett.* 7 (2004) A30.
- [19] A. Yamada, H. Koizumi, S.I. Nishimura, N. Sonoyama, R.J. Kanno, M. Yonemura, T. Nakamura, Y. Kobayashi, *Nat. Mater.* 5 (2006) 357.
- [20] V. Srinivasan, J. Newman, *J. Electrochem. Soc.* 151 (2004) A1517.
- [21] A. Yamada, H. Koizumi, N. Sonoyama, R. Kanno, *Electrochem. Solid State Lett.* 8 (2005) A409.
- [22] J.L. Dodd, R. Yamazi, B. Fultz, *Electrochem. Solid State Lett.* 9 (2006) A151.
- [23] C. Delacourt, P. Poizot, J.M. Tarascon, C. Masquelier, *Nat. Mater.* 4 (2005) 254.
- [24] N. Meethong, H.S. Huang, S.A. Speakman, W.C. Carter, Y.M. Chiang, *Adv. Funct. Mater.* 17 (2007) 1115.
- [25] M. Wagemaker, F.M. Mulder, A. Van der Ven, *Adv. Mater.* 21 (2009) 2703.
- [26] N. Meethong, H.S. Huang, W.C. Carter, Y.M. Chiang, *Electrochem. Solid State Lett.* 10 (2007) A134.
- [27] G. Chen, X. Song, T.J. Richardson, *Electrochem. Solid State Lett.* 9 (2006) A295.
- [28] L. Laffont, C. Delacourt, P. Gibot, M.Y. Wu, P. Kooyman, C. Masquelier, J.M. Tarascon, *Chem. Mater.* 18 (2006) 5520.
- [29] C.V. Ramana, A. Mauger, F. Gendron, C.M. Julien, K. Zaghib, *J. Power Sources* 187 (2009) 555.
- [30] C. Delmas, M. Maccario, L. Croguennec, F. Le Cras, F. Weill, *Nat. Mater.* 7 (2008) 665.
- [31] J.L. Allen, T.R. Jow, J. Wolfenstine, *Chem. Mater.* 19 (2007) 2108.
- [32] L. Gaines, R. Cuenca, Cost of lithium-ion batteries for vehicles, Report #ANL/ESD-42, Argonne National Laboratory, May 2000.
- [33] P. Gibot, M. Casas-Cabanas, L. Laffont, S. Levasseur, P. Carlach, S. Hamelet, J.M. Tarascon, C. Masquelier, *Nat. Mater.* 7 (2008) 741.
- [34] F. Mestre-Aizpurua, S. Hamelet, C. Masquelier, M.R. Palacin, *J. Power Sources* 195 (2010) 6897.
- [35] H.H. Chang, C.C. Chang, H.C. Wu, M.H. Yang, H.S. Sheu, N.L. Wu, *Electrochem. Commun.* 10 (2008) 335.
- [36] H.C. Shin, K.Y. Chuang, W.S. Min, D.J. Byun, H. Jang, B.W. Cho, *Electrochem. Commun.* 10 (2008) 536.
- [37] W.J. Zhang, *J. Power Sources* 196 (2011) 877.
- [38] M. Wagemaker, W.J.H. Borghols, F.M. Mulder, *J. Am. Chem. Soc.* 129 (2007) 4323.
- [39] R. Dominko, M. Gaberscek, J. Drogenik, M. Bele, S. Pejovnik, J. Jamnik, *J. Power Sources* 119–121 (2003) 770.
- [40] S.Y. Chung, J.T. Bloking, Y.T. Chiang, *Nat. Mater.* 1 (2002) 123.
- [41] F. Yu, J. Zhang, Y. Yang, G. Song, *J. Power Sources* 189 (2009) 794.
- [42] C. Delacourt, P. Poizot, S. Levasseur, C. Masquelier, *Electrochem. Solid-State Lett.* 9 (2006) A352.
- [43] D. Zane, M. Carewska, S. Scaccia, F. Cardellini, P.P. Prosini, *Electrochem. Acta* 49 (2004) 4259.
- [44] Z. Chen, J.R. Dahn, *J. Electrochem. Soc.* 149 (2002) A1184.
- [45] W.J. Zhang, *J. Electrochem. Soc.* 157 (2010) A1040.
- [46] G. Ceder, B. Kang, *J. Power Sources* 194 (2009) 1024.
- [47] K. Zaghib, J.B. Goodenough, A. Mauger, C. Julien, *J. Power Sources* 194 (2009) 1021.
- [48] B.K. Kang, G. Ceder, *Nature* 458 (2009) 190.
- [49] A. Awarke, S. Lauer, S. Pischinger, M. Wittler, *J. Power Sources* 196 (2011) 405.
- [50] W. Lu, A. Jansen, D. Dees, P. Nelson, N.R. Veselka, G. Henriksen, *J. Power Sources* 196 (2011) 1537.
- [51] S.W. Oh, S.T. Myung, S.M. Oh, C.S. Yoon, K. Amine, Y.K. Sun, *Electrochem. Acta* 55 (2010) 1193.
- [52] S.T. Yang, N.H. Zhao, H.Y. Dong, J.X. Yang, H.Y. Yue, *Electrochem. Acta* 51 (2005) 166.
- [53] P. He, H. Wang, L. Qi, T. Osaka, *J. Power Sources* 158 (2006) 529.
- [54] Z.R. Chang, H.J. Lv, H.W. Tang, H.J. Li, X.Z. Yuan, H. Wang, *Electrochem. Acta* 54 (2009) 4595.
- [55] J.M. Chen, C.H. Hsu, Y.R. Lin, M.H. Hsiao, G.T. Fey, *J. Power Sources* 184 (2008) 498.
- [56] J.F. Ni, H.H. Zhou, J.T. Chen, X.X. Zhang, *Mater. Lett.* 61 (2007) 1260.
- [57] L.Q. Sun, R.H. Cui, A.F. Jalbout, M.J. Li, X.M. Pan, R.S. Wang, H.M. Xie, *J. Power Sources* 189 (2009) 522.
- [58] J. Liu, J. Wang, X. Yan, X. Zhang, G. Yang, A.F. Jalbout, R. Wang, *Electrochem. Acta* 54 (2009) 5656.
- [59] M.E. Zhong, Z.T. Zhou, *Mater. Chem. Phys.* 119 (2010) 428.
- [60] Y.J. Gu, C.S. Zeng, H.K. Wu, H.Z. Cui, X.W. Huang, X.B. Liu, C.L. Wang, Z.N. Yang, H. Liu, *Mater. Lett.* 61 (2007) 4700.
- [61] S.B. Peterson, J. Apt, J.F. Whiteacre, *J. Power Sources* 195 (2010) 2385.
- [62] X. Yan, G. Yang, J. Liu, Y. Ge, H. Xie, X. Pan, R. Wang, *Electrochem. Acta* 54 (2009) 770.
- [63] M. Dubarry, V. Svoboda, R. Hwu, B.Y. Liaw, *J. Power Sources* 174 (2007) 366.
- [64] J. Shim, K.A. Striebel, *J. Power Sources* 119 (2003) 955.
- [65] K. Amine, J. Liu, I. Belharouak, *Electrochem. Commun.* 7 (2005) 669.
- [66] K. Striebel, J. Shim, A. Sierra, H. Yang, X. Song, R. Kostecki, K. McCarthy, *J. Power Sources* 146 (2005) 33.
- [67] D. Wang, X. Wu, Z. Wang, L. Chen, *J. Power Sources* 140 (2005) 125.
- [68] H.H. Chang, H.C. Wu, N.L. Wu, *Electrochem. Commun.* 10 (2008) 1823.
- [69] Q. Zhang, R.E. White, *J. Power Sources* 173 (2007) 990.
- [70] M. Dubarry, B.Y. Liaw, *J. Power Sources* 194 (2009) 541.



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



QUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007-2013



PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE



- [71] M. Dubarry, B.Y. Liaw, M.S. Chen, S.S. Chyan, K.C. Han, W.T. Sie, S.H. Wu, J. Power sources (2011), doi:10.1016/j.jpowsour.2010.07.029 (article online).
- [72] H.F. Jin, Z. Liu, Y.M. Teng, J.K. Gao, Y. Zhao, J. Power Sources 189 (2009) 445.
- [73] K. Zaghbi, N. Ravet, M. Gauthier, F. Gendron, A. Mauger, J.B. Goodenough, C.M. Julien, J. Power Sources 163 (2006) 560.
- [74] Y. Yang, X.Z. Liao, Z.F. Ma, B.F. Wang, L. He, Y.S. He, Electrochem. Commun. 11 (2009) 1277.
- [75] M. Koltypin, D. Aurbach, L. Nazar, B. Ellis, J. Power Sources 174 (2007) 1241.
- [76] D. Aurbach, B. Markovsky, G. Salitra, E. Markevich, Y. Talyossef, M. Koltypin, L. Nazar, B. Ellis, D. Kovacheva, J. Power Sources 165 (2007) 491.
- [77] X. Zhi, G. Liang, L. Wang, X. Ou, J. Zhang, J. Cui, J. Power Sources 189 (2009) 779.
- [78] N. Iltchev, Y. Chen, S. Okada, J. Yamaki, J. Power Sources 119 (2003) 749.
- [79] G.M. Song, Y. Wu, G. Liu, Q. Xu, J. Alloys Compd. 487 (2009) 214.
- [80] X.Z. Liao, Z.F. Ma, Q. Gong, Y.S. He, L. Pei, L.J. Zeng, Electrochem. Commun. 10 (2008) 691.
- [81] S.S. Zhang, K. Xu, T.R. Jow, J. Power Sources 159 (2006) 702.
- [82] S. Franger, C. Benoit, C. Bourbon, F. Le Cras, J. Phys. Chem. Solids 67 (2006) 1338.
- [83] H.S. Kim, B.W. Cho, W.I. Cho, J. Power Sources 132 (2004) 235.
- [84] K. Zaghbi, K. Striebel, A. Guerfi, J. Shim, M. Armand, M. Gauthier, Electrochem. Acta 50 (2004) 263.
- [85] S.H. Wu, K.M. Hsiao, W.R. Liu, J. Power Sources 146 (2005) 550.
- [86] C.R. Sides, F. Croce, V.Y. Young, C.R. Martin, B. Scrosati, Electrochem. Solid State Lett. 8 (2005) A484.
- [87] G.T. Fey, Y.G. Chen, H.M. Kao, J. Power Sources 189 (2009) 169.
- [88] D.H. Kim, J. Kim, Electrochem. Solid-State Lett. 9 (2006) A439.
- [89] M. Gaberscek, R. Dominko, J. Jamnik, Electrochem. Commun. 9 (2007) 2778.
- [90] J. Jamnik, J. Maier, Phys. Chem. Chem. Phys. 5 (2003) 5215.
- [91] G.X. Wang, S. Needham, J. Yao, J.Z. Wang, R.S. Liu, H.K. Liu, J. Power Sources 159 (2006) 282.
- [92] J. Ying, M. Lei, C. Jiang, C. Wan, X. He, J. Li, L. Wang, J. Ren, J. Power Sources 158 (2006) 543.
- [93] M.R. Roberts, G. Vintins, J.R. Owen, J. Power Sources 179 (2008) 754.
- [94] Y. Wen, L. Zeng, Z. Tong, L. Nong, W. Wei, J. Alloys. Compd. 416 (2006) 206.
- [95] M. Zhang, L.F. Jiao, H.T. Yuan, Y.M. Wang, J. Guo, M. Zhao, W. Wang, X.D. Zhou, Solid State Ionics 177 (2006) 3309.
- [96] D. Wang, H. Li, S. Shi, X. Huang, L. Chen, Electrochem. Acta 50 (2005) 2955.
- [97] R. Yang, X. Song, M. Zhao, F. Wang, J. Alloys Compd. 468 (2009) 365.
- [98] G.X. Wang, S.L. Bewlay, K. Konstantinov, H.K. Liu, S.X. Dou, J.H. Ahn, Electrochem. Acta 50 (2004) 443.
- [99] H.C. Shin, S.B.H. Park, J.K.Y. Chuang, W. Cho, C.S. Kim, B.W. Cho, Electrochim. Acta 53 (2008) 7946.
- [100] T.H. Teng, M.R. Yang, S.H. Wu, Y.P. Chiang, Solid State Commun. 142 (2007) 389.
- [101] X.Z. Liao, Y.S. He, Z.F. Ma, X.M. Zhang, L. Wang, J. Power Sources 174 (2007) 720.
- [102] C.S. Sun, Y. Zhang, X.J. Zhang, Z. Zhou, J. Power Sources 195 (2010) 3680.
- [103] C.S. Sun, Z. Zhou, Z.G. Xu, D.G. Wang, J.P. Wei, X.K. Bian, J. Yan, J. Power Sources 193 (2009) 841.
- [104] N. Ravet, A. Abouimrane, M. Armand, Nat. Mater. 2 (2003) 702.
- [105] C. Delacourt, C. Wurm, L. Laffont, J.B. Leriche, C. Masquelier, Solid State Ionics 177 (2006) 333.
- [106] P.S. Herle, B. Ellis, N. Coombs, L.F. Nazar, Nat. Mater. 3 (2004) 147.
- [107] J. Xu, G. Chen, Physica B 405 (2010) 803.
- [108] M. Wagemaker, B.L. Ellis, D. Lutzenkirchen-Hecht, F.M. Mulder, L.F. Nazar, Chem. Mater. 20 (2008) 6313.
- [109] H. Huang, S.C. Yin, L.F. Nazar, Electrochem. Solid State Lett. 4 (2001) A170.
- [110] M.M. Doeff, Y. Hu, F. McLarnon, R. Kostecki, Electrochem. Solid State Lett. 6 (2003) A207.
- [111] Y. Kadoma, J.M. Kim, K. Abiko, K. Ohtsuki, K. Ui, N. Kumagai, Electrochem. Acta 55 (2010) 1034.
- [112] M.M. Doeff, J.D. Wilcox, R. Kostecki, G. Lau, J. Power Sources 163 (2006) 180.
- [113] S.T. Myung, S. Komaba, N. Hirosaki, H. Yashiro, N. Kumagai, Electrochem. Acta 49 (2004) 4213.
- [114] J.K. Kim, G. Cheruvally, J.H. Ahn, G.C. Hwang, J.B. Choi, J. Phys. Chem. Solids 69 (2008) 2371.
- [115] Y. Ding, Y. Jiang, F. Xu, J. Yin, H. Ren, Q. Zhuo, Z. Long, P. Zhang, Electrochem. Commun. 12 (2010) 10.
- [116] M.A.E. Sanchez, G.E.S. Brito, M.C.A. Fantini, G.F. Goya, J.R. Matos, Solid State Ionics 177 (2006) 497.
- [117] Y. Lin, M.X. Gao, D. Zhu, Y.F. Liu, H.G. Pan, J. Power Sources 184 (2008) 444.
- [118] S.A. Needham, A. Calka, G.X. Wang, A. Mosbah, H.K. Liu, Electrochem. Commun. 8 (2006) 434.
- [119] K. Wang, R. Cai, T. Yuan, X. Yu, R. Ran, Z. Shao, Electrochem. Acta 54 (2009) 2861.
- [120] G.R. Hu, X.G. Gao, Z.D. Peng, K. Du, Y.J. Liu, Chin. Chem. Lett. 18 (2007) 337.
- [121] Y.H. Nien, J.R. Carey, J.S. Chen, J. Power Sources 193 (2009) 822.
- [122] Y.D. Cho, G.T.K. Fey, H.M. Kao, J. Power Sources 189 (2009) 256.
- [123] R. Dominko, M. Bele, M. Gaberscek, M. Remskar, D. Hanzel, S. Pejovnik, J. Jamnik, J. Electrochem. Soc. 152 (2005) A607.
- [124] S.S. Zhang, J.L. Allen, K. Xu, T.R. Jow, J. Power Sources 147 (2005) 234.
- [125] G. Liang, L. Wang, X. Ou, X. Zhao, S. Xu, J. Power Sources 184 (2008) 538.
- [126] J.K. Kim, G. Cheruvally, J.H. Ahn, H.J. Ahn, J. Phys. Chem. Solids 69 (2008) 1257.
- [127] C. Lai, Q. Xu, H. Ge, G. Zhou, J. Xie, Solid State Ionics 179 (2008) 1736.
- [128] H.C. Shin, W.I. Cho, H. Jang, Electrochem. Acta 52 (2006) 1472.



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento RegionalQUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007-2013

agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE

- [129] K. Kim, J.H. Jeong, I.J. Kim, H.S. Kim, J. Power Sources 167 (2007) 524.
 [130] Z.Y. Chen, H.L. Zhu, S. Ji, R. Fakir, V. Linkov, Solid State Ionics 179 (2008) 1810.
 [131] V. Palomares, A. Goni, I.G. de Muro, I. de Meatza, M. Bengoechea, I. Cantero, T. Rojo, J. Power Sources 195 (2010) 7661.
 [132] A. Fedorkova, A. Nacher-Alejos, P. Gomez-Romero, R. Orinakova, D. Kaniansky, Electrochim. Acta 55 (2010) 943.
 [133] S.J. Kwon, C.W. Kim, W.T. Jeong, K.S. Lee, J. Power Sources 137 (2004) 93.
 [134] J.K. Kim, G. Cheruvally, J.W. Choi, J.U. Kim, J.H. Ahn, G.B. Cho, K.W. Kim, H.J. Ahn, J. Power Sources 166 (2007) 211.
 [135] M. Konarova, I. Taniguchi, J. Power Sources 194 (2009) 1029.
 [136] S. Franger, F. Le Cras, C. Bourbon, H. Rouault, J. Power Sources 119 (2003) 252.
 [137] H.C. Kang, D.K. Jun, B. Jin, E.M. Jin, K.H. Park, H.B. Gu, K.W. Kim, J. Power Sources 179 (2008) 340.
 [138] C.H. Mi, X.G. Zhang, X.B. Zhao, H.L. Li, J. Alloys Compd. 424 (2006) 327.
 [139] M. Higuchi, K. Katayama, Y. Azuma, M. Yukawa, M. Suhara, J. Power Sources 119 (2003) 258.
 [140] A.V. Murugan, T. Muraliganth, A. Manthiram, Electrochem. Commun. 10 (2008) 903.
 [141] S. Beninati, L. Damen, M. Mastragostino, J. Power Sources 180 (2008) 875.
 [142] J. Barker, M.Y. Saidi, J.L. Swoyer, Electrochem. Solid State Lett. 6 (2003) A53.
 [143] C.W. Kim, M.H. Lee, W.T. Jeong, K.S. Lee, J. Power Sources 146 (2005) 534.
 [144] L.Wang, G.C. Liang, X.Q. Ou, X.K. Zhi, J.P. Zhang, J.Y. Cui, J. Power Sources 189 (2009) 423.
 [145] H.P. Liu, Z.X. Wang, X.H. Li, H.J. Guo, W.J. Peng, Y.H. Zhang, Q.Y. Hu, J. Power Sources 184 (2008) 469.
 [146] S. Yang, P.Y. Zavalij, M.S. Whittingham, Electrochem. Commun. 3 (2001) 505.
 [147] J. Chen, M.J. Vacchio, S. Wang, N. Chernova, P.Y. Zavalij, M.S. Whittingham, Solid State Ionics 178 (2008) 1676.
 [148] S. Tajimi, Y. Ikeda, K. Uematsu, K. Teda, M. Sato, Solid State Ionics 175 (2004) 287.
 [149] G. Meligrana, C. Gerbaldi, A. Tuel, S. Bodoardo, N. Penazzi, J. Power Sources 160 (2006) 516.
 [150] K. Dokko, S. Koizumi, K. Shiraishi, K. Kanamura, J. Power Sources 165 (2007) 656.
 [151] M.R. Yang, W.H. Ke, S.H. Wu, J. Power Sources 146 (2005) 539.
 [152] J.K. Kim, J.W. Choi, G.S. Chauhan, J.H. Ahn, G.C. Hwang, G.B. Choi, H.J. Ahn, Electrochem. Acta 53 (2008) 8258.
 [153] R. Dominko, M. Bele, M. Gaberscek, M. Remskar, D. Hanzel, J.M. Goupil, S. Pejovnik, J. Jamnik, J. Power Sources 153 (2006) 274.
 [154] H. Liu, J. Xie, K. Wang, J. Alloys Compd. 459 (2008) 521.
 [155] D. Choi, P. Kumta, J. Power Sources 163 (2007) 1064.
 [156] F. Gao, Z. Tang, J. Xue, Electrochem. Acta 53 (2007) 1939.
 [157] S.L. Bewlay, K. Konstantinov, G.X. Wang, S.X. Dou, H.K. Liu, Mater. Lett. 58 (2004) 1788.
 [158] L.N. Wang, Z.G. Zhang, K.L. Zhang, J. Power Sources 167 (2007) 200.
 [159] L.N. Wang, X.C. Zhan, Z.G. Zhang, K.L. Zhang, J. Alloys Compd. 456 (2008) 461.
 [160] H. Liu, D. Tang, Solid State Ionics 179 (2008) 1897.
 [161] M. Maccario, L. Croguennec, A. Wattiaux, E. Suard, F. Le Cra, C. Delmas, Solid State Ionics 179 (2008) 2020.
 [162] M. Maccario, L. Croguennec, F. Weill, F. Le Cra, C. Delmas, Solid State Ionics 179 (2008) 2383

Ensaio da bateria

Para o desenvolvimento do sistema B.M.S. foi testada uma bateria LiFePO_4 de 40Ah da China Aviation Litium Battery, com uma carga electrónica para efectuar os teste de descarga e foi utilizado LabView em conjunto com uma placa de aquisição de sinais NI USB-6009 DAQ, um dispositivo USB que permite o interface do programa em LabView e o *hardware* para carregamento/descarregamento da bateria a testar, sendo desenvolvido um programa específico para realizar as tarefas necessárias.



UNIÃO EUROPEIA
Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



QUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013

adi
agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE

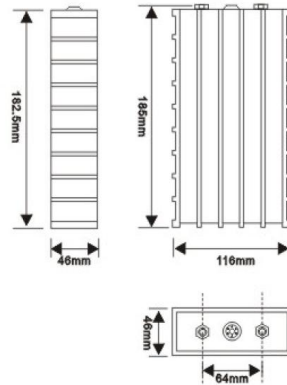


COMPETE

规格型号: SE40AHA
Specification: SE40AHA



单体电池尺寸 Battery Dimension



放电曲线图 Discharge Curve

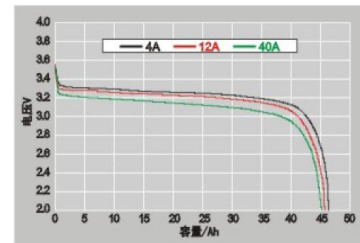


Figura 4 – Características do fabricante, da China Aviation Litium Battery de 40 Ah

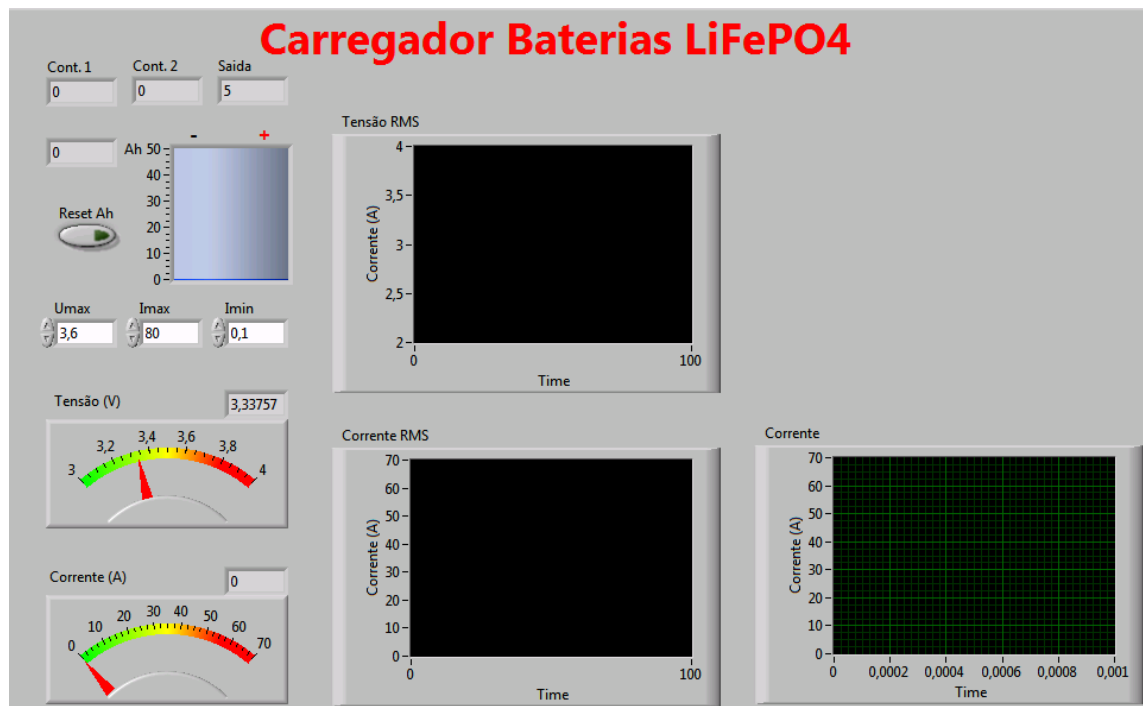


Figura 5 – Vista do painel frontal criado em LabView

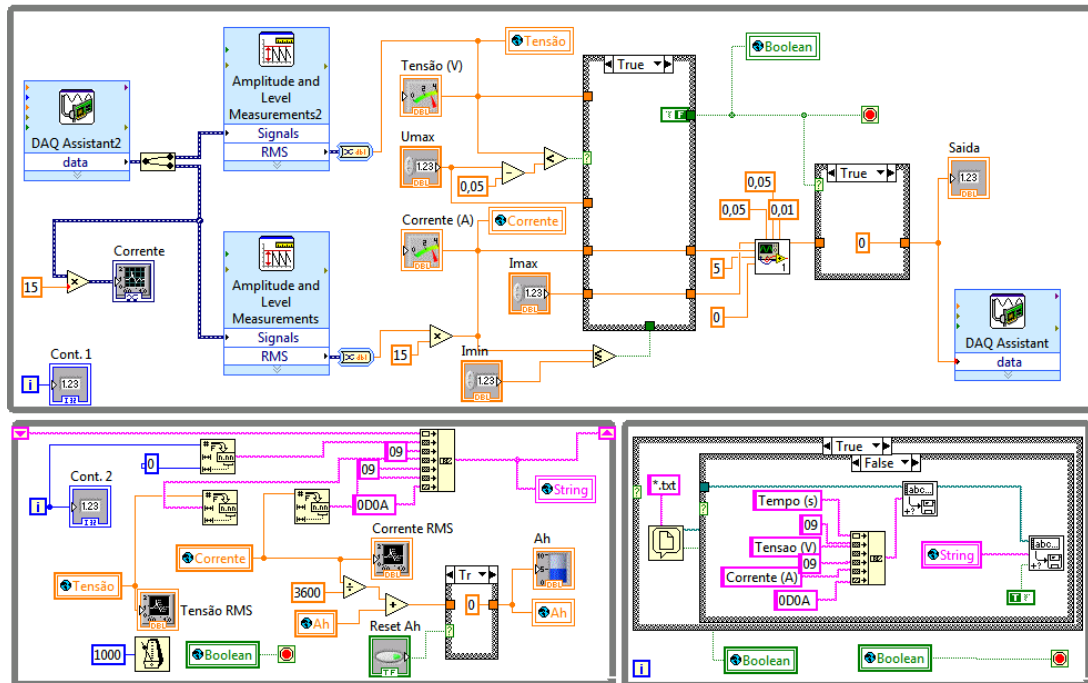


Figura 6 – Diagrama de blocos do programa realizado em LabView

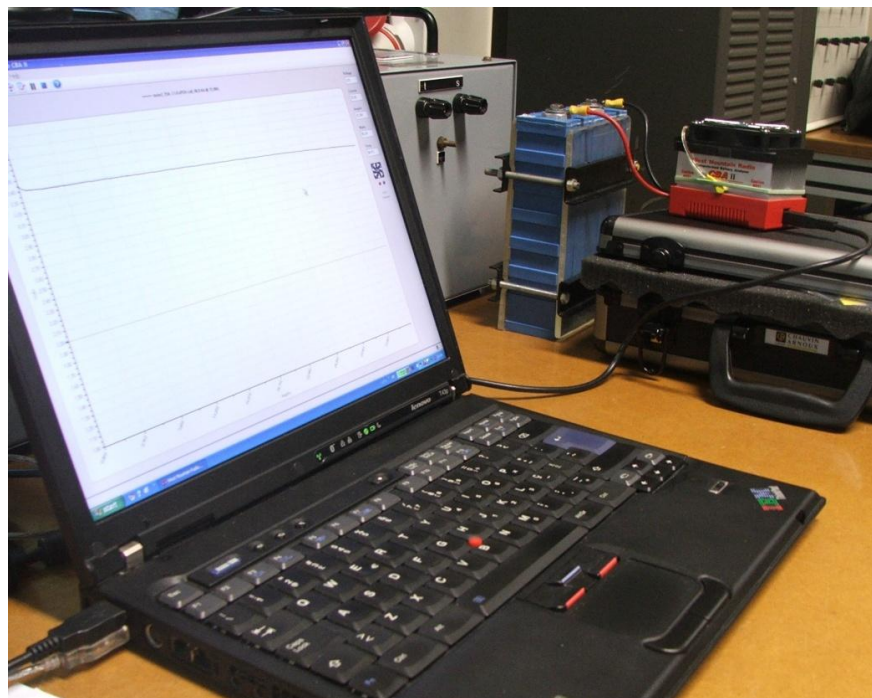


Figura 7 – Teste de descarga , bateria China Aviation Litium Battery 40Ah (LiFePO₄)



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



QUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013

adi 
agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE



COMPETE



Figura8 – Teste de carga, bateria da China Aviation Litium Battery de 40 Ah (LiFePO_4).

Foi possível testar a bateria até cerca de 25A de descarga (0,6C), sendo que na bateria de 40Ah , observou-se que a tensão é relativamente constante, variando entre os 3,30 V e 3,15V entre o início da descarga e até atingir os 40Ah. Segundo as indicações do fabricante é possível descarregar a bateria até 2,5V. Nessa situação verifica-se que a capacidade efectiva da bateria é de aproximadamente 47 Ah, cerca de 18 % acima da capacidade indicada. Isto deve-se principalmente as tolerâncias inerentes ao fabrico destas baterias, assim sendo todas as baterias terão diferentes capacidades e esse factor não pode ser ignorado.



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



QUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013

adi
agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE



COMPETE

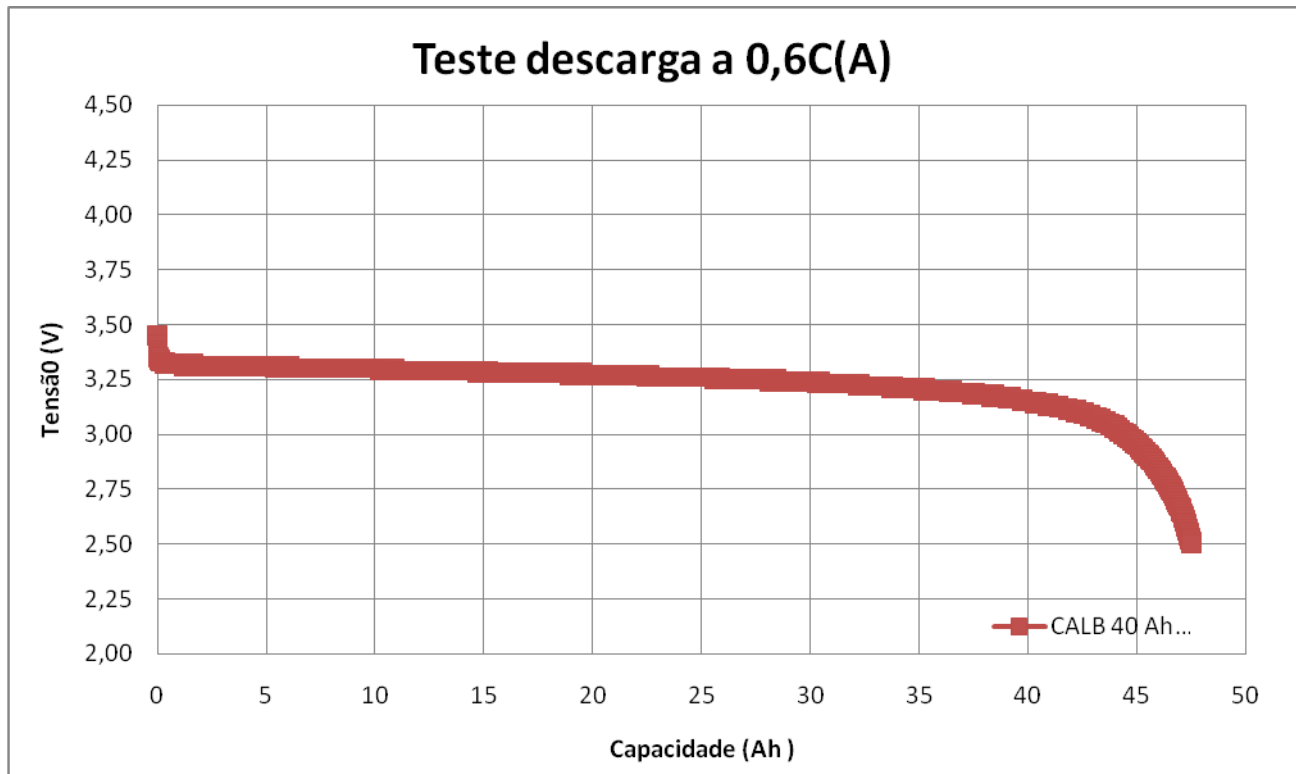


Figura9 – Teste de descarga a 0,6C(A) (25A) .

No Projecto VEECO serão utilizadas baterias da ThunderSky de LiFePO_4 3,2V 160Ah (TS-LFP160AHA). Estas são semelhantes à bateria testada anteriormente, mas é necessário testar e verificar a possibilidade de elaborar o seu modelo matemático para prever o seu comportamento e realizar simulações de autonomia.



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



QUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013

adi 
agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE



COMPETE



Figura 10 – Bateria de LiFePO₄, da ThunderSky de 160 Ah (TS-LFP160AHA).

Teste em pista

Foram efectuados testes em pista de um kart, utilizando a mesma tecnologia de baterias, sendo utilizadas baterias de 100Ah da ThunderSky (TS-LFP100AHA), durante os testes verificou-se que os terminais da bateria 9 registavam uma temperatura superior a qualquer um dos restantes, as ligações foram reapertadas, mas chegou-se à conclusão que o problema não era as ligações mas a própria bateria que estava abaixo do valor mínimo do fabricante (2,8V). Apesar disso deu-se seguimento ao teste de modo a analisar as consequências.

A bateria atingiu cerca de 100° Célsius e a válvula de segurança abriu libertando algum do electrólito, apesar das condições de abuso a bateria comportou-se como esperado, sem libertação de fumo e/ou efeito de fuga térmica.



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional



QUADRO DE REFERÊNCIA ESTRATÉGICO NACIONAL PORTUGAL 2007.2013



PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE



COMPETE

O ensaio confirma que estas baterias são bastante seguras, não sendo necessários cuidados em especial para garantir a segurança dos utilizadores das mesmas, fazendo com que sejam uma escolha assertiva para aplicações automóveis.

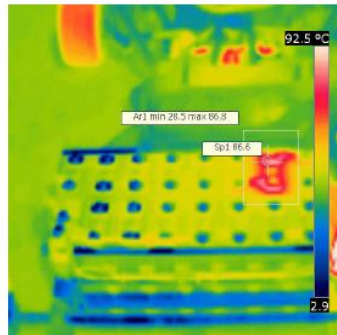


Relatório de análise

Data do relatório 17-07-2010

Empresa ISEL
Endereço LISBOA
Operador de termografia Nuno Rodeia

Cliente VE
Endereço do site ENTRONCAMENTO
Pessoa a contactar João Oliveira



Parâmetros da imagem e do objecto		Comentário de texto	
Modelo de câmara	FLIR i50	Confirmação BAT NOK	87°C
Data da imagem	17-07-2010 11:12:52	Temp. Ambiente	35°C
Nome da imagem	IR_1348.jpg		
Emissividade	0,78		
Temperatura reflectida	20,0 °C		
Distância do objecto	1,5 m		
Descrição			
Confirmação defeito das baterias detectadas.			

Figura 11 – Ensaio do kart com baterias de 100Ah da ThunderSky.




UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento RegionalQUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE

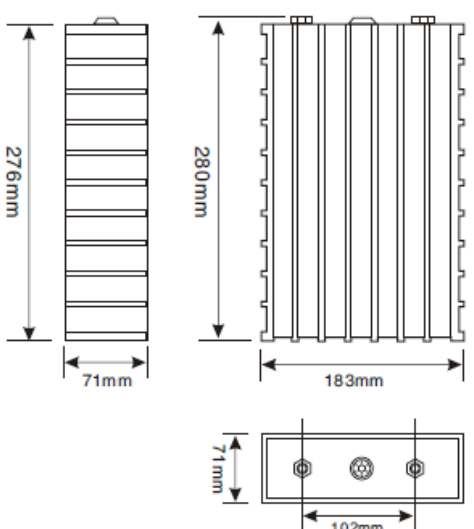
COMPETE

Deste ensaio é possível entender que um sistema de monitorização é necessário para manter as baterias dentro dos valores recomendados do fabricante, impedindo a utilização no caso dos limites serem atingidos, que para as baterias da ThunderSky o fabricante especifica entre os 4,0V em carga e 2,8V em descarga.

單體電池尺寸
DIMENSIONS



型号(MODEL): TS-LFP160AHA



技術參數
SPECIFICATIONS

型号(MODEL): TS-LFP160AHA

標稱容量 Nominal Capacity	160Ah	
工作電壓 Operation Voltage	充電 (Charge)	4.0V
	放電 (Discharge)	2.8V
最大充電電流 Max Charge Current	≤3CA	
最大放電電流 Max Discharge Current	恒電流 (Constant Current)	≤ 3CA
	脈衝式 (Impulse Current)	≤ 20CA
標準充放電電流 Standard Charge/Discharge Current	0.5CA	
循環壽命 Cycle Life	(80DOD%)	≥3000Times
	(70DOD%)	≥5000Times
殼體耐溫性 Temperature Durability Of Case	≤200°C	
適應環境 Operating Temperature	充電 (Charge)	-45°C~85°C
	放電 (Discharge)	-45°C~85°C
自放電率(月) Self-discharge Rate	≤3% (Monthly)	
單體電池重量 Weight	5.6kg ± 100g	

Figura 12 – Folha de características da bateria de ThunderSky de 160Ah (TS-LFP160AHA).



Esquemas para elaboração de um BMS

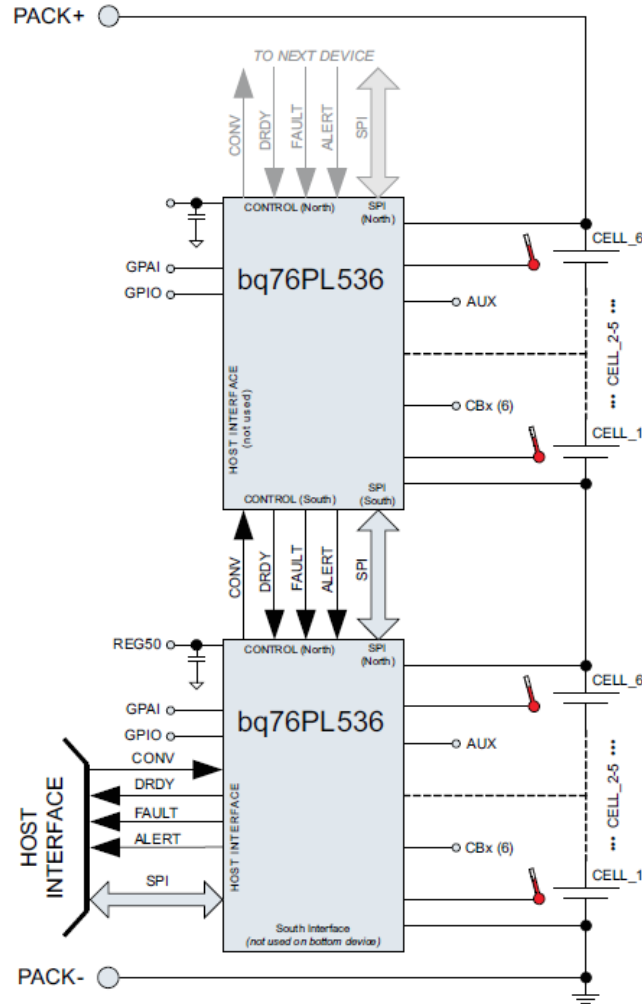


Figura 13 - Solução da Texas Instruments para monitorização e balanceamento de bateria de lítio.



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional

QUADRO DE REFERÊNCIA ESTRATÉGICO NACIONAL PORTUGAL 2007.2013

adi agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE PO REGIONAL DO NORTE PO REGIONAL DO CENTRO PO REGIONAL DO ALENTEJO PO REGIONAL DE LISBOA PO REGIONAL DO ALGARVE



COMPETE

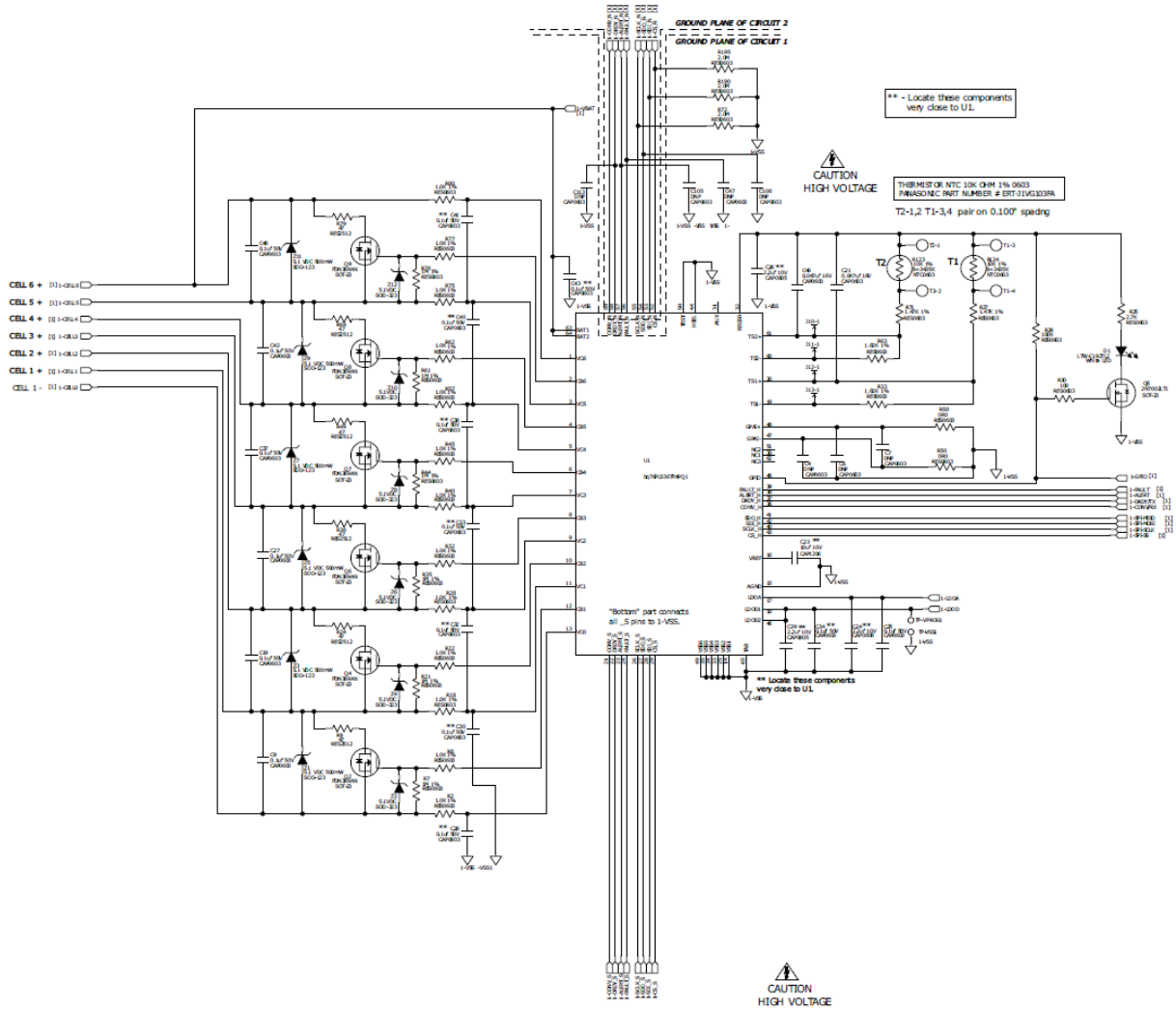


Figura 14 - Solução da Texas Instruments para monitorização e balanceamento de bateria de lítio.

O esquema acima apresentado representa o sistema de B.M.S. que permitirá recolher dados para análise posterior e verificar as prestações das baterias em uso real. De seguida com esses dados o protótipo poderá evoluir e adequar-se melhor à monitorização, protecção e indicação de estado de carga das baterias.

Este protótipo tem por objectivo impedir a descarga inadvertida das baterias, e no caso de anomalia avisar o utilizador.



Uma função exclusiva da Texas Instruments denominado por PowerPump™, é uma tecnologia que permite o balanceamento permanente das baterias. Esta poderá não ser a solução mais indicada, pois mantém a célula mais fraca das baterias sobre contaste balanceamento, podendo assim levar à falha prematura da mesma e/ou uma significativa diminuição do seu tempo útil de vida. Assim sendo a solução em estudo é mais simples, não incorporando essa tecnologia o que por sua vez também será mais económico.

Por outro lado a consistência e qualidade das baterias fabricadas pela ThunderSky, tem vindo a melhorar significativamente sendo expectável que cada vez menos se justificará o balanceamento activo das células, sendo que o possível aumento de autonomia será cada vez menor à medida que a qualidade e consistência das células vai melhorando.

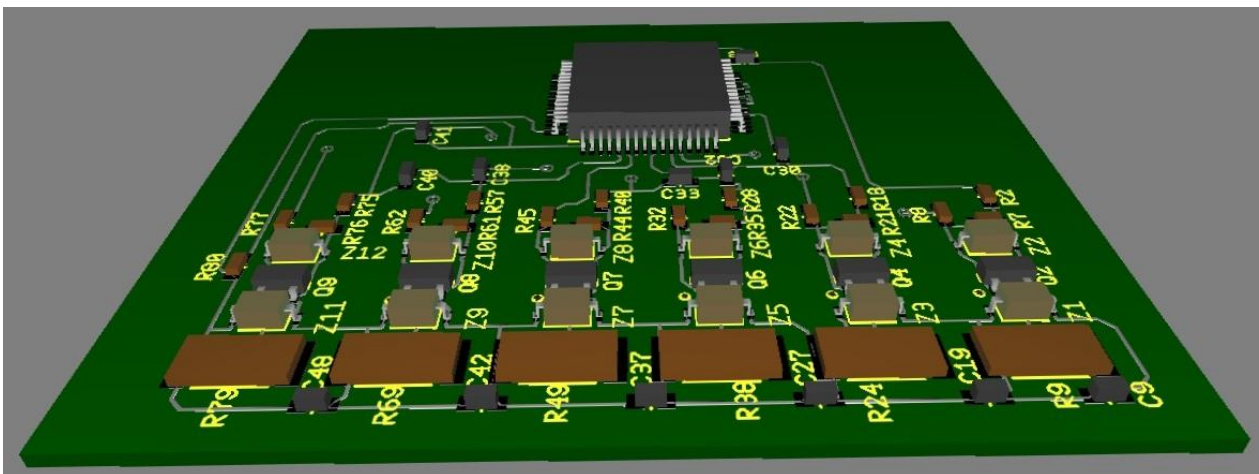


Figura 12 – Pré visualização parcial da PCB para implementação do B.M.S.

Conclusões

Os estudos realizados permitiram seleccionar as baterias a usar no projecto, bem como manter as mesmas em boas condições de funcionamento, garantindo a segurança na utilização.



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento RegionalQUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013

agência de inovação

PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE

COMPETE

Apesar da tecnologia das baterias de LiFePO_4 ser bastante segura é sempre necessário garantir a sua utilização correcta em conjunto com um sistema B.M.S. para evitar eventuais abusos (sobrecargas e sobre-descargas) e por consequência ter prejuízos para o seu utilizador.

Será possível utilizar este sistema com outros tipos de baterias de iões de lítio, nomeadamente LiCoO_2 , dado que os preços das mesmas continuam a descer, tornando-se uma hipótese viável em veículos eléctricos, bem como outras tecnologias de sistemas de armazenamento de energia que possam ficar disponíveis comercialmente no decorrer deste projecto.

Bibliografia

- Pop V., Bergveld H.J., Notten P.H.L., Regtien P.P.L., *State-of-the-art of battery state-of-charge determination*, Institute of Physics Publishing, Measurement Science and Technology, 2005
- Berdichevsky G., *The Tesla Roadster battery system*, Tesla Motors, San Carlos, August 2006
- Pop V., Bergveld H.J., Danilov D., Notten P.P.H., Regtien P.P.L., *Adaptive state-of-charge indication system for Li-ion battery-powered devices*, The world electric vehicle association journal, Vol 1, 2007
- Coleman M., Chi Kwan Lee, Chunbo Zhu, Hurley W.G., *State-of-charge determination from EMF voltage estimation: Using impedance, terminal voltage, and current for Lead-acid and Lithium-Ion Batteries*, IEEE Transaction on industrial electronics, vol. 54, 2007



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



QUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013



PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE



COMPETE

- Tredeau F.P., Salameh Z.M., *Evaluation of Lithium Iron Phosphate Batteries for Electric Vehicles Application*, University of Massachusetts Lowell Department of Electrical and Computer Engineering Lowell, 2009
- Neelameggham N.R., *The use of magnesium in lightweight Litium-ion Battery packs*, JOM, April 2009
- Peter Andersson, Olle Collin, *Parameterization of a 14,5 Ah LiFePO₄-battery cell*, Master's Thesis in the Master Degree Programme, Electric Power Engineering, Chalmers University of technology, Göteborg, Sweden, 2009
- Salameh Z.M., Kim B.G., *Advanced Lithium Polymer Batteries*, University of Massachusetts Lowell Department of Electrical and Computer Engineering Lowell, 2009
- Wang Jiayuan, Sun Zechang, Wei Xuezhe, *Performace and Characteristic Research in LiFePO₄ Battery for Electric Vehicle Applications*, New Energy Automotive Engineering Center, Tongji University Shanghai, China, 2009
- Greg Zimmer, *Packing in the Power*, Magazine New electronics pag. 19 e 20, 22 September 2009
- Liao Chenglin, Li Huiju, Wang Lifang, *A Dynamic Equivalent Circuit Model of LiFePO₄ Cathode Material for Lithium Ion Batteries on Hybrid Electric Vehicles*, Institute of Electrical Engineering Chinese Academy of Sciences, Beijing, China, 2009
- Wei-Jun Zhang, *Structure and performance of LiFePO₄ cathode materials: A review*, Journal of Power Sources 196 (2011) 2962-2970
- Zupa T., Liska O., *Charging module for newest types of rechargeable batteries LiFePO₄*, SAMI 2010 8th IEEE International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, January 28-30, 2010, Herl'any, Slovakia



UNIÃO EUROPEIA

Fundo Europeu
de Desenvolvimento Regional



QUADRO
DE REFERÊNCIA
ESTRATÉGICO
NACIONAL
PORTUGAL 2007.2013



PO FACTORES DE COMPETITIVIDADE
PO REGIONAL DO NORTE
PO REGIONAL DO CENTRO
PO REGIONAL DO ALENTEJO
PO REGIONAL DE LISBOA
PO REGIONAL DO ALGARVE



COMPETE

- Texas instruments, *Systems solutions for Hybrid and Electric Vehicles*, 2Q2010
- Silva A.A., *Baterias para veículos eléctricos, Mais soluções do que problemas*, IMTT Mobilidade Eléctrica, O Veiculo, Lisboa, 8 de Março de 2010