



Universidade Federal da Paraíba
Centro de Energias Alternativas e Renováveis
Departamento de Engenharia Elétrica

RAMON FORMIGA FIGUEIRA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
ACUMULADORES MOURA S/A

João Pessoa, Paraíba
Fevereiro de 2014

RAMON FORMIGA FIGUEIRA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
ACUMULADORES MOURA S/A

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido
ao Departamento de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal da Paraíba como parte
dos requisitos necessários para a obtenção do
título de Engenheiro Eletricista.*

Área de Concentração: Eletrônica

Orientador:

Professor Euler Cássio Tavares de Macedo, M. Sc.

João Pessoa, Paraíba
Fevereiro de 2014

RAMON FORMIGA FIGUEIRA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
ACUMULADORES MOURA S/A

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido
ao Departamento de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal da Paraíba como parte
dos requisitos necessários para a obtenção do
título de Engenheiro Eletricista..*

Área de Concentração: Eletrônica

Aprovado em / /

Lucas Vinícius Hartmann, Dr. Sc.
Universidade Federal da Paraíba
Avaliador

Professor Euler Cássio Tavares de Macedo, M. Sc.
Universidade Federal da Paraíba
Orientador, UFPB

Dedico este trabalho a todas as pessoas que me incentivaram e apoiaram no alcance dessa conquista.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Moura Unidade 01 (Matriz).....	3
Figura 2 – Composição de uma bateria.....	4
Figura 3 – Elemento formado por uma placa positiva e uma negativa, e elemento de maior capacidade formado pela junção dos conjuntos de placas positivas e negativas ligadas em paralelo.....	6
Figura 4 – Seis elementos ligados em série.....	7
Figura 5 – Esquema funcional da bateria.....	8
Figura 6 – Plataforma de desenvolvimento Arduino Uno.....	18
Figura 7 – Dispositivo LM35.....	20
Figura 8 – Dispositivo <i>shunt</i>	20
Figura 9 – Circuito de condicionamento para medição de tensão.....	21
Figura 10 – Circuito de condicionamento para medição de temperatura.....	22
Figura 11 – Circuito de condicionamento para medição de corrente.....	22
Figura 12 – Esquema de ligação dos circuitos de condicionamento à plataforma Arduino.....	23
Figura 13 – Montagem realizada.....	24
Figura 14 – Realização dos testes laboratoriais.....	26
Figura 15 – Perfil da tensão elétrica <i>versus</i> tempo para um teste realizado.....	26
Figura 16 – Gráfico do SoC <i>versus</i> OCV para uma bateria de 60Ah submetida a uma taxa de descarga de 12A.....	27
Figura 17 – Gráfico do SoC <i>versus</i> OCV para uma bateria de 60Ah submetida a uma taxa de descarga de 45A.....	27
Figura 18 – Gráfico do SoC <i>versus</i> OCV para testes realizados com baterias de 60Ah submetidas a taxas de descarga de 12A e 45A.....	28

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estrutura organizacional do Grupo Moura.	3
Tabela 2 – Classificação dos métodos para estimação de SoC.	13
Tabela 3 – Especificações da plataforma Arduino Uno.	19

SUMÁRIO

1	Introdução	1
1.1	Objetivo do Estágio	1
1.2	A Empresa	1
2	A Bateria	4
2.1	Composição da Bateria	4
2.2	Funcionamento	5
2.3	Funções de uma Bateria Automotiva	7
3	Estágio	9
3.1	Treinamentos Realizados	9
3.2	Atividades Realizadas	10
3.2.1	SAC	10
3.2.2	Pesquisa e Desenvolvimento de um Sistema de Gerenciamento de Baterias	10
4	Sistema de Gerenciamento de Baterias	11
4.1	Estado de carga	12
4.1.1	Medidas diretas	13
4.1.2	Book-keeping estimation	15
4.1.3	Métodos adaptativos	16
4.2	Desenvolvimento do <i>hardware</i>	18
4.2.1	Plataforma de aquisição e processamento de dados	18
4.2.2	Circuitos de condicionamento	19
4.2.3	Montagem realizada	23
4.3	Desenvolvimento do software	24
4.3.1	Rotinas computacionais aplicadas à plataforma Arduino Uno	24
5	Conclusão	29
	Referências	30

1 INTRODUÇÃO

Este relatório tem por finalidade apresentar a descrição das atividades realizadas durante a disciplina de estágio supervisionado desenvolvido por Ramon Formiga Figueira, aluno concluinte do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal da Paraíba, na Unidade 01 da empresa Acumuladores Moura S.A., na cidade de Belo Jardim/PE, durante o período de 17 de junho de 2013 a 13 de dezembro de 2013.

As atividades de estágio ocorreram no subsetor de Engenharia de Inovação, parte integrante do setor de Engenharia de Produto, sob supervisão do engenheiro eletricitista Carlos Vidal.

Durante o período de vigência do estágio foram desenvolvidas atividades de pesquisa e de rotina, além de diversos treinamentos para capacitação profissional.

1.1 OBJETIVO DO ESTÁGIO

De maneira geral, o principal objetivo do estágio supervisionado enquanto disciplina obrigatória do Curso de Engenharia Elétrica é de permitir o contato direto do aluno com o ofício da engenharia e o dia-a-dia de uma empresa real, com a finalidade de tornar possível a aplicação prática dos conceitos adquiridos em sala de aula e de fornecer a experiência profissional necessária para o ingresso no mercado de trabalho.

1.2 A EMPRESA

A Acumuladores Moura S/A é uma empresa nacional atuante nos mercados de baterias automotivas, tracionárias, estacionárias e náuticas. Com uma capacidade de produção anual superior a 7 milhões de baterias e um quadro de colaboradores de aproximadamente 3 mil pessoas, a Moura é uma das maiores fornecedoras de baterias para a frota de veículos em circulação na América do Sul. A empresa possui 6 plantas industriais, 2 centros técnicos e logísticos avançados e mais de 70 centros de distribuição comercial no Brasil, na Argentina e no Uruguai, além de distribuidores

parceiros no Paraguai, Reino Unido e Portugal, atendendo assim todo o Mercosul e parte do continente europeu.

Ao longo de sua história, a Moura obteve algumas certificações que foram fundamentais para conquistar o mercado das montadoras e, devido ao trabalho desempenhado junto a estas, a empresa chegou a receber diversos prêmios de qualidade. Pode se listar como certificações e prêmios de destaque:

- ✓ 1995 - Prêmio “10 melhores” da Fiat;
- ✓ 1995/96 - Recebimento da certificação da ISO 9001 e implantação de um amplo Programa de Qualidade;
- ✓ 1996 - Prêmio Ford de “Qualidade Q1” (Fornecedor de Classe Mundial);
- ✓ 1999 - Certificação QS 9000;
- ✓ 1999 - Prêmio VW de Qualidade “Melhor Fornecedor de componentes elétricos”;
- ✓ 1999 - Prêmio Renault “TOP FIVE”;
- ✓ 2000 - Prêmio VW “Melhor Fornecedor do Brasil”;
- ✓ 2000 - World Excellence Award Winner - Ford Motor Company;
- ✓ 2002 - Prêmio Top de Qualidade 2002;
- ✓ 2003 - ISO 14001 (Meio ambiente);
- ✓ 2005 - Top de Qualidade 2005 (IEPQ);
- ✓ 2006 - Prêmio Ford de Melhor Fornecedor da América Latina;
- ✓ 2008 - Premio Máximo de Qualidade da Fiat, Quality Awards Fiat;
- ✓ 2009 - Melhor Fornecedor Elétrico Ford Argentina;
- ✓ 2010 - Melhor Fornecedor da GM de 2009;
- ✓ 2010 - Prêmio Qualidade Geral Volkswagen 2009;
- ✓ 2011 - Prêmio Fiat de Melhor Fornecedor;
- ✓ 2012 - Prêmio “Os Melhores do Ano” – Categoria Ouro no segmento de baterias.

A Moura encontra-se dividida em unidades localizadas no Brasil e na Argentina, conforme é apresentado na Tabela 1. A Unidade 01, onde o estágio foi desenvolvido, trata-se de uma planta industrial dividida em 3 unidades de gerenciamento básico (UGB's) e uma equipe de apoio constituída de setores como engenharia e logística, além da parte administrativa e financeira. As UGB's são responsáveis pela produção de

baterias, enquanto que a equipe de engenharia realiza atividades como pesquisa de novas tecnologias, tratamento de anomalias e assistência técnica. Na Figura 1 é ilustrada a Unidade a que se faz referência.

Tabela 1. Estrutura organizacional do Grupo Moura.

UNIDADE	PRODUTOS	LOCALIZAÇÃO
UNIDADE 01 – Acumuladores Moura	Baterias sem carga para Itapetininga e baterias para o mercado de reposição	Belo Jardim – PE
UNIDADE 02 – Unidade Administrativa	Centro administrativo	Jaboatão dos Guararapes – PE
UNIDADE 03 – Depósito Fiat e Iveco	Baterias para a Fiat e Iveco em Minas Gerais	Betim – MG
UNIDADE 04 – Metalúrgica	Reciclagem de baterias e ligas de chumbo	Belo Jardim – PE
UNIDADE 05 – Indústria e plástico	Caixa e tampa para baterias	Belo Jardim – PE
UNIDADE 06 – Formação e acabamento	Baterias para montadoras brasileiras	Itapetininga – SP
BASA – Depósito Argentina	Baterias para montadoras e reposição na Argentina	Buenos Aires – ARG
UNIDADE 08 – Moura Baterias Industriais	Baterias tracionárias	Bela Jardim – PE



Figura 1. Moura Unidade 01 (Matriz).

2 A BATERIA

As baterias de chumbo-ácido são aparatos eletroquímicos capazes de armazenar energia elétrica em forma de energia química, convertendo-a novamente em energia elétrica quando necessário. (CABRAL, 2013, p.3).

2.1 COMPOSIÇÃO DA BATERIA

Os principais componentes de uma bateria de chumbo-ácido são (ver Figura 2):

- Placas positivas e negativas - Composição entre grades metálicas e massa de material ativo responsável pelas reações químicas;
- Separadores - Envelopes que impedem o contato direto entre as placas;
- Conectores - Pequenas peças de chumbo que fazem as conexões entre os elementos da bateria;
- Solução de ácido sulfúrico - Usualmente composta por 35% de ácido sulfúrico e 65% de água destilada, é um elemento fundamental no processo das reações químicas;
- Caixa/Tampa - Composta de polipropileno (PP), tem por função acondicionar os elementos e a solução, isolando-os do contato com o exterior;
- Pólo positivo e negativo - Peças de chumbo que desempenham a função de terminais positivo e negativo da bateria, respectivamente.

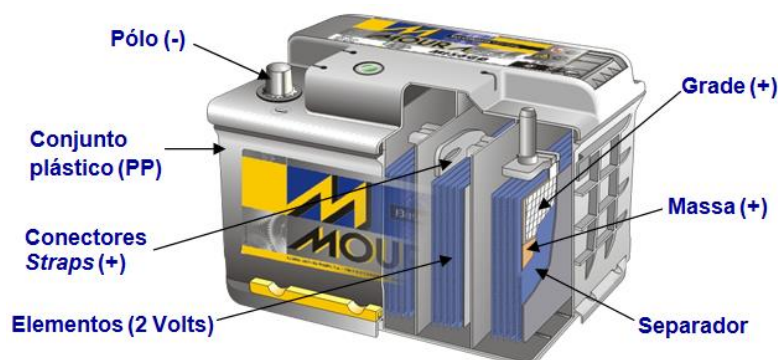
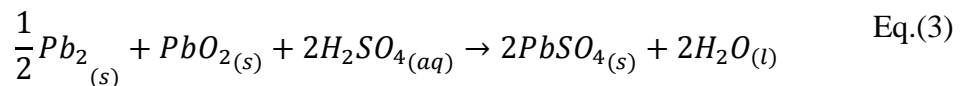
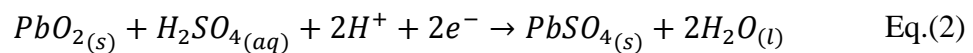
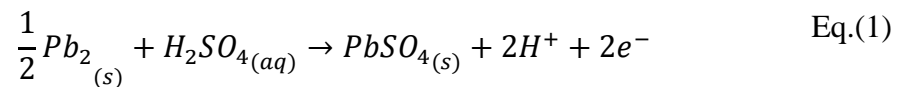


Figura 2. Composição de uma bateria. (CABRAL, 2013, p.3).

2.2 FUNCIONAMENTO

O armazenamento de energia em um acumulador de chumbo-ácido é possível graças às duas tendências - dar e receber elétrons - que diferentes substâncias possuem. O dióxido de chumbo (PbO_2) é uma substância que possui uma grande tendência de receber elétrons, enquanto que o chumbo metálico (Pb), por sua vez, tem tendência de doar elétrons. Desta forma, existe a propensão natural de migração dos íons positivos do chumbo metálico para o dióxido de chumbo, estabelecendo, assim, a passagem de uma corrente elétrica.

Nas baterias de chumbo-ácido, o meio que estabelece as condições para que os elétrons possam migrar de uma para outra placa é a solução de ácido sulfúrico (H_2SO_4). Assim sendo, ambos, o chumbo metálico e o dióxido de chumbo, ao trocarem elétrons, transformam-se em sulfato de chumbo ($PbSO_4$). Os íons sulfato (SO_4) necessários a essa transformação são oriundos da solução de ácido sulfúrico, como pode ser observado por meio das equações químicas (1), (2) e (3), que caracterizam o funcionamento de uma bateria.



Em (1) tem-se a caracterização da reação entre a placa de chumbo e a solução de ácido sulfúrico, o que resulta na formação de sulfato de chumbo, dois íons de hidrogênio e liberação de dois elétrons. Tais elementos, ao entrarem em contato com a placa de dióxido de chumbo, reagem resultando na formação de sulfato de chumbo e água, designada por (2). A equação global, (3), é a que descreve o processo de descarga da bateria, como citado anteriormente. Desta forma, o papel de funcionamento de uma

bateria, nada mais é do que, possibilitar a alimentação de um circuito elétrico seja do motor de um automóvel, motor de uma motocicleta, motor de uma embarcação, de um sistema de telecomunicações, entre outros, através da passagem dos elétrons oriundos da reação química.

Entretanto, depois que ambas as placas encontram-se transformadas em dióxido de chumbo faz-se necessário que haja a reversão de (3) para que a bateria possa novamente readquirir diferença de potencial entre suas placas. Para isso, deve-se aplicar uma tensão externa sobre a bateria, que obrigue os elétrons a seguirem em sentido contrário, revertendo, assim, o processo.

Os elétrons, sendo partículas de carga negativa, tendem a ser atraídos por regiões de potencial elétrico positivo e repelidos por regiões de potencial negativo. Nesta perspectiva, em uma bateria como a descrita neste trabalho, a composição das placas negativas de chumbo metálico é tida como sendo o pólo negativo, enquanto que a composição das placas positivas de dióxido de chumbo é tida como sendo o pólo positivo da bateria. A quantidade de carga que essas placas podem fornecer é uma função da quantidade de material ativo nelas presente.

Dessa forma, se o tamanho das placas é dobrado, teoricamente, a quantidade de carga disponível é dobrada. Todavia, ao invés de dobrar o tamanho das placas, é possível dobrar sua quantidade de carga ligando uma placa positiva à outra placa positiva e uma negativa à outra também negativa. Tal ligação deve ser do tipo em paralelo, formando-se, assim, um elemento da bateria (ver Figura 3).

O elemento de uma bateria de chumbo-ácido possui uma diferença de potencial entre o conjunto de placas de, aproximadamente, 2V. Essa é uma função, principalmente, da densidade da solução de ácido sulfúrico absorvida pelas placas.

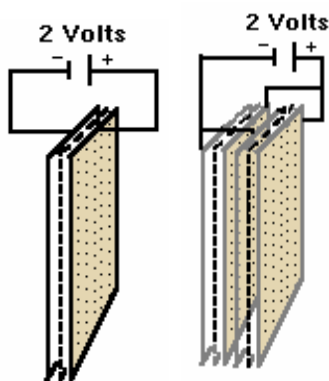


Figura 3. Elemento formado por uma placa positiva e uma negativa, e elemento de maior capacidade formado pela junção dos conjuntos de placas positivas e negativas ligadas em paralelo. (CABRAL, 2013, p.5).

Partindo-se do princípio de que as baterias em questão são projetadas para sistemas elétricos de 12V, as mesmas devem possuir seis elementos ligados em série, de modo que as diferenças de potencial dos elementos individuais possam se somar (ver Figura 4).

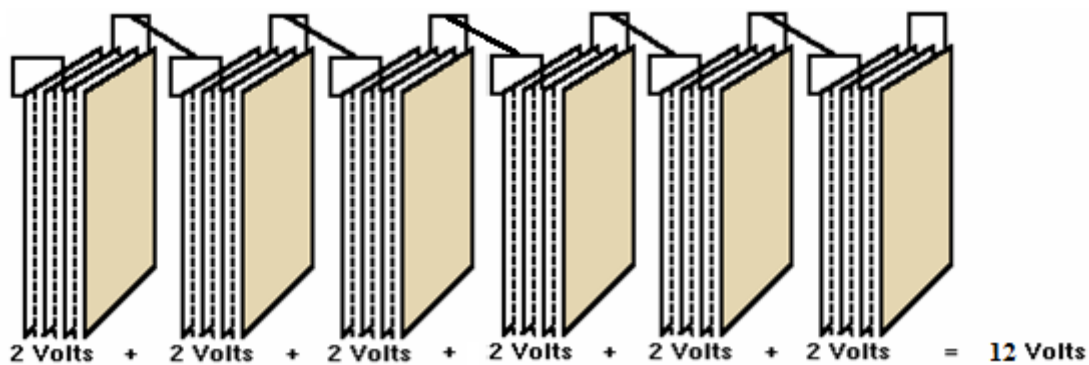


Figura 4. Seis elementos ligados em série. (CABRAL, 2013, p.5).

Os elementos ligados em série devem estar em compartimentos separados, ou seja, a solução de um elemento não deve entrar em contato com a de outro elemento, visto que, caso haja contato entre os elementos, haverá descarga entre ambos, caracterizando um curto circuito elétrico fechado pela solução. Por esse motivo, também, existe um separador entre as placas positivas e negativas de cada elemento, impedindo o contato direto entre elas. Enquanto que os separadores das células são sólidos impermeáveis, os separadores existentes entre as placas devem ser porosos para permitirem a condução de cargas elétricas entre uma placa e outra através da solução.

2.3 FUNÇÕES DE UMA BATERIA AUTOMOTIVA

As baterias desempenham um papel fundamental no funcionamento de um veículo. Suas principais funções são:

- Fornecer energia para o sistema de ignição e para o motor de partida, partindo o motor e colocando-o em funcionamento repetidas vezes;
- Atuar como estabilizador de tensão protegendo o sistema contra picos de tensão do sistema elétrico, atuando como um filtro e protegendo, dessa forma, os componentes elétricos;

- Assumir as cargas elétricas do veículo por determinado período de tempo quando o alternador está com defeito;
- Suprir a demanda de carga quando a capacidade do alternador é excedida. (Ex.: instalação de acessório que tendo seu consumo somado ao dos equipamentos provenientes de fábrica ultrapassa a capacidade nominal de geração do alternador).

Na Figura 5 o esquema funcional da bateria é sintetizado. Nela são apresentadas as partes funcionais do veículo que utilizam o acumulador como fonte de energia.



Figura 5. Esquema funcional da bateria. (CABRAL, 2013, p.4).

3 ESTÁGIO

A seleção de estágio iniciou-se no mês de maio de 2013 no Campus I da Universidade Federal da Paraíba, situado em João Pessoa/PB. O processo seletivo, que envolveu cerca de 20 candidatos, foi dividido basicamente em três etapas iniciais: redação sobre tema livre, dinâmica em grupo e entrevista. Após a entrevista com os responsáveis pelo recrutamento, foram escolhidos os candidatos que deveriam ser submetidos a testes *on-line* para identificação de perfil pessoal. Posteriormente, os classificados, cinco candidatos, foram encaminhados à cidade de Belo Jardim/PE para a realização de uma entrevista com os gestores responsáveis pelas vagas de estágio. Ao final da seleção, quatro candidatos foram aprovados.

Os benefícios fornecidos pela empresa para estagiários são apresentados a seguir.

- Remuneração mensal de dois salários mínimos;
- Moradia em república com a assistência de uma secretária;
- Almoço na fábrica;
- Assistência médica e odontológica;
- Auxílio alimentação;
- Auxílio transporte;
- Seguro de vida.

3.1 TREINAMENTOS REALIZADOS

Durante o período de estágio, com o intuito de capacitar seus funcionários, a Moura ofertou uma série de treinamentos. Dentre os diversos cursos ofertados durante o período de estágio, foi possível a realização de alguns, como por exemplo:

- Gerenciamento de Projetos;
- Veículos Elétricos e Elétricos Híbridos – SAE Brasil;
- Fundamentos de Baterias
- Programa 5S;

3.2 ATIVIDADES REALIZADAS

A principal atividade realizada durante o estágio na Engenharia de Inovação da empresa foi a pesquisa e o desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de baterias. Além disso, como aluno estagiário foi possível participar do Serviço de Atendimento ao Cliente Moura (SAC).

3.2.1 SAC

O SAC Moura é um canal entre a Moura e seus clientes. Este serviço de pós-vendas, além de agregar ainda mais valor ao produto, tem por intuito conquistar e fidelizar o cliente dentro da cultura da empresa.

A atividade do estagiário no que se diz respeito ao Serviço de Atendimento ao Cliente consistiu em atender, via correio eletrônico (*e-mail*), as solicitações dos clientes, oferecer soluções de engenharia para problemas e responder aos questionamentos com relação aos produtos da empresa. Para tanto, foi necessário realizar um amplo estudo acerca dos produtos Moura.

3.2.2 PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BATERIAS

A busca incessante pela garantia de qualidade do produto leva a Moura a investir cada vez mais em pesquisa e desenvolvimento. Na Engenharia de Inovação, subsetor da Engenharia de Produto, foi possível trabalhar diretamente com pesquisa, estudando soluções tecnológicas envolvendo a utilização de acumuladores em aplicações atuais, como redes elétricas inteligentes, veículos elétricos e elétricos híbridos.

Como citado anteriormente, o estudo e desenvolvimento de um sistema de gerenciamento de baterias foi o principal projeto pelo qual o estagiário ficou responsável. Desta forma, ele é apresentado de forma mais detalhada na Seção 4 deste relatório.

4 SISTEMA DE GERENCIAMENTO DE BATERIAS

Hodiernamente, são inúmeras as aplicações envolvendo a utilização de baterias. Em um mundo no qual a palavra sustentabilidade vem ganhando força, observam-se crescentes investimentos na área de geração de energia elétrica por meio de fontes alternativas e renováveis e os bancos de baterias são a chave para a manutenção de um sistema energético eficiente e confiável, já que em tais sistemas é de extrema importância a existência de dispositivos de armazenamento de energia¹. Além disso, com a finalidade de diminuir as emissões de gases poluentes na atmosfera por veículos constituídos exclusivamente por motores de combustão interna, incentiva-se cada vez mais a produção, comercialização e utilização de veículos elétricos híbridos e puramente elétricos, nos quais as baterias exercem um papel fundamental. Sendo assim, concomitantemente ao aumento da importância das baterias nas aplicações atuais e vindouras cresce a necessidade de se garantir a qualidade, confiabilidade e durabilidade de tais produtos.

O sistema de gerenciamento de baterias (BMS, do inglês, *Battery Management System*) é um dispositivo de grande importância no que se diz respeito a aplicações envolvendo o uso de baterias. Esse sistema eletrônico é responsável, como o próprio nome sugere, por gerenciar a bateria, protegendo-a contra operações fora da faixa de segurança, monitorando sua funcionalidade e saúde, e controlando as condições às quais a bateria é imposta. Desta forma, o BMS age de modo a garantir o funcionamento adequado das baterias, otimizando a sua aplicação e maximizando, portanto, sua vida útil.

Descrevendo de maneira objetiva, o BMS basicamente monitora os valores de tensão (total ou de cada célula), corrente que flui através da bateria e temperatura (média, de cada célula ou do eletrólito), estima o estado de carga (SoC²) ou a profundidade de descarga (DoD³) e o estado de saúde (SoH⁴), calcula a corrente máxima

¹ Em um sistema baseado em energia solar, por exemplo, a ausência de um banco de baterias para armazenar a energia disponível durante o dia pode acarretar em insuficiência energética à noite, na falta de luz solar.

² Do inglês, *State-of-Charge*. O estado de carga representa a razão entre a quantidade de carga atual que a bateria possui e a sua capacidade nominal.

³ Do inglês, *Depth-of-Discharge*. A profundidade de descarga representa a razão entre a quantidade de carga cedida pela bateria durante uma descarga e a sua capacidade nominal.

de carga e descarga, o tempo de operação, o número de ciclos, a quantidade de carga e energia cedida e armazenada, e, através desses dados, protege a bateria contra operações fora da faixa de segurança, controlando o seu carregamento e descarregamento.

4.1 ESTADO DE CARGA

Estimar o estado de carga de uma bateria é um verdadeiro desafio (CHANG, 2013, p.1). O SoC, o qual é utilizado para descrever a capacidade remanescente de um acumulador, é um parâmetro muito importante para a estratégia de controle⁵. Devido a isso, há uma necessidade de se estimar o SoC com precisão, de modo a permitir uma maior proteção da bateria e prevenir situações de utilização que ofereçam risco a sua vida útil. Além disso, o conhecimento do SoC torna possível a aplicação racional de estratégias de controle para economizar energia.

Como a bateria é um dispositivo que armazena energia química, a qual não pode ser diretamente acessada, a estimação do estado de carga não é uma tarefa trivial de se realizar. A avaliação correta do SoC continua a ser muito complexa e é de difícil implementação, porque os modelos de bateria são limitados e existem sempre incertezas paramétricas. Desta forma, na prática, são encontrados muitos exemplos de estimação de SoC com baixa precisão e confiabilidade (CHANG, 2013, p.1).

Em geral, o estado de carga de uma bateria é definido como a razão entre a sua capacidade atual, $Q(t)$, e a sua capacidade nominal, $C(t)$, de acordo com a equação (4). A capacidade nominal é dada pelo fabricante e representa a máxima quantidade de carga que a bateria pode armazenar.

$$SoC(\%) = \frac{Q(t)}{C(t)} \times 100 \quad \text{Eq.(4)}$$

Os diversos métodos matemáticos para estimação de SoC são classificados de acordo com a metodologia empregada. Apesar do fato de que na bibliografia sobre o

⁴ Do inglês, *State-of-Health*. O estado de saúde reflete o estado geral da bateria e sua capacidade de fornecer o desempenho especificado em comparação com uma bateria nova. Ele considera fatores como a aceitação de carga, resistência interna, tensão e auto-descarga.

⁵ A importância da estimação do SoC se deve ao fato de que em diversos casos é necessário saber o quão carregada uma bateria está. O conhecimento sobre a quantidade de carga que uma bateria pode fornecer permite que o sistema saiba, por exemplo, se o acumulador será capaz de dar partida ou não em um veículo.

tema, tal classificação pode variar bastante, é possível identificar quatro categorias básicas de métodos: medidas diretas, *book-keeping estimation*, sistemas adaptativos e métodos híbridos.

- (i) Medidas diretas: método que utiliza grandezas físicas da bateria, como tensão e impedância (CHANG, 2013, p.2).
- (ii) *Book-keeping estimation*: método que utiliza a corrente de descarga como entrada e realiza sua integração em relação ao tempo para calcular o SoC (CHANG, 2013, p.2).
- (iii) Sistemas adaptativos: sistemas capazes de ajustar automaticamente o SoC para diferentes condições de descarga (CHANG, 2013, p.2).
- (iv) Métodos híbridos: métodos que tem por finalidade unir os benefícios de dois ou mais métodos de estimação de SoC para obter uma otimização de performance (CHANG, 2013, p.2).

Na Tabela 2 são apresentados alguns exemplos de métodos matemáticos classificados entre as quatro categorias citadas.

Tabela 2. Classificação dos métodos para estimação de SoC.

Categorias	Métodos matemáticos
Medidas diretas	Métodos baseados em medição de tensão
	Métodos baseados em medição de impedância
<i>Book-keeping estimation</i>	<i>Coulomb counting</i>
Sistemas adaptativos	Métodos baseados em filtros de Kalman
	Métodos baseados em redes neurais
	Métodos baseados em lógica <i>fuzzy</i>
Métodos híbridos	Combinação entre métodos baseados em medição de tensão e o <i>Coulomb Counting</i>
	Combinação entre o <i>Coulomb Counting</i> e métodos baseados em filtros de Kalman

4.1.1 MEDIDAS DIRETAS

Os métodos baseados em medidas diretas utilizam medidas de variáveis das baterias, como tensão, impedância e tempo de relaxamento da tensão após perturbação com corrente. Além disso, como a maioria das relações entre essas variáveis e o estado

de carga dependem da temperatura, paralelamente à medição delas deve haver a medição da temperatura. A principal vantagem de um sistema de estimação de SoC baseado nesses métodos é o fato de que ele não precisa estar ligado continuamente à bateria, pois não se faz necessário o conhecimento sobre o estado de carga anterior. Desta forma, a medida pode ser realizada a qualquer momento, bastando conectar-se à bateria.

MÉTODOS BASEADOS EM MEDIÇÃO DE TENSÃO

Determinar a capacidade remanescente de uma bateria simplesmente medindo sua tensão pode ser mais barato e exigir uma capacidade computacional menor do que no caso da integração de corrente ou da utilização de sistemas adaptativos, mas em situações reais, a utilização de medidas isoladas de tensão para determinar o SoC pode ser muito confusa (Dallas Semiconductor, 2000 apud CHAGAS, 2007, p. 40). A imprecisão do método de estimação de SoC com base em medidas de tensão se deve ao fato da relação entre os valores de tensão e a quantidade de carga disponível na bateria variar consideravelmente com a temperatura e o regime de descarga aplicado. A diminuição do erro envolvido nesse tipo de estimação pode ser feita a partir de um levantamento da dependência da tensão com respeito à temperatura e à corrente de descarga. Porém, à medida que são incluídas novas variáveis no sistema, o algoritmo para determinação do SoC torna-se mais complexo e, conseqüentemente, o custo do processo pode aumentar consideravelmente.

Um método de estimação de estado de carga por medição de tensão bastante utilizado e que, de acordo com a literatura existente sobre o tema, mostra-se confiável, é o método que envolve a medição/estimação da tensão de circuito aberto em estado permanente (OCV, do inglês, *Open Circuit Voltage*), a qual corresponde à força eletromotriz do acumulador.

Numa bateria de chumbo-ácido, existe uma relação aproximadamente linear entre o SoC e a tensão de circuito aberto em estado permanente, representada por (5). (CHANG, 2013, p.2).

$$OCV(t) = a \times SoC(t) + b \quad \text{Eq.(5)}$$

Os valores de a e b podem ser obtidos a partir de um levantamento da curva com base em dados obtidos experimentalmente. Verifica-se dessa forma, que é possível se calcular diretamente o estado de carga de uma bateria chumbo-ácido por meio da estimação de sua tensão de circuito aberto.

Apesar de ser um método de obtenção de SoC relativamente simples, por se basear em uma relação linear, a tensão de circuito aberto a qual se refere a (5) só pode ser observada nos terminais da bateria após um período geralmente maior que 2 horas sem carga (tempo necessário para que a tensão atinja seu valor de estado permanente), o que o torna inviável para determinadas aplicações que exigem medições instantâneas ou de curto prazo (o ideal é utilizar ferramentas que permitam a estimação do valor da tensão de circuito aberto em estado permanente em um tempo consideravelmente menor, o que pode ser feito, por exemplo, modelando-se a bateria como um circuito elétrico e estimando o valor de regime permanente a partir do conhecimento da dinâmica do modelo). Além disso, a relação entre a OCV e o SoC pode variar de bateria para bateria⁶. Devido a este inconveniente, tal relação deve ser observada para cada acumulador, com a finalidade de que o estado de carga possa ser aferido com o menor erro possível.

MÉTODOS BASEADOS EM MEDIÇÃO DE IMPEDÂNCIA

Os métodos de estimação de SoC baseados em medição de impedância, como o próprio nome sugere, utilizam a relação existente entre os valores de impedância da bateria e o seu estado de carga correspondente. Tal método consiste em se obter uma tabela ou uma equação matemática que relacione a impedância e o SoC por meio de dados experimentais, ou seja, o objetivo dessa metodologia é gerar um conjunto constituído por pares impedância-SoC que sirvam como referência para a estimação do estado de carga a partir de um valor de impedância medido diretamente na bateria.

4.1.2 BOOK-KEEPING ESTIMATION

Os métodos baseados em *Book-keeping estimation* utilizam como dados de entrada a corrente que flui através dos terminais da bateria e estimam o estado de carga

⁶ Outra desvantagem do método baseado na relação entre OCV e SoC é o fato deste ser sensível à estratificação em baterias de eletrólito líquido. Em casos em que ocorre a estratificação, a medição da tensão terminal pode levar o sistema a estimar erroneamente o estado de carga.

observando a relação entre essa corrente e a quantidade de carga recebida ou cedida pelo acumulador.

COULOMB COUNTING

O método *Coulomb Counting* baseia-se na medição da corrente da bateria, I , e sua integração em relação ao tempo para obtenção da quantidade de carga elétrica. Conhecendo-se o valor da capacidade nominal da bateria ($C_{nominal}$), do estado de carga anterior a uma carga ou descarga, $SoC(t - 1)$, e tendo em mãos a quantidade total de carga retirada ou fornecida é possível calcular o estado de carga atual, $SoC(t)$. A estimação do SoC por meio desse método pode ser feita a partir da equação (6).

$$SoC(t) = SoC(t - 1) + \frac{\int_t^{t+\Delta t} Idt}{C_{nominal}} \quad \text{Eq.(6)}$$

Nela, o sinal de I deve ser negativo quando se tratar de uma descarga, e positivo no caso de uma carga.

Esse método apresenta como limitações o fato da estimação depender do estado de carga anterior ao carregamento/descarregamento e da bateria não apresentar eficiência de carga de 100%, ou seja, o valor da quantidade de carga calculado por meio de (6) pode não representar precisamente o valor real da quantidade de carga cedida ou aceita pela bateria. O método *Coulomb Counting* é mais utilizado para estimar o SoC durante descargas, já que nesse caso a eficiência é próxima de 100%. Já durante o processo de carga, a eficiência da bateria não pode ser considerada como 100%, pois, de fato, ela é consideravelmente mais baixa e, portanto, tal método torna-se mais impreciso em tais situações.

4.1.3 MÉTODOS ADAPTATIVOS

A utilização de métodos adaptativos é a melhor forma de lidar com o comportamento imprevisível tanto do usuário quanto da bateria, tendo em vista que os sistemas baseados nesses métodos são capazes de se ajustar automaticamente a mudanças. Desta forma, tais métodos vêm sendo cada vez mais utilizados para a determinação de estado de carga (CHAGAS, 2007, p.50).

FILTROS DE KALMAN

O método de determinação de estado de carga utilizando filtros de Kalman baseia-se em um modelo de descrição numérica para o comportamento da bateria. A adaptabilidade deste método consiste na comparação de valores estimados com valores medidos. O propósito do filtro de Kalman é estimar o estado da bateria a partir de medidas que contêm erros. (CHAGAS, 2007, p. 50).

REDES NEURAIS

No método adaptativo baseado em redes neurais, as variáveis que determinam o estado de carga da bateria são substituídas por redes neurais artificiais. Tais redes requerem no mínimo uma fase de treinamento, na qual elas se adaptam ao sistema a ser simulado, e uma de avaliação, em que elas são testadas a partir de amostras que não foram incluídas na fase de treinamento. (CHAGAS, 2007, p.50).

A utilização de redes neurais para a implementação de sistemas de gerenciamento de baterias representa uma boa alternativa para se criar dispositivos mais precisos e, conseqüentemente, com maior confiabilidade. Desta forma, diversos trabalhos têm sido realizados a partir desse tipo de aplicação das redes neurais, como os apresentados em (VALDEZ, 2006) e em (SHEN, 2008).

LÓGICA FUZZY

O método baseado na lógica *fuzzy* analisa dados obtidos por meio de técnicas de medição de impedância ou de integração de corrente por meio de uma categorização desses dados em conjuntos “precisos” e “vagos”. O conjunto denominado “preciso” contém os dados que são claramente definidos, como, por exemplo, um conjunto de valores de temperatura entre 35°C e 40°C. Já o conjunto “vago” possui como elementos os dados considerados incertos, como a temperatura está “fria”, “morna” ou “quente”. Desta forma, com a utilização da lógica *fuzzy* é possível implementar sistemas capazes de estimar com uma melhor precisão o estado de carga de uma bateria. (CHAGAS, 2007, p.51).

4.2 DESENVOLVIMENTO DO *HARDWARE*

A etapa do projeto referente ao desenvolvimento do *hardware* do sistema incluiu a definição das plataformas para aquisição e processamento dos dados de corrente, tensão e temperatura e dos circuitos de condicionamento dos sinais de entrada da plataforma.

4.2.1 PLATAFORMA DE AQUISIÇÃO E PROCESSAMENTO DE DADOS

A plataforma de desenvolvimento escolhida foi a Arduino, apresentada na Figura 6. Dentre os parâmetros que motivaram essa escolha estão o baixo custo, a flexibilidade e a facilidade de programação/gravação. Com o objetivo de realizar a implementação de um protótipo, a plataforma Arduino mostrou-se a melhor opção, tendo em vista que, se comparada com outros kits de desenvolvimento, como, por exemplo, para microcontroladores PIC ou ADuC, ou até mesmo para DSPs, ela representa uma alternativa satisfatória nos termos citados anteriormente. Além disso, uma possível limitação do Arduino seria a incapacidade de trabalhar com parâmetros que variam com frequência acima de 1kHz, porém, no caso dos parâmetros estudados em relação às baterias, como tensão, temperatura e corrente, a variação é consideravelmente mais lenta. Em trabalhos posteriores, em que um sistema embarcado completo pode ser requisitado, será necessária uma nova análise e levantamento da relação custo-benefício, já que não faz sentido utilizar uma plataforma de desenvolvimento, mas apenas os dispositivos microcontroladores ou microprocessadores isolados. Nesse caso, deverão ser analisadas a capacidade de processamento, memória, entre outros fatores requeridos pelo sistema, além do custo.



Figura 6. Plataforma de desenvolvimento Arduino Uno.

Na Tabela 3 são apresentadas as especificações da plataforma Arduino Uno.

Tabela 3. Especificações da plataforma Arduino Uno.

Microcontrolador	ATmega328
Tensão operacional	5V
Tensão de entrada (recomendada)	7-12V
Tensão de entrada (limites)	6-20V
Pinos E/S digitais	14 (dos quais 6 podem ser saídas PWM)
Pinos de entrada analógica	6
Corrente CC por pino E/S	40 mA
Corrente CC por pino 3,3V	50 mA
Memória <i>Flash</i>	32 KB (dos quais 0,5 KB são utilizados pelo bootloader)
SRAM	2 KB
EEPROM	1 KB
Velocidade de <i>Clock</i>	16 MHz

Para a implementação do sistema foi necessária a utilização de 3 pinos de entrada analógica, por meio dos quais os valores de tensão, temperatura e corrente da bateria pudessem ser aferidos. Como para tais pinos os sinais de entrada devem ser sinais de tensão limitados a uma faixa de 0 a 5V, foram utilizados, além de sensores apropriados para cada tipo de medição, circuitos eletrônicos para o condicionamento dos sinais.

4.2.2 CIRCUITOS DE CONDICIONAMENTO

Para a medição das grandezas de temperatura e corrente associadas à bateria, foram utilizados dispositivos transdutores capazes de fornecer informação sobre o valor de tais grandezas por meio de um sinal de tensão elétrica. Para a medição de temperatura utilizou-se o sensor LM35 (ver Figura 7), o qual, de acordo com o esquema de montagem realizado, apresenta como sinal de saída uma tensão de 10mV para cada grau na escala Celsius⁷.

⁷ Se, por exemplo, a temperatura a ser medida é de 40°C, o sensor LM35 apresentará em seu pino de saída um valor de tensão elétrica de 400mV.



Figura 7. Dispositivo LM35.

No caso da medição de corrente, o dispositivo utilizado foi o resistor tipo *shunt* (ver Figura 8), o qual é um sensor resistivo de quatro contatos que associa o valor de corrente a um valor de tensão de acordo com a lei de Ohm.

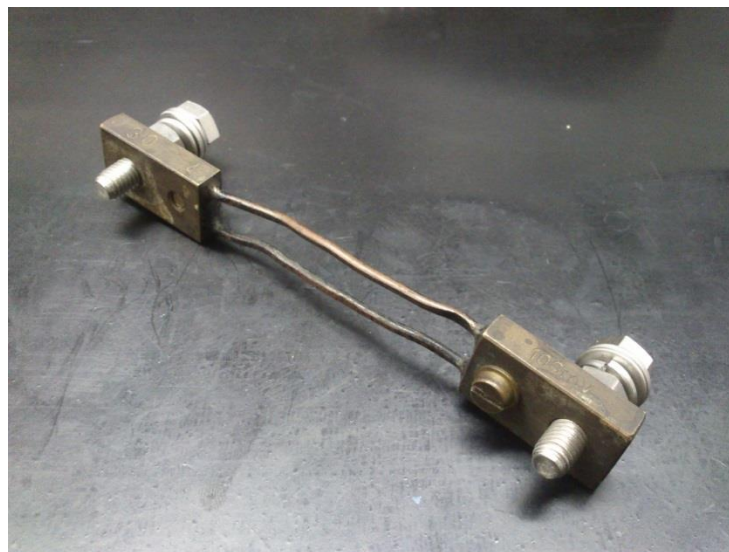


Figura 8. Dispositivo *shunt*.

Como citado anteriormente, os circuitos para condicionamento dos sinais foram utilizados para ajustar os valores de tensão à faixa de 0 a 5V, de acordo com a especificação da plataforma de desenvolvimento Arduino Uno. A seguir são apresentados os circuitos eletrônicos projetados para a medição de tensão, temperatura e corrente da bateria, respectivamente.

MEDIÇÃO DE TENSÃO

A medição da tensão dos terminais da bateria pôde ser realizada pelo emprego de um arranjo baseado em um divisor resistivo. Os valores dos resistores foram escolhidos de modo a minimizar a corrente que passa através deles, a qual é fornecida pela bateria, e de acordo com atenuação necessária para garantir que a tensão de saída, V_{out} , permanecesse numa faixa de 0 a 5V (tal atenuação pôde ser ajustada a partir de uma resistência variável, como apresentado na Figura 4). O amplificador operacional na configuração de *buffer* foi utilizado para isolar o circuito divisor resistivo em relação à placa de desenvolvimento. A tensão V_{out} , indicada na Figura 9, corresponde ao sinal aplicado a uma das entradas analógicas do Arduino Uno.

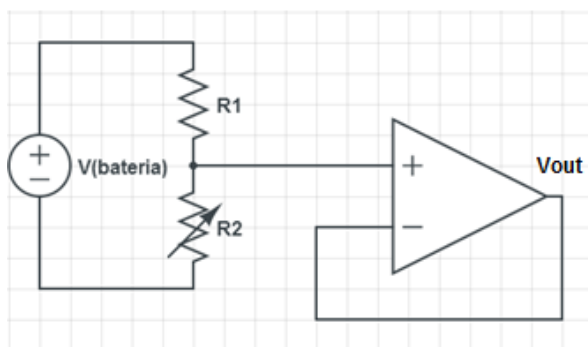


Figura 9. Circuito de condicionamento para medição de tensão.

MEDIÇÃO DE TEMPERATURA

Como já citado, para a medição de temperatura utilizou-se o sensor LM35, que fornece uma tensão de saída proporcional ao valor de temperatura medido. Na Figura 10 é apresentado o circuito de condicionamento que adequa os valores de tensão do LM35 à faixa de 0 a 5V. Como é possível observar, o ajuste de tensão é realizado por meio de um amplificador operacional na configuração não inversora, o qual permite por meio de um resistor variável a regulagem do ganho de modo a garantir que os valores de V_{out} permaneçam na faixa requerida pela plataforma de desenvolvimento.

4.2.3 MONTAGEM REALIZADA

Nas Figura 12 e 13 são apresentados, respectivamente, o esquema de ligação dos circuitos de condicionamento à plataforma Arduino e a montagem realizada para verificação do funcionamento dos circuitos de medição de tensão (circuito superior esquerdo), temperatura (circuito superior direito) e corrente (circuito inferior).

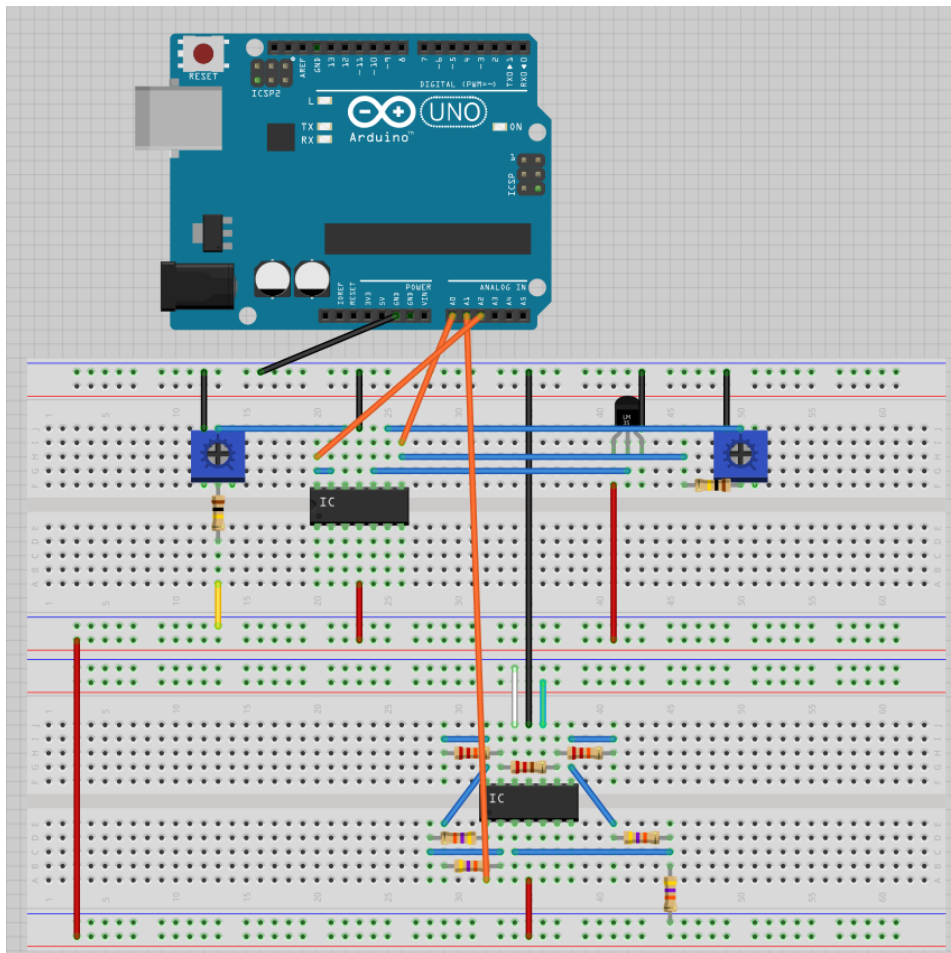


Figura 12. Esquema de ligação dos circuitos de condicionamento à plataforma Arduino.

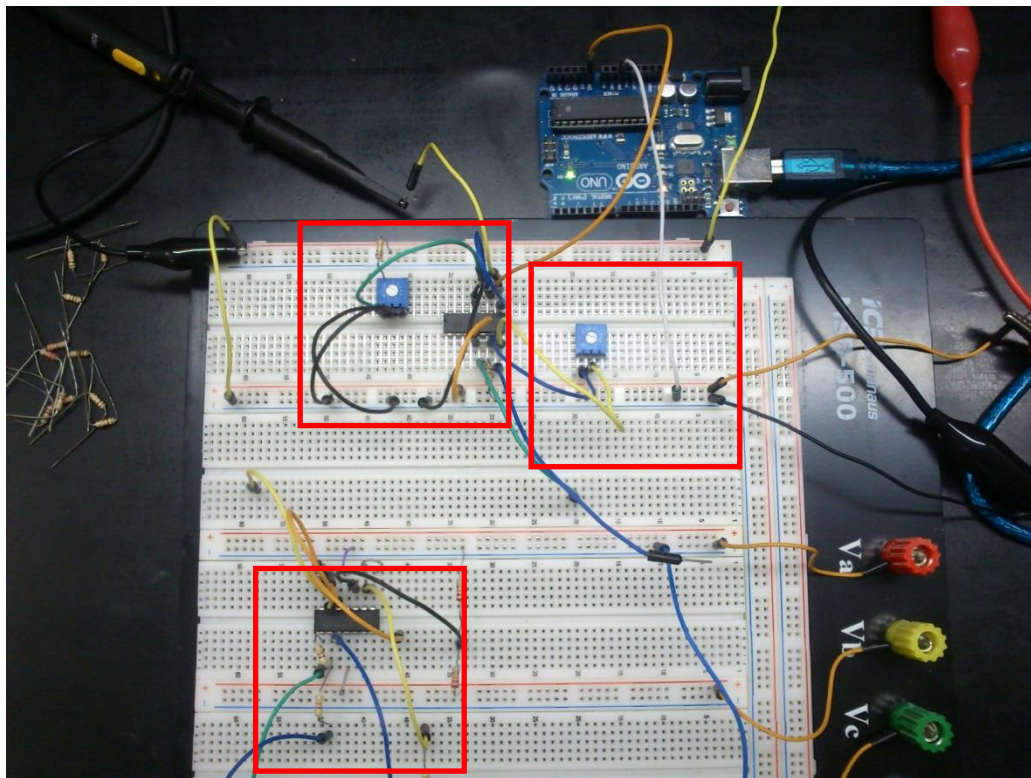


Figura 13. Montagem realizada.

4.3 DESENVOLVIMENTO DO SOFTWARE

A etapa de desenvolvimento do *software*, a qual não foi possível ser finalizada completamente durante a realização do estágio, e é sugerida como proposta futura, sem dúvidas, representa o ponto crítico do projeto. O desafio não é de maneira alguma a programação em si, mas a definição da lógica adequada para a determinação do estado de carga da bateria. A seguir são apresentadas as rotinas computacionais desenvolvidas para o microcontrolador assim como, a ideia inicial da lógica empregada para determinação do SoC.

4.3.1 ROTINAS COMPUTACIONAIS APLICADAS À PLATAFORMA ARDUINO UNO

A primeira rotina computacional desenvolvida para a plataforma Arduino utilizada no projeto do BMS tinha como funcionalidade realizar a medição da tensão, temperatura e corrente baseado na conversão A/D e estimar o estado de carga do acumulador a partir do método *Coulomb Counting*. Além disso, a rotina implementada foi escrita de modo a permitir o ligamento/desligamento de um relé para controle do

carregamento/descarregamento da bateria, através de um pino digital do Arduino, o qual era ativado quando a tensão da bateria atingia um certo limiar pré-definido.

Tendo em vista a decisão de utilizar o microcontrolador apenas para a aquisição dos dados dos circuitos de condicionamento e envio por meio da porta serial, uma nova rotina computacional foi desenvolvida. Nela, nenhum cálculo é realizado, apenas são coletados e enviados via comunicação serial os valores inteiros entre 0 e 1023 (resultado de uma conversão A/D de 10 bits de resolução), que correspondem a valores de tensão entre 0 e 5V. Desta forma, todo o esforço computacional é transferido do Arduino para um microcomputador, inclusive o esforço associado à lógica para estimação do estado de carga⁸.

LÓGICA PARA ESTIMAÇÃO DO SOC

O método para estimação do estado de carga escolhido foi baseado em metodologias que utilizam a medição da tensão de circuito aberto. Para o desenvolvimento de uma lógica que apresentasse um grau de precisão adequado foram realizados diversos testes com o auxílio de um equipamento específico para testes de baterias (Digatron), disponível no laboratório da empresa (ver figura 14), com baterias M60GD (com capacidade nominal de 60 Ah), cujo procedimento experimental é apresentado a seguir.

1. Carregar a bateria por 24h com tensão de 16V e corrente máxima de 5 vezes a corrente de C20⁹;
2. Repousar a bateria por 5h;
3. Realizar uma descarga de 10% da capacidade nominal a uma corrente constante;
4. Repousar a bateria por 5h;
5. Repetir os passos 3 e 4 até que a bateria atinja 0% de SoC.

⁸ O fato de utilizar-se um microcomputador para a realização dos cálculos permite que lógicas mais complexas, como aquelas baseadas em sistemas adaptativos, possam ser implementadas sem que seja necessária a substituição da plataforma de desenvolvimento anteriormente escolhida por outra com maior poder de processamento.

⁹ O termo “corrente de C20” refere-se ao valor da corrente necessária para descarregar completamente a bateria num período de 20 horas. Para uma bateria com capacidade nominal de 60 Ah, por exemplo, a corrente de C20 é de 3 A.

Durante cada teste realizado, as tensões das baterias foram armazenadas em um banco de dados para análise posterior. Na Figura 15 é apresentado o perfil da tensão elétrica em função do tempo para um dos testes feitos.



Figura 14. Realização dos testes laboratoriais.

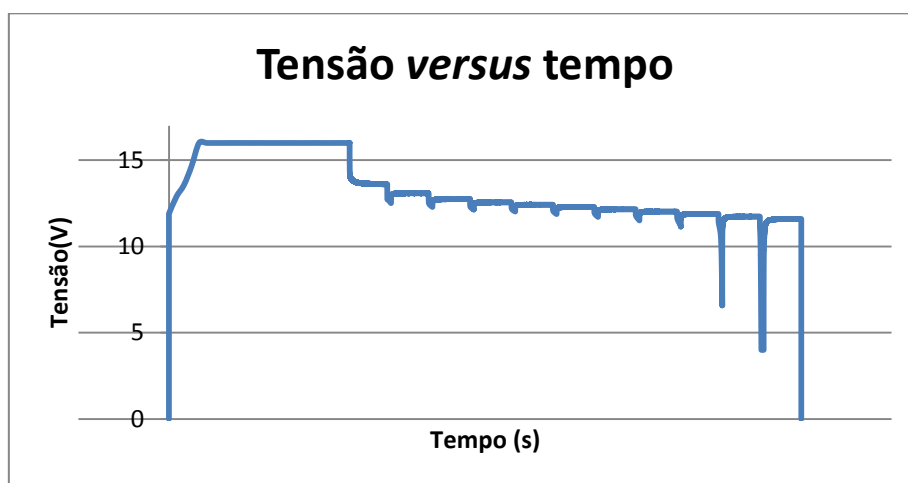


Figura 15. Perfil da tensão elétrica *versus* tempo para um teste realizado.

Como dito anteriormente, a etapa de desenvolvimento do *software* não foi concluída durante o estágio, já que a lógica para estimação do SoC ainda não estava bem definida. A ideia principal, portanto, é realizar testes de acordo com o procedimento apresentado para diversos valores de corrente e verificar, posteriormente, com a utilização de ferramentas estatísticas a relação entre a tensão de circuito aberto em estado permanente (alcançada após o repouso), a taxa de descarga e o tempo, de modo a obter ao final uma expressão que permita a estimação dessa tensão sem a

necessidade de se esperar horas de descanso. Tendo em mãos essa expressão, o estado de carga poderá ser calculado a partir da relação aproximadamente linear que ele possui com a OCV.

Nas Figuras 16 e 17 são apresentadas as curvas “SoC *versus* OCV” obtidas para baterias submetidas ao procedimento de teste citado com corrente de descarga de 12A e 45A, respectivamente. Nelas, a relação linear pode ser claramente observada¹⁰.

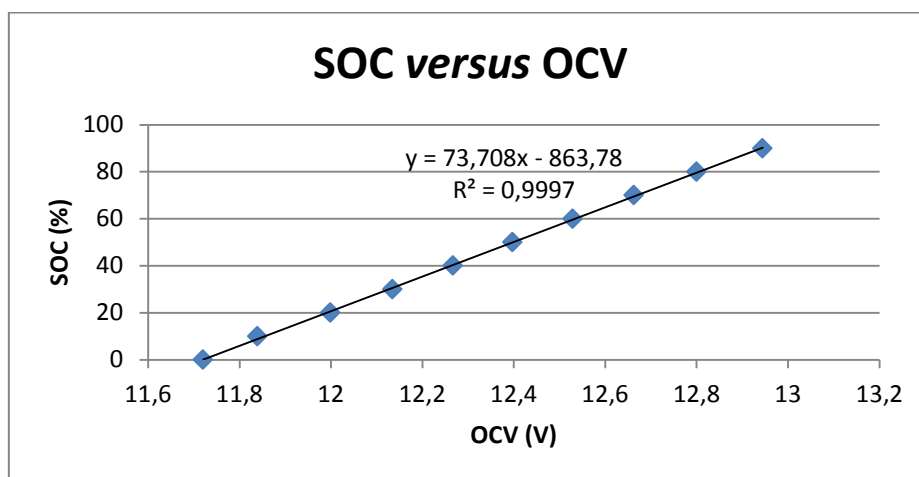


Figura 16. Gráfico do SoC *versus* OCV para uma bateria de 60Ah submetida a uma taxa de descarga de 12A.

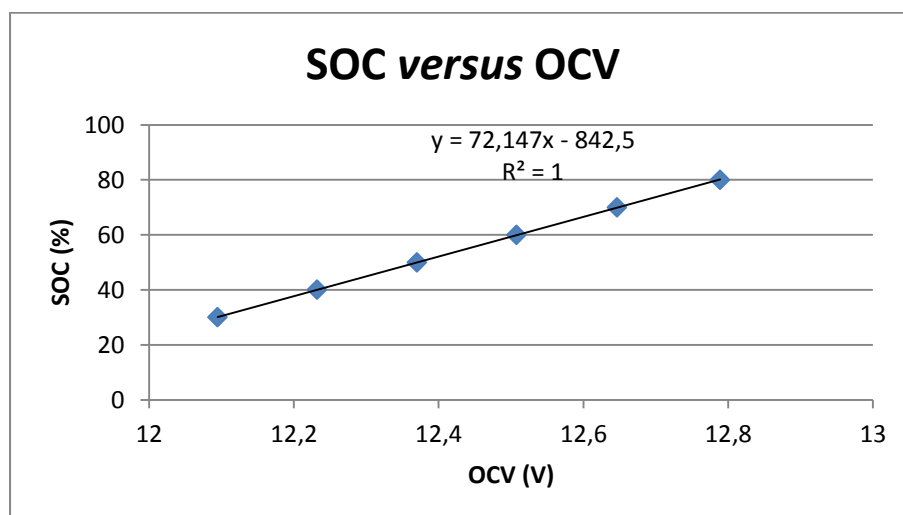


Figura 17. Gráfico do SoC *versus* OCV para uma bateria de 60Ah submetida a uma taxa de descarga de 45A.

¹⁰ O parâmetro R^2 apresentado nos gráficos, conhecido como coeficiente de determinação, é uma medida de ajustamento de um modelo estatístico linear generalizado em relação aos valores observados. Ele varia entre 0 e 1 e indica, em porcentagem, o quanto o modelo consegue explicar os valores observados. Quando maior o R^2 , melhor o modelo se ajusta à amostra.

Na Figura 18 é apresentada a curva média (ajustada linearmente) do gráfico “SoC versus OCV” para diversos testes realizados com correntes de descarga de 12A e 45A. Com o decorrer dos testes, espera-se obter o resultado de que a relação entre o SoC e a OCV se mantém praticamente a mesma independentemente da taxa de descarga aplicada.

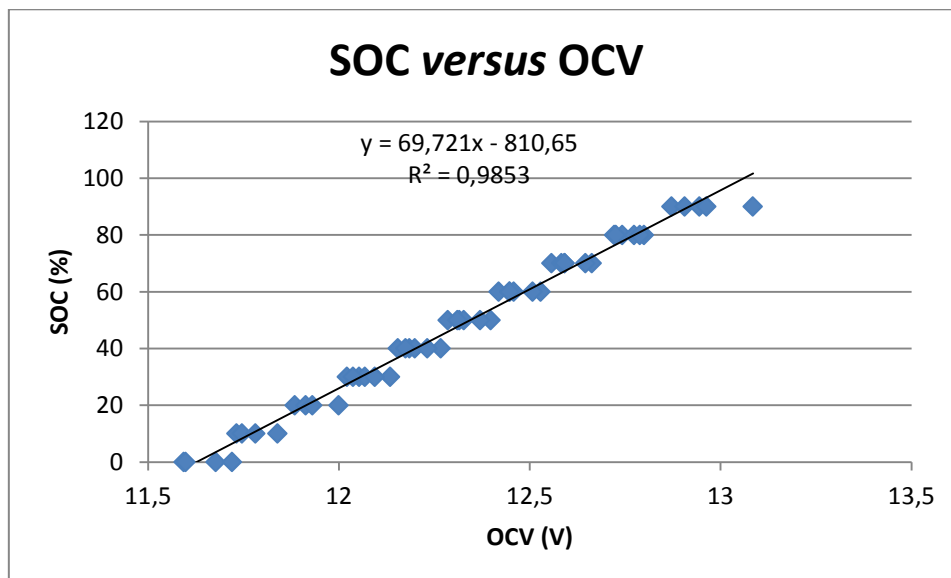


Figura 18. Gráfico do SoC versus OCV para testes realizados com baterias de 60Ah submetidas a taxas de descarga de 12A e 45A.

5 CONCLUSÃO

O trabalho realizado na empresa Acumuladores Moura foi de grande proveito para o estagiário tanto em relação ao campo profissional quanto ao pessoal. Por meio dele foi possível consolidar os conhecimentos adquiridos durante a formação acadêmica, assim como obter a experiência profissional que só o ambiente industrial é capaz de proporcionar. Cada treinamento, curso, evento, reunião de setor, reunião com outras empresas, nacionais ou internacionais, e, principalmente, as experiências advindas do dia-a-dia, permitiram ao aluno observar que, no mundo empresarial, antes de dominar qualquer conhecimento técnico, um bom engenheiro deve saber lidar com pessoas.

Em relação ao projeto específico do BMS, como citado anteriormente, não se chegou a um produto final propriamente dito, já que *a priori* a finalidade do trabalho desenvolvido não era essa. Apesar disso, tendo em vista que o principal objetivo era adquirir conhecimento acerca desse tipo de sistema, os resultados obtidos mostraram-se satisfatórios, chegando a receber a aprovação da gerência da empresa. A implementação de um dispositivo para estimação de SoC baseado em métodos mais simples, como o *Coulomb Counting* ou o de medição de tensão de circuito aberto (OCV), representa apenas o início do trabalho e serve como alicerce para o posterior desenvolvimento de um sistema mais robusto e complexo baseado em métodos adaptativos.

Por fim, são apresentadas ideias para possíveis trabalhos a serem desenvolvidos posteriormente.

- Desenvolvimento de um programa para PC que trate os dados de tensão, corrente e temperatura da bateria e obtenha o estado de carga;
- Desenvolvimento de uma lógica para cálculo de SoC com maior precisão;
- Desenvolvimento de um sistema dedicado completo, monitorado por PC/celular via comunicação sem fio, capaz de indicar os valores de tensão, temperatura, corrente e estado de carga.

REFERÊNCIAS

- AYLOR, James H.; THIEME, Alfred; Johnson, Barry W. A Battery State-of-Charge Indicator for Electric Wheelchairs. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 1992.
- BARCA, G.; MOSCHETTO, A.; SAPUPPO, C.; TINA, G. M.; GIUSTO, R.; GRASSO, A. D. An advanced SOC model for a stand-alone telecommunication system. *International Symposium on Power Electronics, Electrical Drives, Automation and Motion*, 2008.
- BARSALI, Stefano; CERAOLO, Massimo. Dynamical Models of Lead-Acid Batteries: Implementation Issues. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 2002.
- BECHERIF, M.; PÉRA, M. C.; HISSEL, D.; JEMEÏ, S. Estimation of the Lead-Acid Battery Initial State of Charge with Experimental Validation. *IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference*, Seoul, 2012.
- CABRAL, João. Baterias automotivas de chumbo-ácido. Belo Jardim, 2013.
- CHAGAS, Marcos Wilson Pereira. Novas tecnologias para avaliação de baterias. *Dissertação de Mestrado Profissionalizante*. Curitiba, 2007.
- CHANG, Wen-Yeau. The State of Charge Estimating Methods for Battery: A Review. *Hindawi Publishing Corporation. ISRN Applied Mathematics*, 2013.
- CERAOLO, Massimo. New Dynamical Models of Lead-Acid Batteries. *IEEE Transactions on Power Systems*, 2000.
- COLEMAN, M.; ZHU, C. B., LEE, C. K., HURLEY, W. G. A Combined SOC Estimation Method Under Varied Ambient Temperature for a Lead-Acid Battery. *Applied Power Electronics Conference and Exposition*, 2005
- COROBAN, V.; BOLDEA, I.; BLAABJERG, F. A Novel On-line State-of-Charge Estimation Algorithm for Valve Regulated Lead-Acid Batteries used in Hybrid Electric Vehicles. *Electrical Machines and Power Electronics*, 2007.
- DEEPTI, D. Jaya; RAMANARAYANA, V. State of Charge of Lead Acid Battery. *Proceedings of India International Conference on Power Electronics*, 2006.
- JACKEY, Robyn A. A Simple, Effective Lead-Acid Battery Modeling Process for Electrical System Component Selection. *The MathWorks, Inc.*, 2007.
- KARMAKAR, Subrata; CHANDNA, Abhishek. Development of On-Line Monitoring System for Valve Regulated Lead Acid (VRLA) Battery. *IEEE India Conference*, 2011.

- KAWAMURA, Atsuo; YANAGIHARA, Takahiro. State of Charge Estimation of Sealed Lead-Acid Batteries used for Electric Vehicles. IEEE Power Electronics Specialists Conference, 1998.
- MEDORA, Nosh K.; KUSKO, Alexander. An Enhanced Dynamic Battery Model of Lead-Acid Batteries Using Manufacturers' Data. Telecommunications Energy Conference, 2006.
- MOO, C. S.; NG, K. S.; CHEN, Y. P.; HSIEH, Y. C. State-of-Charge Estimation with Open-Circuit-Voltage for Lead-Acid Batteries. IEEE Power Conversion Conference – Nagoya, 2007.
- MOUBAYED, Nazih; KOUTA, Janine; EL-ALI, Ali; DERNAYKA, Hala; OUTLIB, Rachid. Parameter Identification of the Lead-Acid Battery Model. IEEE Photovoltaic Specialists Conference, 2008.
- NG, K. S.; HUANG, Y. F.; MOO, C. S.; HSIEH, Y. C. An Enhanced Coulomb Counting Method for Estimating State-of-Charge and State-of-Health of Lead-Acid Batteries. Telecommunications Energy Conference, 2009.
- NG, K. S.; MOO, C. S.; CHEN, Y. P.; HSIEH, Y. C. State-of-Charge Estimation for Lead-Acid Batteries Based on Dynamic Open-Circuit Voltage. 2nd IEEE International Conference on Power and Energy – Johor Baharu, 2008.
- RYNKIEWICZ, Robert. Discharge and Charge Modeling of Lead Acid Batteries. Applied Power Electronics Conference and Exposition, 1999.
- SATO, Shinya; KAWAMURA, Atsuo. A New Estimation Method of State of Charge using Terminal Voltage and Internal Resistance for Lead Acid Battery. Power Conversion Conference, 2002.
- SCHNEIDER, Matthias; ILGIN, Sergej; JEGENHORST, Niels; KUBE, Raik; PÜTTJER, Simon; RIEMSCHNEIDER, K.; VOLLMER, JÜRGEN. Automotive Battery Monitoring by Wireless Cell Sensors. IEEE Instrumentation and Measurement Technology Conference, 2012.
- SHEN, Yanqing; LI, Guangwei; ZHOU, Shanquan; HU, Yinquan; YU, Xiang. RBF Neural Network and Modified PID Controller Based State-of-Charge Determination for Lead-Acid Batteries. Proceeding of the IEEE International Conference on Automation and Logistics – China, 2008.
- VALDEZ, Miguel A. Cristín; VALERA, Jaime A. Orozco; ARTEAGA, Ma. Jojutla O. Pacheco. Estimating SOC in Lead-Acid Batteries Using Neural Networks in a Microcontroller-Based Charge-Controller. 2006 International Joint Conference on Neural Networks – Canada, 2006.