



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

**SISTEMA DE MONITORAMENTO DE BATERIAS CHUMBO-  
ÁCIDO ESTACIONÁRIAS PARA A DETERMINAÇÃO DO  
ESTADO DE CARGA E DO ESTADO DE SAÚDE**

Campina Grande, Paraíba

Março de 2017

REIRON RUAN DE OLIVEIRA LOPES

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE BATERIAS CHUMBO-  
ÁCIDO ESTACIONÁRIAS PARA A DETERMINAÇÃO DO  
ESTADO DE CARGA E DO ESTADO DE SAÚDE

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido  
à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande  
como parte dos requisitos necessários para a  
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Controle e Automação

Orientador:

Professor Saulo Oliveira Dornellas Luiz, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba

Março de 2017

REIRON RUAN DE OLIVEIRA LOPES

SISTEMA DE MONITORAMENTO DE BATERIAS CHUMBO-  
ÁCIDO ESTACIONÁRIAS PARA A DETERMINAÇÃO DO  
ESTADO DE CARGA E DO ESTADO DE SAÚDE

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à  
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da  
Universidade Federal de Campina Grande como parte dos  
requisitos necessários para a obtenção do grau de  
Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Controle e Automação

Aprovado em     /     /

---

**Professor Avaliador**

Universidade Federal de Campina Grande

Avaliador

---

**Professor Saulo Oliveira Dornellas Luiz, D. Sc.**

Universidade Federal de Campina Grande

Orientador, UFCG

## AGRADECIMENTOS

Principalmente aos meus pais, Iranete e Roberto, minha fonte de energia, agradeço por todo o investimento feito em mim e na minha educação, respeitando as minhas escolhas e acreditando nos meus sonhos mais do que eu jamais conseguirei. Minha jornada teria sido infinitamente mais difícil sem suas abdições diárias, preocupações e cuidado.

Agradeço à minha enorme família, de sangue e de consideração, meus filtros passa-alta, que torcem inabalavelmente comigo. São eles avôs, tios, primos, vizinhos, colegas de trabalho e tantos outros, sempre com palavras de força e incentivo a postos. Obrigado por entenderem minha ausência, meu estresse e minha angústia, e me retornarem apenas com orações e energias positivas.

Aos meus amigos e colegas de curso, meu banco de capacitores, os quais nunca me faltaram. Eles estão nas caronas, nas conversas descomprometidas, na companhia, nas mensagens, nas ligações. Cada um teve seu papel, seu ajuste fundamental e foram eles que me ajudaram a acordar todos os dias, às vezes literalmente, e continuar a travar batalhas diárias.

Ao Ramo Estudantil IEEE UFCG e seus voluntários e voluntárias, meus diodos, agradeço por me apontarem em novos e estimulantes caminhos. Com vocês aprendi o significado de entrega, dedicação e paixão pelo que se faz, e espero continuar contribuindo para o seu avanço, mesmo à distância.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica da UFCG, curso de Electrical and Electronic Engineering da Coventry University, meu protoboard, agradeço pela estrutura proporcionada, inspiração, lições e contribuições inenarráveis. Agradeço especialmente ao meu orientador pela oportunidade dada e pelo incrível exemplo em todos os sentidos.

Ao Universo, à aleatoriedade, à sorte, ao acaso, meu ruído branco, agradeço por todas as probabilidades, chances e situações inexplicáveis da minha vida.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: CIRCUITO ELÉTRICO DE RANGLES .....	12
Figura 2 METODOLOGIA DO MÉTODO DOS DOIS PULSOS .....	13
Figura 3: CARREGADOR DE BATERIA Fonte: Expert Charger 2016 .....	16
Figura 4: BATERIAS UTILIZADAS NOS TESTES. ....	17
Figura 5: ESQUEMA DE CARREGAMENTO DAS BATERIAS. ....	18
Figura 6: CARGA ELETRÔNICA DC N3300A – AGILENT Fonte: Keysight 2017. ....	19
Figura 7: $V_{max}$ DAS BATERIAS SUBMETIDAS A DIFERENTES CORRENTES VERSUS O ESTADO DE CARGA CORRESPONDENTE.....	21
Figura 8: C-RATE VS DELTA $V_2$ SOB CORRENTE VARIÁVEL. ....	22
Figura 9: DELTA $V_2$ DE BATERIAS ENVELHECIDAS VERSUS ESTADO DE CARGA.....	22

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DA BATERIA DF2000 .....	9
Tabela 2 ESPECIFICAÇÃO DO CARREGADOR .....	15
Tabela 3 ESTIMATIVA DE TEMPO DE CARGA.....	16
Tabela 4 ROTINA DE CARREGAMENTO DAS BATERIAS .....	18
Tabela 5 ROTINA DE DESCARREGAMENTO .....	20

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CC	Corrente Contínua
DOD	<i>Depth of Discharge</i>
EIS	<i>Electrochemical Impedance Spectroscopy</i>
EPI	Equipamento de Proteção Individual
SOC	<i>State of Charge</i>
SOH	<i>State of Health</i>

# SUMÁRIO

Lista de Ilustrações .....	1
Lista de Tabelas.....	2
Lista de Abreviaturas e Siglas .....	3
Sumário .....	4
1 Introdução.....	5
2 Baterias Chumbo-Ácido estacionárias.....	7
2.1 Tensão Nominal .....	7
2.2 Capacidade Nominal .....	7
2.3 Estado de Carga .....	8
2.4 Máxima Capacidade.....	8
2.5 Tensão de Carga Máxima .....	8
2.6 Corrente de Descarga Nominal .....	8
2.7 Capacidade à Tensão Nominal.....	8
2.8 Especificações Gerais .....	9
3 Atividades Desenvolvidas .....	10
3.1 Estudo da Documentação das Baterias .....	10
3.2 Pesquisa e Desenvolvimento de um modelo para SOC e SOH.....	11
3.2.1 <i>Electrochemical Impedance Spectroscopy (EIS)</i> .....	11
3.2.2 Método da resistência interna via SOC.....	12
3.2.3 Teste de descarga total.....	13
3.2.4 Método dos dois pulsos .....	13
3.2.5 Conclusão .....	14
3.3 Processo de Aquisição de Dados .....	15
3.3.1 Carregamento da Bateria .....	15
3.3.2 Descarregamento da Bateria .....	19
4 Resultados Parciais Obtidos .....	21
5 Considerações Finais .....	24
Bibliografia.....	25

# 1 INTRODUÇÃO

Este documento, apresentado sob forma de relatório, descreve de maneira sequencial as principais atividades desenvolvidas pelo estagiário Reiron Ruan de Oliveira Lopes sob a supervisão dos professores Saulo Oliveira Dornellas Luiz e Jaidilson Jó da Silva. O estágio foi realizado junto ao Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva, correspondente ao estágio supervisionado discente, prestado no período de 28 de novembro de 2016 a 21 de fevereiro de 2017, com uma carga horária de 20 horas semanais, totalizando uma carga horária de 204 horas, superior à carga horária mínima definida de 180 horas.

O estagiário foi alocado no projeto da Johnson Controls, integrando a equipe de modelos analíticos de baterias. O estágio de engenharia realizado teve como objetivo principal a consolidação dos conhecimentos adquiridos no curso de graduação em Engenharia Elétrica, unindo a base técnica à aplicação dos conhecimentos em pesquisa e desenvolvimento. Além do discente, a equipe de Controle possuía a seguinte composição:

- 1 Coordenadora da equipe, doutoranda em Engenharia Elétrica, a qual o estagiário reportava suas atividades e recebia direcionamentos;
- 1 Graduando em Engenharia Elétrica;
- 1 Mestrando em Engenharia Elétrica;

Os objetivos específicos traçados ao início do estágio, que foram listados no Plano de Estágio criado para a discente, foram:

- Especificação de componentes de *hardware* e *software*;
- Criação de diagramas de blocos para modelos em Simulink;
- Desenvolvimento de *scripts* no *software* MATLAB;
- Desenvolvimento de *software* para sistemas embarcados;
- Integração de componentes de *hardware* e *software*;
- Documentação.

Com ênfase na área de Controle e Automação, as atividades aqui detalhadas buscaram ajudar na construção de um sistema de monitoramento de baterias chumbo-ácido estacionárias vinculado ao projeto da Johnson Controls, visando medir grandezas

de uma bateria para modelos embarcados em um sistema microcontrolado a fim de se estimar os estados de carga (SOC) e de saúde (SOH) da bateria.

Inicialmente, o estagiário passou por um processo de adaptação, visto que o projeto já estava em andamento, para assim, ter o embasamento necessário para a execução das atividades que lhes foram atribuídas. Além do conhecimento técnico, foi necessário compreender o funcionamento do controle do sistema, bem como suas limitações, e conhecer a rotina dos seus colegas de equipe.

O trabalho está dividido em 3 capítulos, sequenciados de modo a garantir a compreensão gradativa de todas as atividades realizadas. O Capítulo 2 visa trazer alguns conceitos sobre as especificações necessárias para o desenvolvimento de atividades e estudo das baterias chumbo-ácido. Posteriormente, no Capítulo 3, são relatadas as atividades desenvolvidas pelo estagiário, expondo sua importância e detalhando seu processo de execução. Finalmente, os resultados parciais obtidos são apresentados no Capítulo 4. Ao final, seguem as conclusões, e referências bibliográficas.

## 2 BATERIAS CHUMBO-ÁCIDO ESTACIONÁRIAS

Criada pelo médico francês Gaston Planté em 1859, a bateria de chumbo ácido foi a primeira bateria recarregável para uso comercial. Apesar de ter surgido no século XIX, a química dessa bateria continua a ser amplamente utilizada. Há boas razões para a popularidade dessa bateria: chumbo ácido é confiável e barato em seu custo-benefício. Existem poucas outras baterias que fornecem energia tão barata quanto chumbo ácido, e isso torna a bateria econômica para automóveis, carros de golfe, empilhadeiras e fontes de alimentação ininterrupta.

Tendo em vista o estudo de baterias chumbo ácido estacionárias, nas seções seguintes serão apresentadas algumas de suas especificações, baseado no relatório de atividades prévias do projeto. (Equipe Embedded/UFCG, 2016)

### 2.1 TENSÃO NOMINAL

Para baterias de chumbo-ácido, o valor de tensão nominal de um elemento é de 2V. Dessa forma, a tensão nominal da bateria - como um todo - equivale ao produto entre a tensão de um elemento pela quantidade de células conectadas em série. Logo, se a bateria possui 6 células conectadas em série, a tensão nominal da bateria é de  $2 \text{ (Volts)} \times 6 \text{ (células)} = 12\text{V}$ .

### 2.2 CAPACIDADE NOMINAL

A capacidade nominal da bateria é a capacidade em Ampère-hora definida para um regime de descarga em horas, com corrente constante à temperatura de referência (25°C), até a tensão final de 1,75 V por elemento, ou seja, 10,5 V para a bateria como um todo. Para a DF2000, bateria utilizada nos testes desse relatório, o valor deste parâmetro é de 94Ah.

<sup>1</sup> Disponível em [https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Freedom\\_Baterias\\_Estacionarias\\_especificacoes\\_tecnicas\\_pt.pdf](https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Freedom_Baterias_Estacionarias_especificacoes_tecnicas_pt.pdf), acesso em 12/03/17.

## 2.3 ESTADO DE CARGA

O estado de carga (SOC) é um valor percentual correspondente à carga inicial da bateria com relação à sua capacidade nominal. A relação entre estado de carga e profundidade de descarga (DOD) é justamente  $SOC = 100 - DOD (\%)$ .

## 2.4 MÁXIMA CAPACIDADE

A capacidade máxima da bateria DF2000 é de 115Ah. Este valor pode ser encontrado nas especificações de cada bateria. Nesse relatório encontra-se presente na seção de especificações gerais.

## 2.5 TENSÃO DE CARGA MÁXIMA

Estudos prévios realizados pelo projeto da Johnson Controls no presente laboratório por meio da observação dos gráficos de curva de descarga presentes no manual técnico das baterias estudadas, e dos *logs* de carga e descarga obtidos com a própria fabricante revelaram que o valor deste parâmetro é de 13 V.

## 2.6 CORRENTE DE DESCARGA NOMINAL

A corrente de descarga utilizada para comparação equivale ao necessário para descarregar a bateria em 10 horas. Para a bateria em questão, a DF2000, o valor utilizado é 9,4A.

## 2.7 CAPACIDADE À TENSÃO NOMINAL

Para calcular este parâmetro, é necessário conhecer precisamente a tensão nominal (item 2.1) e a corrente de descarga nominal (item 2.6). Em seguida, determina-se a capacidade obtida extraída em uma descarga até que o valor de tensão seja inferior à tensão nominal.

Consideremos como exemplo uma bateria de tensão nominal de 12V e corrente nominal de descarga de 2,4A. A partir dos *logs* de carga e descarga fornecidos pelo

<sup>1</sup> Disponível em

[https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Freedom\\_Baterias\\_Estacionarias\\_especificacoes\\_tecnicas\\_pt.pdf](https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Freedom_Baterias_Estacionarias_especificacoes_tecnicas_pt.pdf), acesso em 12/03/17.

fabricante, sabe-se que a bateria leva cerca de 8,5 horas a uma corrente de descarga de 2,4A para que sua tensão fique abaixo dos 12V. Conclui-se então que a capacidade extraída neste período é  $8,5h \times 2,4A = 20,4Ah$ .

## 2.8 ESPECIFICAÇÕES GERAIS

As especificações gerais de uma bateria chumbo-ácido estacionária geralmente são tabeladas pelo fabricante e fornecidas em manuais, conforme apresentado na Tabela 1, retirada do manual do fabricante da bateria estudada.

TABELA 1: PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DA BATERIA DF2000.  
FONTE: NEOSOLAR<sup>1</sup>, 2017.

<b>Característica</b>	<b>Especificação</b>	<b>Valores</b>
<b>Capacidade @ 25°C (Ah)</b>	10h	94
	20h	105
	100h	115
<b>Dimensões (mm)</b>	Comprimento	330
	Largura	172
	Altura	240
<b>Peso (Kg)</b>		27,1
<b>Torque</b>	Mínimo	13,6 N.m
	Máximo	20,3 N.m
<b>Tensão de Flutuação</b>		de 13,2 a 13,8V @ 25°C
<b>Tensão de carga / equalização</b>		de 14,4 a 15,5V @ 25°C*
<b>Compensação de temperatura</b>		Para cada 1°C acima de 25°C, subtrair 0,033V Para cada 1°C acima de 25°C, adicionar 0,033V

<sup>1</sup> Disponível em [https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Freedom\\_Baterias\\_Estacionarias\\_especificacoes\\_tecnicas\\_pt.pdf](https://www.neosolar.com.br/media/pdf/manuais/Freedom_Baterias_Estacionarias_especificacoes_tecnicas_pt.pdf), acesso em 12/03/17.

### 3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

No decorrer do estágio, foram realizadas atividades estabelecidas de acordo com a programação mensal de atividades do projeto. Foram propostas atividades mensais correspondentes às etapas de desenvolvimento do sistema:

- Atividade 1:
  - ✓ Estudo da documentação das baterias.
- Atividade 2:
  - ✓ Pesquisa e estudo acerca dos atuais modelos de monitoramento de baterias;
  - ✓ Escolha do modelo a ser implementado de acordo com as limitações impostas pelas especificações do projeto.
- Atividade 3:
  - ✓ Carga e descarga de baterias;
  - ✓ Validar o modelo do projeto.

Neste capítulo, as atividades desenvolvidas pelo estagiário serão listadas e, para cada uma delas, os objetivos, a importância e os resultados serão detalhados.

#### 3.1 ESTUDO DA DOCUMENTAÇÃO DAS BATERIAS

Como dito anteriormente, o estagiário precisou passar por um processo de adaptação, visto que o projeto da Johnson Controls já se encontrava em desenvolvimento muito antes de sua entrada. De modo a obter um embasamento apropriado para a execução das atividades que lhes foram atribuídas, foi-lhe indicado realizar um estudo da documentação das baterias para obter o conhecimento técnico necessário.

Essa pesquisa ocorreu principalmente por meio da leitura de documentações previamente escritas pela equipe do projeto da Johnson Controls. Muitos outros dados cruciais foram aprendidos com esse estudo, como o manuseio da carga eletrônica DC e a interface de controle Arduíno/MATLAB/Simulink.

Vale lembrar que essa etapa foi recorrente durante o estágio, uma vez que, por vezes, os conceitos básicos precisam ser revistos ou reestudados. Essa etapa também

comprovou a importância em documentar informações e atividades, visto que a adaptação do estagiário teria sido bem mais difícil caso ele não tivesse tais conceitos básicos facilmente a sua disposição.

## 3.2 PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE UM MODELO PARA SOC E SOH

Passado o processo de estudo das baterias, a próxima atividade definida, de acordo com a demanda do projeto, foi a pesquisa e desenvolvimento de um modelo que servisse para, por meio da medição de grandezas da bateria, fornecer o estado de carga e o estado de saúde. Esse modelo deveria atender às especificações do projeto tanto na factibilidade diante do tempo disponível quanto em termos de precisão das variáveis e de restrições de *hardware*, assim como a amplitude das correntes necessárias para as descargas.

A importância desse modelo dá-se pelos dois fatores desejados, o SOC e o SOH, como explicitado em seções anteriores, afinal são dados de vital importância para todos aqueles que utilizam baterias no contexto de um negócio. Determinado esses fatores, é possível diminuir prejuízos e trabalhar mais eficientemente.

Os métodos pesquisados vão ser discutidos nos tópicos a seguir, exemplificando suas metodologias, fontes de pesquisa, assim como seus prós e contras de implementação. Os resultados finais serão discutidos no último tópico dessa seção.

### 3.2.1 *ELECTROCHEMICAL IMPEDANCE SPECTROSCOPY* (EIS)

O método EIS consiste em aplicar à bateria um sinal de tensão senoidal, e a partir dele registrar o comportamento da corrente. A partir destas duas medições, deve ser encontrada a resposta em frequência da função de transferência cuja entrada é a tensão, e a saída a corrente. A partir da resposta em frequência, devem ser estimados os valores das resistências e da capacitância que compõem o modelo elétrico apresentado na Figura 1, conhecido como modelo básico de Randles.

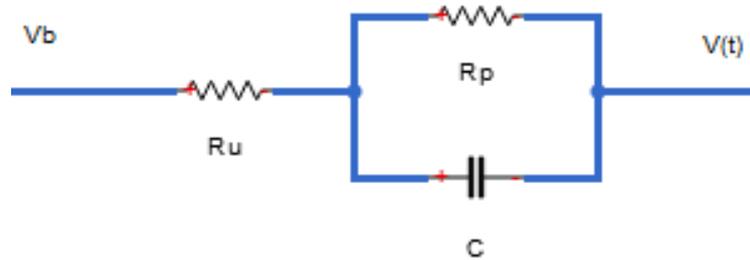


FIGURA 1: CIRCUITO ELÉTRICO DE RANDES.

Uma vez que os valores dos componentes foram estimados, o SOH de uma bateria arbitrária pode ser calculado a partir da fórmula a seguir (Nguyen, Tran, & Choi, 2014).

$$SOH_{arbitraria} = \frac{R_{atual} - R_{envelhecida}}{R_{nova} - R_{envelhecida}} \quad (1)$$

Uma das vantagens do método é que não é necessário saber o histórico da bateria para calcular o SOH, assim como não é necessário calcular o SOC para se encontrar o SOH. Durante a aplicação do teste, o tempo de teste é curto, no entanto, o seu desenvolvimento é bastante complexo, além de que é necessário um histórico da variação da resistência interna da bateria, e com isso os testes para estimar o modelo precisam cobrir toda sua vida.

### 3.2.2 MÉTODO DA RESISTÊNCIA INTERNA VIA SOC

Yang e Huang propuseram um método para estimar a capacidade residual da bateria (SOC) por meio da sua resistência interna estimada a partir das medições de tensão de descargas de diferentes correntes (Yang & Huang, 2014). Uma vez processados tais medições, pode-se obter uma curva que relaciona a resistência interna e o SOC. Assim, descarregando a bateria até sua tensão limite, pode-se determinar em Ampère-hora o SOC, e conseqüentemente, a capacidade total da bateria. Com a capacidade total disponível, e considerando que a capacidade total da bateria, em situação nominal, decai linearmente até o final da sua vida, pode-se determinar o SOH.

Entre suas vantagens estão o fato de que não é necessário saber o histórico da bateria, e para estimar o modelo necessita-se apenas de descargas a correntes diferentes. Apesar da duração do teste poder ser longa, uma vez que depende do SOC inicial da bateria, seu desenvolvimento é simples. Já algumas de suas desvantagens são que a

precisão do modelo é baixa, já que a variação da resistência interna no intervalo de SOC de 30%-100% é bastante pequena. O tempo de teste pode durar algumas horas, e para estimar o modelo, os testes precisam cobrir toda a vida da bateria. Outro agravante é que não existe confirmação de que os parâmetros são constantes durante a vida da bateria.

### 3.2.3 TESTE DE DESCARGA TOTAL

O teste consiste em aplicar uma descarga total na bateria e medir a carga entregue. Essa medição é então comparada com a carga de uma bateria nova. Este método apresenta duas principais desvantagens, o tempo necessário para as cargas e descargas da bateria além de que a realização contínua dos testes diminui o tempo de vida da bateria. Porém entre suas vantagens estão que não é requerido quase nenhum desenvolvimento prévio do modelo e poder ser considerado preciso dependendo de quais instrumentos são utilizados.

### 3.2.4 MÉTODO DOS DOIS PULSOS

Marchildon, Doumbia e Agbossou propuseram a técnica *Two-Pulse Load Test* para a determinação do SOC e SOH. O método foi aplicado em baterias com capacidade de 180 Ah. A partir da determinação dos parâmetros da bateria, a aplicação da técnica permite uma rápida estimativa do SOC e SOH. Na Figura 2, temos o esquema do teste. O primeiro pulso é utilizado como uma *historical eraser* que diminui a influência do histórico da bateria nas medições e obtém o valor de tensão. O segundo pulso permite a observação da variação de tensão  $\Delta V_2$ . O terceiro pulso é aplicado para descarregar a bateria em uma porcentagem conhecida. Os pulsos são aplicados até que a bateria descarregue.

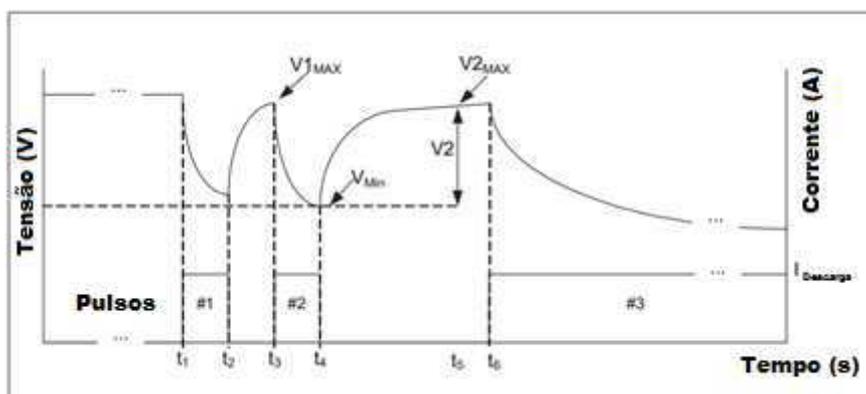


FIGURA: 2 METODOLOGIA DO MÉTODO DOS DOIS PULSOS. FONTE: MARCHILDON, DOUMBIA E AGBOSSOU, 2015.

Sendo os parâmetros  $\alpha, \beta, \gamma$  e  $\delta$  estimados de maneira recursivas,  $AHC$ , a capacidade da bateria em Ah e  $EMF_{MIN}$  a tensão para  $SOC = 0$ . Valores obtidos de  $V_{1MAX}$  e  $\Delta V_2$  são aplicados nas equações:

$$SOC = \frac{V_{1MAX} + \beta - EMF_{MIN}}{\alpha} \quad (2)$$

$$C_R = \delta(\Delta V_2) + \gamma \quad (3)$$

$$AHC = \frac{1}{C_R} \quad (4)$$

$$SOH = \frac{AHC_{REAL}}{AHC_{NOM}} \quad (5)$$

A determinação dos parâmetros  $\alpha$  e  $\beta$  é feita a partir dos dados obtidos pela curva  $V_{1MAX}$  vs SOC, sendo assim necessário, ao longo da descarga, medir o SOC e sua tensão respectiva. O mesmo ocorre para os parâmetros  $\gamma$  e  $\delta$  que são estimados a partir da curva  $C_R$  vs  $\Delta V_2$ .

Para a utilização desse método é preciso realizar experimentos para obter os valores do SOC,  $V_{1MAX}$ ,  $C_R$  e  $\Delta V_2$ , e partir das equações do SOC e  $C_R$  estimar os parâmetros  $\alpha, \beta, \gamma$  e  $\delta$ . Realizando as medições necessárias, o método tem uma fácil aplicação, enquanto a única dificuldade encontra-se na impossibilidade de uma medição do SOC.

### 3.2.5 CONCLUSÃO

Com base nos métodos pesquisados, é possível chegar a algumas conclusões. É notório que o método mais simples de ser desenvolvido é o teste de descarga total, porém ele também é o mais lento para estimar o SOH. Além do que existe uma grande desvantagem em relação ao desgaste da bateria.

Por outro lado, o método mais rápido para estimar o SOH é o *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS), no entanto ele também acaba sendo o mais complexo de ser desenvolvido. Dessa forma, o mais viável entre os métodos pesquisados foi o método dos dois pulsos, visto que ele não é lento e possui uma fácil aplicação, entrando nas especificações do projeto.

### 3.3 PROCESSO DE AQUISIÇÃO DE DADOS

Passado o processo de escolha do método, foi possível começar a construir o modelo. O modelo de baterias da linha *Freedom* utilizada foi da DF2000, da qual todos os dados foram extraídos. Essa seção foca na rotina manual de aquisição de dados, que começa desde o carregamento da bateria até o processo de descarregamento, quando os dados são analisados.

#### 3.3.1 CARREGAMENTO DA BATERIA

O carregador utilizado para o processo de carregamento das baterias foi o Expert Charger P16. Suas especificações encontram-se na Tabela 2.

TABELA 2: ESPECIFICAÇÃO DO CARREGADOR. FONTE: EXPERT CHARGER<sup>2</sup>, 2007.

Característica	Especificação	Valores
<b>Tensão</b>	Chave Seletora	127/220 V
<b>Consumo</b>	Flutuação	15 W
<b>Carga Máxima</b>	-	16 A
<b>LED Indicador</b>	Polo Invertido	-
<b>LED Indicador</b>	Proteção	-
<b>LED Indicador</b>	Conectado à Bateria	-
<b>LED Indicador</b>	Carga Completa	-
<b>Carga de Repouso</b>	-	200 mA
<b>Saída</b>	Variável	14 Vcc
<b>Potência Máxima</b>	-	150 W

A característica do carregador que possuía mais ênfase de atenção diária eram os LEDs indicadores, principalmente o “conectado à bateria” e “carga completa”. O primeiro, referente à conexão da bateria tem apenas dois estados: aceso ou apagado. O segundo, no entanto, tem mais variações de estado. “Aceso” significa que a bateria está carregando, enquanto que o LED piscando significa que a bateria está carregada. A intensidade da frequência que o LED pisca também difere de situação a situação.



FIGURA 3: CARREGADOR DE BATERIA FONTE: EXPERT CHARGER<sup>2</sup>, 2017.

Outro dado interessante fornecido pelo manual do carregador é o tempo estimado de carga de acordo com a capacidade da bateria, e assumindo que ela foi posta para carregar a partir do seu limite de 10,5 V. Através dessas informações, exemplificadas na tabela abaixo, é que foi definido o tempo de carga das baterias.

TABELA 3: ESTIMATIVA DE TEMPO DE CARGA.

Capacidade da Bateria	Tempo Estimado de Carga
Entre 7 Ah e 40 Ah	7 horas
Entre 40 Ah e 80 Ah	8 horas
Entre 80 Ah e 120 Ah	10 horas

Todo o tratamento com as baterias é feito com o máximo de cuidado. Logo, uma série de recomendações de segurança foram aplicadas, entre elas:

- Uso de equipamentos de proteção individual (EPI's) (botas tipo eletrícista, calças longas, batas) para evitar acidentes durante o manuseio com a bateria;

<sup>2</sup> Disponível em [http://www.expertcharger.com.br/loja/produto-265395-1101-carregador\\_de\\_bateria\\_12\\_volts\\_16a\\_automatico\\_inteligente\\_com\\_flutuador\\_p16\\_expert\\_charger\\_1\\_ano\\_de](http://www.expertcharger.com.br/loja/produto-265395-1101-carregador_de_bateria_12_volts_16a_automatico_inteligente_com_flutuador_p16_expert_charger_1_ano_de), acesso em 15/03/17.

- Checar se a conexão dos polos do carregador está correta antes de alimentar o carregador de fato;
- Certificar-se de que não está ocorrendo curto-circuito entre os polos da bateria;
- Realizar o carregamento da bateria em um local reservado da sala, onde não haja intensificada movimentação, reduzindo a chance de acidentes.
- Estar atento para qualquer sinal de vazamento de chumbo ácido;

Em um certo momento, algumas baterias necessitaram de cargas de 24 horas. Dessa forma, alguns procedimentos de segurança extra necessitaram ser atendidos de modo a garantir que nenhum acidente ocorresse. Para utilizar a sala enquanto a bateria carrega, a porta poderia manter-se fechada, no entanto a janela deveria manter-se aberta para evitar a concentração do gás.

Baterias em diferentes momentos das suas vidas úteis foram utilizadas para diversificar os dados a serem incorporados ao modelo. Apesar de não ter a certeza do SOH específico de nenhuma das baterias – visto que a proposta do próprio projeto é justamente elaborar um equipamento que forneça essa informação – etiquetas foram usadas para identificar a estimativa de uso das baterias.



FIGURA 4: BATERIAS UTILIZADAS NOS TESTES.

Visando manter um maior controle e organização da sequência de carga das baterias, foi elaborada uma tabela a ser seguida, de forma que o primeiro estagiário a chegar no laboratório pudesse realizar o procedimento sem grandes dificuldades.

TABELA 4: ROTINA DE CARREGAMENTO DAS BATERIAS.

<b>Dia</b>	<b>Bateria a ser carregada</b>
Quinta 02/02/17	Bateria V (meia-vida)
Sexta 03/02/17	Bateria III (nova)
Segunda 06/02/17	Bateria IV (velha)
Terça 07/02/17	Bateria III (nova)
Quarta 08/02/17	Bateria V (meia-vida)
Quinta 09/02/17	Bateria IV (velha)
Sexta 10/02/17	Bateria III (nova)
Segunda 13/02/17	Bateria V (meia-vida)

Para finalizar a explicação do processo de carga das baterias, a seguir temos uma figura que exemplifica a forma como as baterias foram carregadas.



FIGURA 5: ESQUEMA DE CARREGAMENTO DAS BATERIAS.

### 3.3.2 DESCARREGAMENTO DA BATERIA

Para o descarregamento das baterias, foi utilizada uma carga eletrônica DC (N3300A – Agilent) comumente usada para projeto, fabricação e avaliação de fontes de alimentação CC, baterias e componentes de energia. Visto que o método escolhido, EIS, exige que, para a construção do modelo, seja aplicada uma sequência de pulsos de corrente contínua em tempos fixos e específicos, a carga DC é necessária para automatizar esse processo e garantir a padronização dos resultados.



FIGURA 6: CARGA ELETRÔNICA DC N3300A – AGILENT FONTE: KEYSIGHT<sup>3</sup>, 2017.

De acordo com as pesquisas descritas no tópico anterior, foram definidos os parâmetros referentes à largura dos pulsos, assim como o módulo da corrente aplicada do método *Electrochemical Impedance Spectroscopy* (EIS). Os valores escolhidos variavam entre 5 e 25 A, visto que não podiam ultrapassar a máxima corrente imposta pela carga DC (valor) e os tempos de descarga não podiam extrapolar muito mais que 10 horas – tempo útil disponível com estagiários monitorando o processo de descarga da bateria.

Dessa forma, além de um planejamento das descargas que seriam realizadas, também foi necessário que os estagiários montassem um revezamento para cobrir o horário do almoço – entre 12:00 e 14:00 horas – durante os dias de testes com as baterias.

A bateria era monitorada por um circuito divisor de tensão que tinha como principal de adequar a medição de tensão da bateria na entrada de tensão no arduino

<sup>3</sup> Disponível em <http://www.keysight.com/pt/pc-1000000168%3Aeapsg%3Aapgr/dc-electronic-loads?cc=BR&lc=por>, acesso em 15/03/17.

(devido ao limite de 5V imposto pelos seus terminais) que processava as informações e exportava para a interface do MATLAB.

Os mesmos procedimentos de segurança descritos na seção anterior, referentes a carga da bateria, também foram necessários durante sua descarga. Além do que em muitos momentos esses processos ocorriam simultaneamente. Adicionalmente aos procedimentos adotados, utilizou-se de um óculos de proteção transparente como equipamento de proteção individual.

TABELA 5: ROTINA DE DESCARREGAMENTO.

<b>Dia</b>	<b>Bateria a ser descarregada</b>	<b>Tipo de descarga</b>
Quinta 02/02/17	Bateria IV (velha)	CC à 20 A
Sexta 03/02/17	Bateria V (meia-vida)	CC à 15 A
Segunda 06/02/17	Bateria III (nova)	CC à 20 A
Terça 07/02/17	Bateria IV (velha)	CC à 15 A
Quarta 08/02/17	Bateria III (nova)	CC à 15 A
Quinta 09/02/17	Bateria V (meia-vida)	5 pulsos e CC à 9.4 A
Sexta 10/02/17	Bateria IV (velha)	5 pulsos e CC à 9.4 A
Segunda 13/02/17	Bateria III (nova)	5 pulsos e CC à 9.4 A

## 4 RESULTADOS PARCIAIS OBTIDOS

Após a aquisição dos dados, o próximo passo foi processá-los a fim de obter gráficos que possam comprovar a validade do modelo em relação ao método desenvolvido por Marchildon, Doumbia e Agbossou.

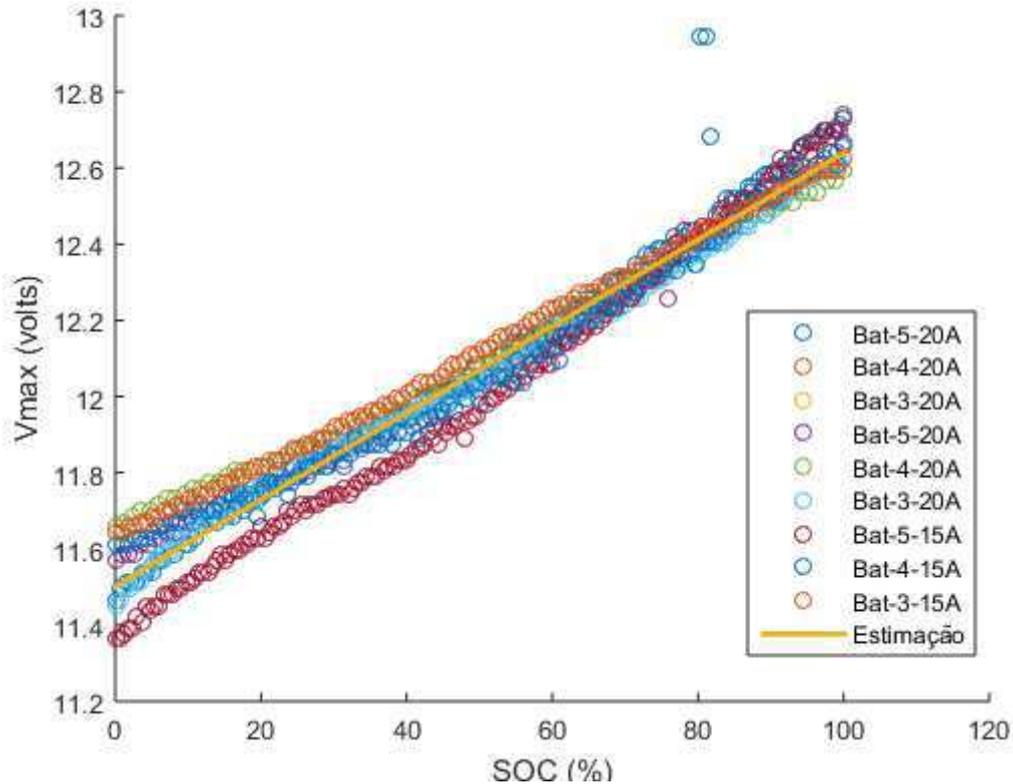


FIGURA 7:  $V_{max}$  DAS BATERIAS SUBMETIDAS A DIFERENTES CORRENTES VERSUS O ESTADO DE CARGA CORRESPONDENTE.

Na Figura 7, temos o contraste entre a tensão máxima atingida pela bateria (tensão essa que é o valor máximo de recuperação após submetido o primeiro pulso contínuo de corrente) e o estado de carga da bateria. Como era de se esperar, o  $V_{max}$  diminui com o SOC da bateria, limitado por seu tempo de recuperação entre pulsos. A mais importante observação do gráfico, porém, é a relação linear entre os dados, podendo observar que a reta de estimacão é bastante apropriada para os dados coletados.

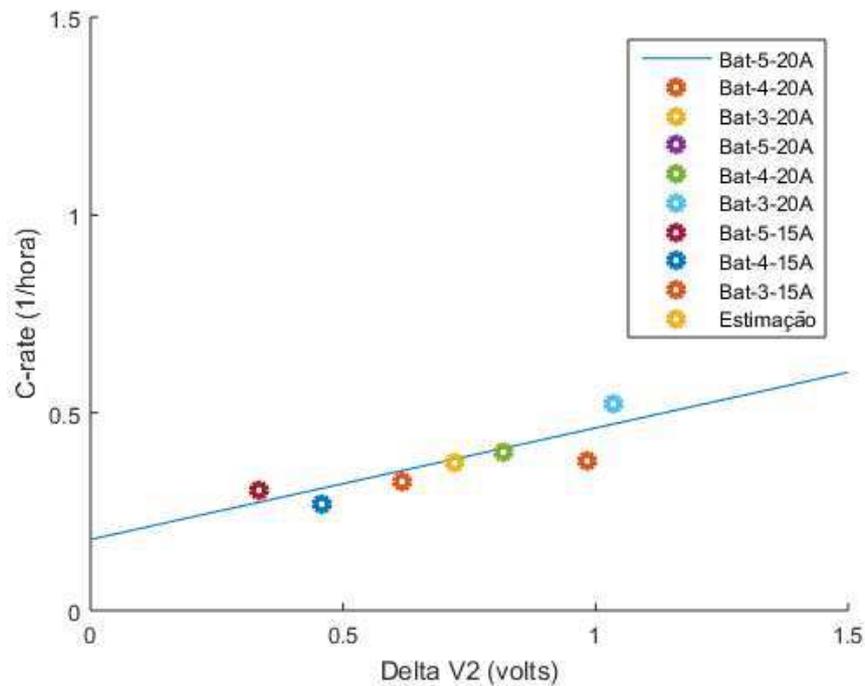


FIGURA 8: C-RATE VS  $\Delta V_2$  SOB CORRENTE VARIÁVEL.

Análise semelhante pode ser aplicada quando avaliamos a figura 8. Para cada teste feito existe um ponto correspondente da relação entre C-rate e  $\Delta V_2$ , os quais estão em torno da reta de estimação, mais uma vez provando a conformidade dos dados mesmo quando temos diferentes referenciais de baterias, em relação aos seus estados de vida, ou quando variamos a corrente contínua aplicada.

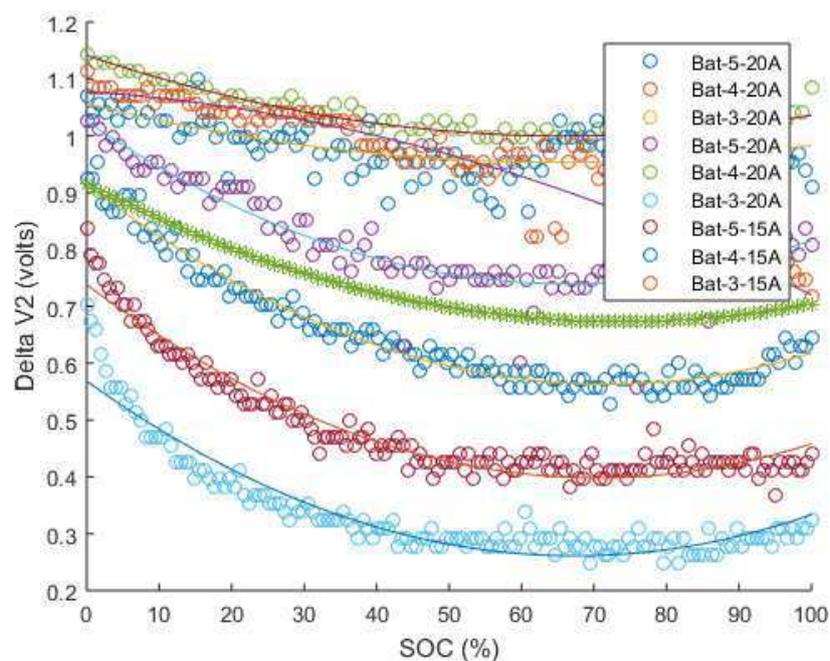


FIGURA 9:  $\Delta V_2$  DE BATERIAS ENVELHECIDAS VERSUS ESTADO DE CARGA.

Por fim, temos a Figura 9, salientando que as posições das curvas são importantes e estão diretamente relacionadas com o processo de envelhecimento das baterias. Tomando por base somente as três últimas curvas – as quais atingem os menores valores de  $\Delta V_2$  – podemos ver a sequência progressiva: bateria 3 (nova), bateria 5 (meia-vida) e a bateria 4 (velha). Isso reforça a aplicabilidade do método e confirma que a aquisição de dados e seu processo foram feitos de maneira apropriada.

Considerando que o comportamento dos resultados obtidos foram muito próximos dos resultados expostos por Marchildon, Doumbia e Agbossou, o método dos dois pulsos foi considerado adequado para a estimação do estado de carga e do estado de saúde da bateria DF2000. Vale salientar que o processo ainda estava em andamento quando o estágio terminou suas atividades, no entanto, os resultados parciais são extremamente satisfatórios.

## 5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste Relatório de Estágio supervisionado abordou-se algumas das atividades desenvolvidas no projeto de pesquisa e desenvolvimento da Johnson Controls realizado no Laboratório de Sistemas Embarcados e Computação Pervasiva da UFCG. A carga horária de 204 horas foi planejada e cumprida atendendo aos padrões de funcionamento do laboratório, à hierarquia estabelecida dentro do projeto, e ao máximo dos objetivos propostos pelo orientador do estágio.

O estágio foi extremamente enriquecedor e importante por proporcionar a oportunidade de se trabalhar alinhado com os interesses de mercado de uma grande empresa, e assim vivenciar aspectos práticos como desenvolvedor, trabalhando com base em *deadlines* específicos. O trabalho em equipe também permitiu a convivência com uma equipe diversificada composta por indivíduos de diferentes níveis, proporcionando uma interessante consolidação e aquisição de conhecimentos específicos da Engenharia Elétrica.

O discente foi capaz de alcançar seus objetivos com a realização do estágio, colocar em prática os seus conhecimentos teóricos, adquirindo experiência e aperfeiçoando sua desenvoltura no âmbito profissional. Os resultados obtidos ao fim das atividades atenderam às expectativas, aproximando o discente de seus interesses profissionais.

Vale salientar que este trabalho é parte de um projeto dividido em várias outras subáreas, envolvendo uma certa complexidade, colaboração e esforços de outros indivíduos, tanto engenheiros eletricitas quanto cientistas da computação.

## BIBLIOGRAFIA

- ABNT. (2005). NBR 6034 - Informação e documentação - Índice - Apresentação. *Associação Brasileira de Normas Técnicas* (p. 4). ABNT.
- Coleman, M., Hurley, W. G., & Lee, C. K. (1 de Junho de 2008). An Improved Battery Characterization Method Using. *IEEE TRANSACTIONS ON ENERGY CONVERSION, CONVERSION, VOL. 23, NO. 2*, pp. 708-713.
- Equipe Embedded/UFCG. (2016). *Projeto de Cooperação Técnico-Científica entre UFCG e Johnson Controls – Monitoramento do estado de saúde de baterias estacionárias – Relatório de Atividades*. Campina Grande.
- Expert Charger. (2007). *Manual de Instruções*.
- Marchildon, J., Doumbia, M. L., & Agbossou, K. (09 de Novembro de 2015). SOC and SOH characterisation of lead acid batteries. *Industrial Electronics Society, IECON 2015 - 41st Annual Conference of the IEEE*, p. 5.
- Nguyen, T.-T., Tran, V.-L., & Choi, W. (01 de June de 2014). Development of the intelligent charger with battery State-Of-Health estimation using online impedance spectroscopy. *IEEE 23rd International Symposium on Industrial Electronics (ISIE)*, pp. -.
- Yang, S. K., & Huang, C.-Y. (Junho de 2014). Residual Capacity Estimation for Lead–Acid Batteries Used in Automobiles by the Method of Median Internal Resistance. *Journal of Failure Analysis and Prevention 14*, pp. 412-419.