

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - BOLSISTAS DE GRADUAÇÃO UNIJUI

**COLETA DE UM AMPLO CONJUNTO DE DADOS EXPERIMENTAIS DO  
TEMPO DE VIDA DE BATERIAS CONSIDERANDO CORRENTES DE  
DESCARGAS CONSTANTES E VARIÁVEIS E MODELAGEM MATEMÁTICA  
DOS DADOS A PARTIR DE MODELOS LINEARES<sup>1</sup>  
COLLECTION OF EXPERIMENTAL DATA OF LIFETIME OF BATTERIES  
CONSIDERING CONSTANT AND VARIABLE CURRENT DISCHARGES AND  
MATHEMATICAL MODELING FROM ELECTRICAL MODELS**

**Pedro Gelati Pascoal<sup>2</sup>, Airam Sausen<sup>3</sup>, Eduardo Carsoso Toniazzo<sup>4</sup>,  
Catherine Marquioro De Freitas<sup>5</sup>, Paulo S. Sausen<sup>6</sup>**

<sup>1</sup> Pesquisa Institucional desenvolvida no Departamento de Ciências Exatas e Engenharias (DCEEng), pertencente ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC).

<sup>2</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica na UNIJUI, bolsista PIBIC/CNPq, pedropascoal01@hotmail.com.

<sup>3</sup> Professora Orientadora, airam@unijui.edu.br

<sup>4</sup> Acadêmico do curso de Engenharia Elétrica na UNIJUI, bolsista PIBIC/CNPq, eduardotoniazzo29@gmail.com.

<sup>5</sup> Acadêmica do curso de Engenharia Elétrica na UNIJUI, bolsista PROBITI/Fapergs, catherine.mf@hotmail.com.

<sup>6</sup> Professor Colaborador, sausen@unijui.edu.br.

## **INTRODUÇÃO**

De acordo com Coutinho (2014) o crescimento das vendas de dispositivos smartphones tem crescido muito nos últimos anos, isso se deve a facilidade do acesso e do uso desses aparelhos eletrônicos. A porcentagem de domicílios brasileiros que fazem uso do telefone celular chegou a 94,9% de acordo com as Estatísticas de Domicílios Brasileiros (IBGE-PNAD), também apresentadas pela Telebrasil (2018). Concomitante a esse fato, ocorrem por parte das indústrias avanços tecnológicos e o desenvolvimento de aplicativos e funcionalidades mais modernos que são utilizadas nesses aparelhos. Por outro lado, o excesso de processamento de dados exige muito mais capacidade dos acumuladores de cargas empregados nesses aparelhos.

Nesse contexto, nos dispositivos móveis que utilizam baterias como fonte de energia, o tempo de operação é importante. Ele é definido como o nível mínimo de tensão que a bateria é capaz de fornecer ao aparelho para mantê-lo em operação, até alcançar o ponto de corte, que é denominado nível de cutoff. Assim, considerando a grande necessidade do uso dos dispositivos móveis no cotidiano em diferentes atividades diárias, é importante que essas baterias possuam elevada quantidade de energia armazenada e vida útil considerável. Uma das formas de realizar a predição do tempo de vida da bateria é através da aplicação de modelos matemáticos que podem ser simulados e devem ser validados através de dados reais de descarga.

Dessa forma, torna-se importante o estudo da predição e tempo de vida de baterias, através da modelagem matemática, utilizando dados experimentais de uma plataforma de testes de cargas e

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - BOLSISTAS DE GRADUAÇÃO UNIJUI

descargas desenvolvida por alunos de Iniciação Científica da Unijui, Toniazzo (2017). Esse trabalho objetiva a aplicação do modelo Linear para a predição do tempo de vida de baterias de Lítio Íon Polímero (LiPo) utilizadas em smartphones. A descarga deve levar em conta correntes de descarga constantes e variáveis, estando a última relacionada às funcionalidades dos dispositivos.

### **MATERIAIS E MÉTODOS**

A partir do referencial teórico desenvolvido, foi realizada uma revisão bibliográfica na qual foram pesquisados trabalhos relacionados a carga e a descarga de baterias de dispositivos móveis para a predição do seu tempo de vida. Posterior a isso, iniciou-se o processo de estudo e entendimento sobre a plataforma de testes que está inserida no Laboratório de Sensores Inteligentes do Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC), onde foram realizados os testes experimentais e coleta de dados para as simulações e finalmente a validação do modelo Linear.

O modelo Linear utilizado nesse trabalho faz parte da classe dos modelos analíticos, que descrevem a bateria de forma abstrata reproduzindo descargas de correntes contínuas ou variáveis no domínio do tempo. Ele considera a bateria como um recipiente linear de corrente, desprezando os efeitos não lineares que ocorrem durante uma descarga.

De acordo com Zart (2017), para correntes constantes de descargas, a equação que determina o tempo de vida de uma bateria pode ser representada através da equação, que é dada por:

$$C=C'-Itd$$

onde: C é a capacidade restante da bateria e representa o tempo de vida da mesma, C' é o estado de carga inicial, I é a corrente constante de descarga, e td é o tempo de duração da corrente.

As baterias utilizadas nesse trabalho são as mais usuais em dispositivos móveis, do tipo Lítio-Íon Polímero (LiPo). Elas possuem capacidade energética, desempenho e ciclos de vida consideravelmente altos, ocupando pouco espaço pela espessura ultrafina podendo ser de diferentes formatos. Além da alta resistência a sobrecarga, ou seja, elas não sofrem com o efeito memória Brondani (2015)

Para realizar a aquisição de dados de descargas das baterias, foi utilizada a plataforma desenvolvida no laboratório de Sensores Inteligentes e aprimorada por Toniazzo (2017). A plataforma de testes é denominada de Testbed, ela não necessita de um operador realizando as descargas, pois faz automaticamente e simultaneamente esses processos. Ela tem a capacidade de realizar descargas de até 4 baterias de LiPo ao mesmo tempo de um smarthphone com 3,7 V de tensão nominal e 800 mAh de capacidade. As baterias são carregadas com o auxílio de uma fonte de Corrente Contínua (CC) com 4,2 V (tensão máxima da bateria) e 160 mA (carga lenta de 20 % da carga nominal). O carregamento é cessado quando a corrente drenada pela fonte chega ao nível de 0 A.

O monitoramento de cargas é realizado com relés que mantém as baterias ligadas ao Testbed durante a descarga e através da fonte CC após as mesmas descarregarem. Ainda existem circuitos para processamento e monitoramento de dados de cada bateria, onde é configurado o tipo de descarga desejada através de software. Os parâmetros aplicados para as descargas das baterias são os seguintes: (a) tipo de bateria: Lítio Íon Polímero; (b) tensão nominal: 3,7 V; (c) capacidade nominal da bateria: 800 mAh (d) correntes de descarga usadas: nessa etapa são selecionadas correntes representadas na Tabela 1, como: [200; 500; 700] mA; (e) tensão cutoff: 2,7 V essa que é

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - BOLSISTAS DE GRADUAÇÃO UNIJUI

definida pelo fabricante como o menor valor de tensão onde a bateria ainda fornece energia ao sistema externo; e por fim (f) Duração: que é o tempo que a bateria demora para descarregar até atingir o ponto de cutoff, ou seja, os 2,7 V. Durante a realização das descargas, a temperatura do ambiente se manteve na média dos 21 °C.

Após aplicação dessa metodologia e coleta de um amplo conjunto de dados do tempo de vida das baterias, é então realizada a modelagem matemática usando o modelo Linear, que consiste em encontrar o tempo de vida respectivo para 13 perfis de descarga, onde, com estes resultados, é feita a validação com os dados experimentais, e definido o erro percentual.

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Através da plataforma Testbed, foi realizado o processo de aquisição de dados de descargas das baterias com correntes constantes e variáveis. Para o primeiro caso, foram aplicadas intensidades de correntes diferentes, porém constantes, entre os perfis P1 à P3. Já para as descargas variantes, foram aplicados degraus de corrente diferentes nos perfis P4 à P13, sendo crescentes, decrescentes e alternados. A Tabela 1 apresenta os valores de correntes formulados e aplicados à cada perfil, assim como a duração de tempo de cada corrente componente do vetor obtido do Testbed.

Tabela 1 - Correntes de descarga aplicadas às baterias na Plataforma de Testes.

Perfis	Correntes de descargas (mA)	Tempo de Simulação (min)
P1	[200]	[∞]
P2	[500]	[∞]
P3	[700]	[∞]
P4	[300;900;600]	[1;1;1]
P5	[450;0;800]	[1;1;1]
P6	[250;450;650]	[1;1;1]
P7	[850;750;500]	[1;1;1]
P8	[300;900;600]	[10;10;10]
P9	[500;950;750]	[1;1;1]
P10	[100;500;950]	[1;1;1]
P11	[800;200;500]	[1;1;1]
P12	[470;920]	[1;1]
P13	[500;200;100]	[1;1;1]

Fonte: Autor (2019)

Para a realização desses experimentos, foram alocadas baterias novas, visando descartar qualquer desgaste acarretado pelo uso das baterias antigas. Da mesma forma, a metodologia adotada nos ensaios foi, para cada corrente de descarga, realizar 10 ensaios e posteriormente calcular o tempo de vida médio.

Tabela 2 - Tempos de Vida experimentais para cada experimento.

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - BOLSISTAS DE GRADUAÇÃO UNIJUI

Perfis	Teste1	Teste2	Teste3	Teste4	Teste5	Teste6	Teste7	Teste8	Teste9	Teste10	Média	Desvio Padrão
P1	259,3	273,8	273,4	261,35	261,97	266,37	276,36	270,58	268,62	269,52	268,13	5,78
P2	100,13	105,63	97,97	104,18	99,02	80,22	98,58	104,62	100,48	91,42	98,23	7,54
P3	54,52	74,1	72,3	49,08	63,95	58,4	72,35	64,25	58,03	59,77	62,68	8,3
P4	73,72	79,08	67,47	73,82	76,37	64,73	73,87	76,58	73,85	79,42	73,89	4,67
P5	116,63	113,9	104,75	98,97	101,62	110,6	107,42	113,95	98,28	113,25	107,94	6,72
P6	98,15	101,13	92,1	101,62	98,05	104,12	89,13	104,43	95,17	101,88	98,58	5,11
P7	63,92	63,08	61,63	63,32	60,65	66,1	54,3	60,65	61,77	48,42	60,38	5,22
P8	71,15	70,42	70,18	74,97	70,03	73,28	70,35	74,8	73,93	78,55	72,77	2,83
P9	61,55	52,38	64,27	55,73	61,27	61,4	52,42	55,58	55,4	55,62	57,56	4,2
P10	83,57	77,88	80,98	89,58	80,72	83,35	86,42	89,25	80,72	83,22	83,57	3,83
P11	81,47	87,25	91	84,97	78,97	87,27	90,1	84,78	84,45	84,32	85,46	3,65
P12	63,65	65,65	59,25	59,13	49,22	57,77	61,97	59,17	63,48	57,28	59,66	4,6
P13	171,83	171,77	174,67	177,72	174,83	177,83	192,63	174,7	186,42	174,73	177,71	6,7

Fonte: Autor (2019)

A Tabela 2 apresenta os resultados dos experimentos realizados no Testbed, onde podem ser visualizados os tempos de vida de cada experimento, assim como o tempo de vida médio, ambos em minutos (min). As simulações computacionais para realizar a validação do modelo Linear foram realizadas no software Matlab. Para determinar o tempo de vida das baterias, ele considera apenas a corrente de descarga e a capacidade utilizada nas simulações, o resultado da mesma com descargas constantes pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 - Resultado das simulações para o modelo Linear considerando correntes constantes.

Perfis	Testbed	Simulação Computacional do Modelo Linear		
	Tempo Médio (min)	Tempo (min)	Erro (min)	Erro (%)
P1	268,13	285	16,87	6,29
P2	98,23	114	15,77	16,06
P3	62,68	81,43	18,75	29,92
<b>Erro Médio (%)</b>				17,42

Fonte: Autor (2019)

Através da Tabela 3 percebe-se que a diferença entre os tempos de descarga do Testbed e da simulação resultou em um erro mínimo de 6,29%, obtido pelo perfil P1, e um erro máximo de 29,92%, no perfil P3. Para as simulações computacionais do modelo Linear, utilizando corrente de descarga constante, o erro médio encontrado foi de 17,42%. Entretanto, quando é falado em dispositivos móveis, sabe-se que a utilização de suas baterias, ou seja, sua descarga, não é constante. Dessa forma, surge a necessidade de validar o Modelo Linear utilizando correntes variáveis. A Tabela 4 apresenta os tempos de simulação e da plataforma, bem como o comparativo entre ambas.

**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - BOLSISTAS DE GRADUAÇÃO UNIJUI

Tabela 4 - Resultado das simulações para o modelo Linear considerando correntes variáveis.

Perfis	Testbed	Simulação Computacional do Modelo Linear		
	Tempo (min)	Tempo (min)	Erro (min)	Erro (%)
P4	73,89	95	21,11	28,57
P5	107,94	136,8	28,86	26,74
P6	98,58	126,7	28,12	28,53
P7	60,38	81,45	21,07	34,89
P8	72,77	95	22,23	30,56
P9	57,56	77,75	20,19	35,07
P10	83,57	110,35	26,78	32,05
P11	85,46	114	28,54	33,4
P12	59,66	82,03	22,37	37,5
P13	177,71	213,75	36,04	20,28
Erro Médio (%)				30,76

Fonte: Autor (2019)

Com a análise dos resultados da validação do modelo Linear para correntes variáveis, obteve-se um erro mínimo no perfil P13 de 20,28%, e máximo no perfil P12, chegando a 37,50%. Dessa forma a média calculada ficou em torno de 30,76%. Novamente o erro médio elevado se deve ao fato que o modelo Linear não considerar os efeitos não-lineares que ocorrem em um processo de descarga.

### CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir do pressuposto que os smartphones utilizam, não somente descargas de correntes constantes, mas também variantes no tempo. Foram realizados testes práticos através do Testbed para realizar a predição do tempo de vida de baterias utilizando um dos modelos matemáticos mais simples da literatura, o modelo Linear.

Dessa forma, analisando a aplicação de correntes constantes, foram obtidos os resultados apresentados na Tabela 3, onde o erro médio ficou em torno de 17,42%. Da mesma forma, observando os erros obtidos na Tabela 4, puderam ser analisados os erros relativos a descargas variáveis, que foram superiores a 30,00%.

Fazendo uma comparação entre as descargas constantes e variáveis, é notável que, o resultado médio da validação aponta que o modelo Linear não apresenta uma boa acurácia para descrever o tempo de vida de uma bateria de LiPo, principalmente no que tange a descargas variáveis. Isso é decorrente do modelo não conseguir capturar as não-linearidades que ocorrem durante a descarga da célula.

**Palavras-chave:** Bateria de LiPo; Erro médio; Modelo analítico; Plataforma de Testes.

**Keywords:** LiPo Battery; Average error; Analytical model; Testbed.

### AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à UNIJUI, ao CNPq pela bolsa de iniciação científica e ao Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) pela disponibilização dos laboratórios para a realização das pesquisas.



**Evento:** XXVII Seminário de Iniciação Científica - BOLSISTAS DE GRADUAÇÃO UNIJUI

#### **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

- BRONDANI, M. F. Modelagem Matemática do Tempo de Vida de Baterias de Lítio Íon Polímero utilizando Algoritmos Genéticos. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2015, 102p.
- COUTINHO, G. L. A Era dos Smarthphones: Um estudo exploratório sobre o uso dos Smarthphones no Brasil. Universidade de Brasília - UnB. Brasília (DF), 2014. 60p.
- Telebrasil. Desempenho do Setor de Telecomunicações no Brasil Séries Temporais 2017. Elaborado pela Telebrasil em Parceria com o Teleco.2018. Disponível em: <<http://www.teleco.com.br/pnad.asp>>. Acesso em 05 fev 2019.
- TONIAZZO, E. C. et al. Desenvolvimento de um Dispositivo de Monitoramento para Controle de Carga e Descarga em uma Plataforma de Testes de Baterias. In: XXVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia - CRICTE. Ijuí, 2017.
- ZART, J. G. Análise Comparativa de Modelos Analíticos sob o mesmo Cenário de Simulação para Perfis de Descargas Variáveis considerando as Funções Desempenhadas por um Smartphone. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Ijuí, 2017. 110p.