Evento: XXV SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA

COLETA DE UM AMPLO CONJUNTO DE DADOS EXPERIMENTAIS DO TEMPO DE VIDA DE BATERIAS DE LÍTIO-ÍON POLÍMERO ATRAVÉS DE UMA PLATAFORMA DE TESTES E MODELAGEM MATEMÁTICA DOS DADOS UTILIZANDO MODELOS ELÉTRICOS.[1]

COLLECTION OF A WIDE SET OF DATA EXPERIMENTAL OF THE LIFETIME OF LITHIUM-POLYMER BATTERIES THROUGH A TEST PLATFORM AND MATHEMATICAL DATA MODELING USING ELECTRICAL MODELS.

Eduardo Cardoso Toniazzo[2], Alisson Beerbaum[3], Airam T. Z. R. Sausen[4], Paulo Sérgio Sausen[5]

[1] Projeto de pesquisa realizado no Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) da UNIJUÍ.
[2] Aluno do curso de Engenharia Elétrica, Bolsista CNPq, eduardotoniazzo29@gmail.com.
[3] Aluno do curso de Matemática, bolsista Unijuí, a.v.beerbaum@gmail.com.
[4] Professora Doutora do DCEeng da UNIJUÍ, orientadora, airamsausen@gmail.com.
[5] Professor Doutor do DCEeng da UNIJUÍ, colaborador, paulosausen@gmail.com.

INTRODUÇÃO

Devido a flexibilidade e o surgimento de novas tecnologias, junto com o acesso fácil a redes sem fio, tem crescido na atualidade o uso de dispositivos móveis que são utilizados em diversas áreas, para inúmeras tarefas. Alguns exemplos desses dispositivos são: *notebooks*, *smartphones*, *tablets*, alarmes, sensores, entre outros. Uma das mais notáveis características dos dispositivos móveis é a sua mobilidade, já que usualmente não estão diretamente conectados a uma rede elétrica externa. Por este motivo, grande parte destes dispositivos necessitam de uma bateria, a qual é responsável por fornecer energia ao sistema. Portanto, o uso destes dispositivos está relacionado e condicionado ao tempo de vida da bateria, isso é, o tempo em que a bateria consegue fornecer energia até alcançar um ponto de corte na tensão, denominado nível de *cutoff*, este é o ponto onde as reações eletroquímicas internas cessam e não fornecem mais energia ao sistema. Conhecer o tempo pelo qual a bateria consegue manter o dispositivo em funcionamento, ou seja, seu tempo de vida, tem sido de fundamental importância no desenvolvimento de dispositivos móveis [1]. Nesse contexto, se torna de vital importância, predizer o tempo de vida da bateria que alimenta estes sistemas, destaca-se que uma das formas consiste em utilizar modelos matemáticos, que representam e simulam com boa precisão o fenômeno de descarga da bateria. Alguns modelos responsáveis pela predição do tempo de vida de baterias, presentes na literatura, são: os modelos via teoria de Identificação de Sistemas, os modelos eletroquímicos, os modelos analíticos, os modelos estocásticos, os modelos híbridos e os modelos elétricos [1, 2, 3]. Neste contexto, a partir da coleta de um amplo conjunto de dados experimentais, o principal objetivo deste artigo é realizar a modelagem matemática do tempo de vida de baterias LiPo utilizando o modelo elétrico, denominado *Battery*, que tem sua estrutura composta por um circuito elétrico que é implementado através de um diagrama de blocos no Matlab/Simulink.

METODOLOGIA

Após uma revisão bibliográfica dos modelos utilizados na literatura com ênfase na compressão do modelo elétrico *Battery*, constatou-se que esse tem capacidade para modelagem matemática do tempo de vida de baterias do tipo LiPo visando o amplo conjunto de dados que são obtidos a partir de uma plataforma de testes desenvolvida especificamente para este fim, onde se tem um controle da carga e da descarga das baterias. Na sequência são coletados os dados de descargas de baterias de Lítio-Íon Polímero, estas que são atualmente o tipo mais usado em dispositivos móveis. As baterias utilizadas possuem uma capacidade de 800 mAh e uma tensão nominal de 3,7 V. Para a realização desse experimento foram alocadas baterias novas visando descartar qualquer desgaste acarretado pelo uso das baterias antigas. Desse modo as mesmas foram carregadas em duas fontes CC (Corrente Contínua) com 20% da sua capacidade nominal, ou seja, 160 mA. O carregamento é concluído quando a tensão na bateria alcança 4,2 V, e a corrente drenada da fonte chega a 0 A. Concluído este processo, as baterias já podem ser alocadas na plataforma para ser realizada a descarga controlada. Através da plataforma de testes, é realizada a descarga de 4 baterias simultaneamente. De modo geral, a plataforma é composta por um hardware e um *software*, os quais ficam responsáveis pelo armazenamento dos dados. Quando as 4 baterias são conectadas na plataforma, o *software* é configurado para o tipo de descarga desejada. Ressaltando que neste trabalho as descargas foram todas constantes e, portanto, configuradas para tal modo de operação. 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: [50; 75; 100; 125; ... 725; 750; 775; 800] mA; (e) tensão cutoff: 2,7 V essa que é definida pelo fabricante como o menor valor de tensão onde a bateria ainda fornece energia ao sistema externo; (f) Duração: 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 ºC. 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 elétrico *Battery*, que consiste em encontrar o tempo de vida respectivo para cada um dos 31 perfis de descarga descritos, onde com estes resultados, é feita a validação com os dados experimentais, e definido o erro percentual.

RESULTADOS E DISCUSÕES

No processo de descarga das baterias, foram realizadas 8 descargas para cada perfil de corrente constante (I) considerado, todos em mAh. Os tempos de descarga das baterias (Td) foram alocados em uma tabela no Windows Excel, todos em minutos, acompanhados de média aritmética para analisar o comportamento das respectivas descargas. Na Tabela 1, são apresentados os dados obtidos.

Tabela 1- Perfis de corrente de descarga e medias dos tempos de vida.

I (mA)	Td1	Td2	Td3	Td4	Td5	Td6	Td7	Td8	Média
50	964,07	980,42	860,43	922,15	920,43	993,96	931,38	950,08	940,37
75	593,06	607,28	626,98	599,75	586,90	652,15	582,58	606,78	606,94
100	464,71	474,42	460,45	466,30	470,75	459,03	445,53	486,62	465,98
125	388,48	392,93	375,03	367,40	380,90	393,65	381,55	398,17	384,76
150	283,02	311,72	302,97	307,58	345,03	297,62	279,48	305,38	304,10
175	280,85	274,50	271,33	285,07	297,07	253,50	246,43	269,10	272,23
200	232,20	219,18	213,95	236,18	218,83	235,70	239,72	228,12	227,99

225	206,45	191,38	188,35	207,45	199,83	211,80	214,07	208,58	203,49
250	191,23	173,47	167,72	188,93	182,78	190,15	193,12	184,65	184,01
275	170,48	159,63	145,22	168,08	165,87	171,35	175,63	165,10	165,17
300	156,15	148,23	142,28	156,65	157,58	140,68	138,83	155,37	149,47
325	141,57	145,68	149,53	143,47	148,45	129,85	126,40	145,33	141,29
350	126,53	137,71	139,57	131,23	133,43	123,65	118,67	132,97	130,47
375	118,63	128,93	130,68	123,57	127,72	111,52	118,87	124,96	123,11
400	115,55	117,75	121,52	115,78	118,80	107,90	101,90	117,50	114,59
425	111,00	113,72	94,47	110,13	105,30	109,03	114,40	109,01	108,38
450	102,45	105,05	109,60	103,15	106,82	89,80	87,28	103,15	100,91
475	97,28	98,67	91,68	97,54	101,72	86,11	82,90	98,18	94,26
500	91,98	93,93	97,11	92,68	96,70	83,13	78,65	90,45	90,58
525	88,57	91,30	93,15	85,28	92,63	78,67	74,11	85,85	86,20
550	83,77	85,06	88,77	82,48	87,46	72,67	68,90	84,42	81,69
575	80,42	83,11	82,88	80,00	83,13	68,13	65,85	79,23	77,84
600	77,10	77,98	81,31	76,15	80,57	65,50	62,68	76,25	74,69
625	73,60	74,38	77,58	72,40	77,30	62,42	59,83	73,12	71,33
650	71,05	71,67	74,67	70,03	74,13	59,42	55,90	70,38	68,41
675	68,35	69,00	71,68	67,78	71,63	57,18	53,42	68,73	65,97
700	65,90	66,37	69,48	64,73	69,76	54,73	51,85	65,28	63,51
725	63,53	63,77	66,68	62,27	66,42	51,62	48,27	62,98	60,69
750	64,12	50,20	47,06	60,87	61,32	61,72	64,42	59,72	58,68
775	62,35	47,96	44,04	58,87	59,73	59,80	62,08	58,23	56,63
800	60,10	46,32	42,50	56,92	57,30	57,78	60,07	56,13	54,64

Com esse conjunto de dados, efetua-se a modelagem matemática via modelo elétrico *Battery*, esse que está disponível no Simulink do Matlab com um bloco próprio com o respectivo modelo. Sua composição esquemática é definida pelo diagrama abaixo:

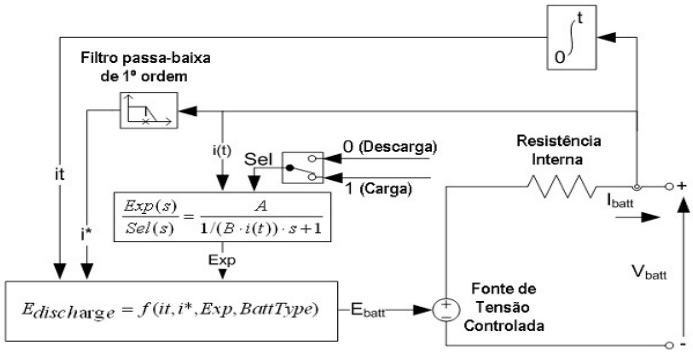

Figura 1- Diagrama esquemático do modelo elétrico *Battery*.

Os valores obtidos da associação em série no circuito correspondente a *Vbat*, resulta no comportamento da descarga da bateria na forma de tensão [1], definido pela equação geral do modelo:

$$Vbat = Eo - K\left(\frac{Q}{Q-it}\right)i^* - k\left(\frac{Q}{Q-it}\right)it + Aexp(-Bit) - (RI) \qquad (1.0)$$

onde: os parâmetros *Eo*, *K*, *Q*, *A*, *B* e *it*, são estimados e provenientes direta e indiretamente dos dados preenchidos na interface do modelo *Battery*. *RI* na equação (1.0) consiste em uma queda de tensão proveniente da existência de uma resistência interna na bateria. O modelo exige também uma corrente de calibração, onde foi usado o perfil de 500mA [1]. Depois dos parâmetros da bateria alocados na interface do modelo e calibração concluída, é efetuado a modelagem como ilustra a Figura 2, aplicando os perfis de corrente de descarga representados por: [50; 75; 100 ... 750; 775; 800] mA. Por final é obtido para cada perfil a curva de comportamento da tensão modelada da bateria, de onde se retira o valor correspondente ao tempo de vida, que será validado a partir dos dados experimentais adquiridos pela plataforma de testes.

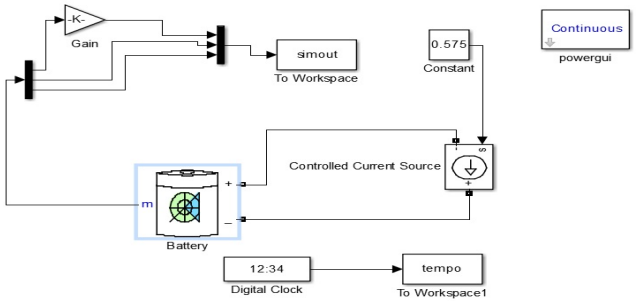

Figura 2- Modelo *Battery* implementado no Simulink.

A Tabela 2 representa a comparação entre os tempos de vida experimentais, e os tempos de vida da bateria encontrados via modelagem, todos em segundos.

Tabela 2- Resultados modelo *Battery*.

Perfil (mA)	T. Exper. (seg)	T. Mode (seg)	Erro %
50	56422,2	56260	0,287475
75	36416,4	37430	2,783361
100	27958,8	28010	0,183127
125	23085,6	22360	3,143085
150	18246	18590	1,885345
175	16333,8	15900	2,655842
200	13679,4	13880	1,466439
225	12209,4	12310	0,823955
250	11040,6	11060	0,175715
275	9910,2	10030	1,208856
300	8968,2	9175	2,305925
325	8477,4	8451	0,311416
350	7828,2	7830	0,022994
375	7386,6	7292	1,280697
400	6875,4	6821	0,791227

Perfil (mA)	T. Exper. (seg)	T. Mode (seg)	Erro %
425	6502,8	6405	1,503968
450	6054,6	6036	0,307204
475	5655,6	5705	0,873471
500	5434,8	5408	0,493118
525	5172	5139	0,638051
550	4901,4	4894	0,150977
575	4670,4	4670	0,008565
600	4481,4	4466	0,343643
625	4279,8	4277	0,065424
650	4104,6	4103	0,038981
675	3958,2	3942	0,409277
700	3810,6	3793	0,46187
725	3641,4	3653	0,318559
750	3520,8	3523	0,062486
775	3397,8	3402	0,123609
800	3278,4	3288	0,292826
MEDIA DO ERRO:			0,819919

Como visto, o perfil com menor erro percentual foi o de 575 mA, onde o tempo encontrado na modelagem quando comparado com o tempo experimental obteve o menor erro. Observa-se que o tempo de vida experimental médio é o resultado da média aritmética das 8 descargas coletadas pela plataforma de testes, descrito em Resultados e Discussões. A Figura 3 mostra o comportamento da tensão pelo tempo para o perfil de descarga de 575mA, identificando o ponto resultante da média das 8 descargas experimentais (círculo azul), bem como a curva experimental que ficou mais próximo dessa média (azul), e a curva modelada matematicamente com o modelo *Battery* (vermelha).

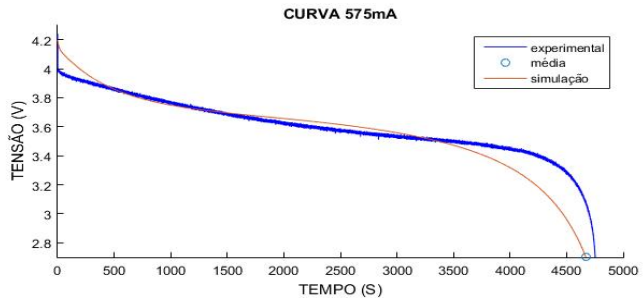

Figura 3 - Curva para o perfil de descarga de 575mA.

CONCLUSÃO

No momento inicial da pesquisa se teve um entendimento complementar sobre as características que descrevem o comportamento de uma bateria de LiPo com capacidade de 800mAh, onde este estudo teve como base os dados coletados nos experimentos descritos. Nesse contexto, constatou-se que o tempo de vida da bateria é inversamente proporcional ao valor de corrente drenado desta. Para uma corrente de descarga de 800mA encontrou-se um tempo de vida médio de 54,64 minutos, e para um perfil de 50mA, encontrou-se um tempo médio de vida de 940,37 minutos. Em uma etapa posterior, conclui-se também que o modelo elétrico *Battery* teve boa acurácia para descrever a descarga da bateria de LiPo, e encontrar o respectivo tempo de vida. Entre as modelagens efetuadas para os 31 perfis de corrente de descarga contínuos, a média dos erros percentuais encontrados foi de 0,82%, onde o perfil com melhor curva de descarga estimada foi o de 575mA, com um tempo de vida de 4670 segundos, e um erro de 0,00856%. Conclui-se também, que embora o modelo elétrico *Battery* não considera todos os efeitos não lineares presentes na descarga da bateria ele é de boa confiabilidade para descrever o processo de descarga e o tempo de vida de uma bateria de Lition-Ion Polímero.

Palavras Chave: Lítio-Íon Polímero, Tempo de Vida, Modelo Elétrico *Battery*.

Keywords: Polymer Lithium-Ion, Lifetime, Electric Model *Battery*.

AGRADECIMENTOS:
Os autores agradecem ao CNPQ pelo fomento à pesquisa, e à UNIJUÍ pela assistência laboratorial concedida ao desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

[1] Brondani, Marcia de Fatima. “Modelagem matemática do tempo de vida de baterias de Lítio Íon Polímero utilizando algoritmos genéticos”. Dissertação de Mestrado. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grando do Sul – UNIJUÍ, Fevereiro, 2015

[2] Machado, Marlon V., “Modelagem do Tempo de Vida de Baterias utilizando modelos Autorregressivos”. Dissertação de Mestrado. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, Abril de 2014.

[3] Porciuncula, Cleber M. D., “Aplicação de modelos elétricos de bateria na predição do tempo de vida de dispositivos móveis”. Dissertação de Mestrado. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUÍ, 2012.