

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

ESTUDO E APLICAÇÃO DA LEI DE PEUKERT ESTENDIDA PARA A PREDIÇÃO DO TEMPO DE VIDA DE BATERIAS CONSIDERANDO CORRENTES VARIÁVEIS¹

Livia Bittencourt Gomes², Julia Giehl Zart³, Douglas Joziel Bitencourt Freitas⁴, Airam Tereza Zago Romcy Sausen⁵, Paulo Sergio Sausen⁶.

¹ Pesquisa desenvolvida pelo Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC) da UNIJUI.

² Mestranda em Modelagem Matemática, UNIJUI, bolsista Capes, liviabgomes@yahoo.com.br

³ Mestranda em Modelagem Matemática, UNIJUI, bolsista Capes, julia_zarte@hotmail.com

⁴ Doutorando em Modelagem Matemática, UNIJUI, bolsista Capes, douglasjoziel@outlook.com

⁵ Prof^a. Dr^a. do PPG em Modelagem Matemática, UNIJUI, orientadora, airam@unijui.edu.br

⁶ Prof. Dr. do PPG em Modelagem Matemática, UNIJUI, coorientador, sausen@unijui.edu.br

1 INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica dos últimos anos provocou mudanças no cotidiano das pessoas devido, principalmente, ao uso de dispositivos móveis, tais como, celulares, smartphones, tablets e notebooks. Estes dispositivos dependem de uma bateria, que necessita ser recarregada a cada intervalo de tempo. Desta forma, torna-se importante buscar métodos para prever o tempo de vida das baterias a fim de conhecer quanto tempo o dispositivo ficará operacional. E uma das maneiras de prever o tempo de vida das baterias é através de modelos matemáticos que representam o processo de descarga.

Inserido neste contexto, o Grupo de Automação Industrial e Controle (GAIC), da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul (UNIJUI), tem desenvolvido estudos com a aplicação dos principais modelos de baterias referenciados na literatura técnica, como os modelos analíticos (FREITAS, 2015), os modelos elétricos (BRONDANI, 2015), os modelos de identificação de sistemas (ROMIO, 2013) e mais recentemente, os modelos híbridos (KUSIAK, 2016). Estes últimos agregam vantagens, pois são capazes de unir dois ou mais modelos, com características diferentes, e são uma nova tendência para modelagem matemática do tempo de vida de baterias (KIM; QIAO, 2011) (ZHANG; CI; SHARIF, 2010).

O objetivo do presente trabalho é propor um novo modelo híbrido para a predição do tempo de vida de baterias, utilizadas em dispositivos móveis, composto da união do modelo elétrico para Prever Runtime e Características V-I (CHEN; RINCON-MORA, 2006) e do modelo analítico da Lei de Peukert Estendida (FREITAS, 2015). Desta forma, o novo modelo híbrido agregará as vantagens dos dois modelos, ou seja, será capaz de capturar as características elétricas da bateria, como tensão em circuito aberto e resposta transiente, e será capaz de capturar a relação não linear entre a vida útil da bateria e a taxa de descarga. A seguir serão apresentados os resultados parciais que compreendem o estudo e a implementação do modelo analítico da Lei de Peukert Estendida, considerando descargas variáveis, pois o mesmo será utilizado na composição do novo modelo híbrido.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

2 MODELAGEM MATEMÁTICA

De aspecto empírico, o modelo analítico da Lei de Peukert captura a relação não linear entre a vida útil da bateria e a taxa de descarga. Em (FREITAS, 2015) foi proposta uma extensão à Lei de Peukert convencional, através da minimização funcional por comparação de derivadas, com um ganho significativo de acurácia. A equação do modelo analítico da Lei de Peukert Estendida é dada por

$$L = \left(\frac{I - \sqrt{I^2 - 4C_1C_2}}{2C_1} \right)^b \quad (1)$$

onde: L é o tempo de vida da bateria; I é a corrente; C1 é o coeficiente de ajuste não linear; C2 é a capacidade da bateria; b é o coeficiente de Peukert.

Para a generalização do modelo apresentado na equação (1), foi realizada a substituição equivalente, considerando correntes de descargas variáveis, tal que

$$I \equiv \left[\frac{\sum_{k=1}^n I_{k-1}(t_k - t_{k-1})}{L} \right], \quad (2)$$

Desta forma, o modelo analítico da Lei de Peukert Estendida, para descargas variáveis, é descrito por

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

$$L = \left(\frac{\left[\frac{\sum_{k=1}^n I_{k-1}(t_k - t_{k-1})}{L} \right] - \sqrt{\left[\frac{\sum_{k=1}^n I_{k-1}(t_k - t_{k-1})}{L} \right]^2 - 4C_1 C_2}}{2C_1} \right)^b \quad (3)$$

onde: I_k é o valor da corrente de descarga; t_k é o tempo; C_1 , C_2 e b são os mesmos parâmetros estimados para o modelo da equação (1).

Neste contexto, o modelo analítico da Lei de Peukert Estendida foi escolhido por ser um dos modelos analíticos mais simples e de fácil compreensão, e por apresentar resultados muito próximos aos dos modelos físicos da literatura técnica (FREITAS, 2015). Na composição do novo modelo híbrido, ele será associado ao modelo elétrico para Predizer Runtime e Características V-I, que é considerado um modelo acurado e flexível (CHEN; RINCON-MORA, 2006).

3 METODOLOGIA

A aquisição dos dados experimentais deste trabalho é realizada através de uma plataforma de testes do GAIC, localizada no Laboratório de Sensores Inteligentes (NONEMACHER et al., 2010), da UNIJUÍ. São utilizadas oito baterias novas de Lítio Íon Polímero (LiPo), modelo PL-383562-2C. Seguindo uma metodologia padrão para cada bateria, primeiramente elas são carregadas até atingir o valor máximo de tensão. Após, os parâmetros são configurados e a bateria é conectada à plataforma de testes para o processo de descarga. Então, é aplicada a corrente de descarga desejada, constante ou variável no tempo, até a bateria atingir a tensão de cutoff, obtendo seu tempo de vida.

Na Tabela 1, são apresentados os valores de cada corrente de descarga utilizada neste trabalho, que representam tarefas realizadas em um smartphone. Observa-se que a mensuração de cada uma destas correntes foi realizada através de um amperímetro (KUSIAK, 2016). Na Tabela 2 são apresentados os oito perfis de descarga variáveis, com o valor da corrente aplicada e o tempo de atuação da mesma.



Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Tabela 1 – Verificação das correntes de acordo com as tarefas executadas

Descrição das Tarefas	Corrente (mA)
Em <i>stand by</i>	10
Tela ligada e uso do aparelho com brilho mínimo	40
Tela ligada e uso do aparelho com brilho máximo	70
Uso da câmera	80
Ligação em viva voz	150
Ligação normal	100
Visualização de imagens	100
Ouvir música no volume máximo	200
Ouvir música no volume mínimo	100
Acesso à internet	200
Uso da calculadora	50
Escrever SMS	70
Acesso a jogos do aparelho	40
Uso do alarme	200
Gravação de áudio	90
Ouvir música no rádio (volume máximo)	230

Fonte: Elaborada pelos autores

Tabela 2 – Perfis de descarga variáveis

Perfil	Corrente (mA)	Tempo (min)
P1	100 – 10 – 150 – 10 – 100 – 10 – 200	5 – 5 – 5 – 5 – 5 – 5 – 10
P2	170 – 270 – 10 – 140 – 230 – 10 – 270	5 – 20 – 30 – 10 – 20 – 10 – 30
P3	270 – 10 – 120 – 170 – 10 – 270 – 170	5 – 10 – 10 – 15 – 10 – 15 – 5
P4	250 – 400 – 50 – 200 – 550	10 – 10 – 5 – 15 – 10
P5	750 – 450 – 200 – 150 – 250 – 100	5 – 10 – 10 – 5 – 5 – 10
P6	100 – 200 – 300 – 400 – 500 – 600 – 700	10 – 10 – 10 – 10 – 10 – 10 – 10
P7	700 – 600 – 500 – 400 – 300 – 200 – 100	10 – 10 – 10 – 10 – 10 – 10 – 10
P8	200 – 20 – 300 – 20 – 200 – 20 – 400	2,5 – 2,5 – 2,5 – 2,5 – 2,5 – 2,5 – 5

Fonte: Elaborada pelos autores

A implementação computacional do modelo analítico da Lei de Peukert Estendida é realizada na ferramenta computacional MatLab. Para estimação dos parâmetros do modelo são utilizados um

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

conjunto de dados experimentais considerando correntes de descarga constantes (KUSIAK, 2016), e para a validação do modelo, são usados um conjunto de correntes de descarga variáveis, conforme apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Dados utilizados para validação do modelo

Perfil	TV _{exp1}	TV _{exp2}	TV _{exp3}	TV _{exp4}	TV _{exp5}	TV _{exp6}	TV _{exp7}	TV _{exp8}	TV _{expm}
P1	463,81	512,01	470,10	490,25	463,33	494,11	470,91	473,20	479,67
P2	265,38	263,61	321,45	264,56	263,86	319,26	270,50	310,88	284,94
P3	340,23	330,50	308,86	313,81	304,16	333,60	331,00	303,93	322,01
P4	146,53	147,68	156,13	149,15	146,80	148,48	147,98	152,28	149,38
P5	143,68	144,90	143,96	145,69	139,96	139,96	136,53	139,35	141,75
P6	135,49	133,50	125,56	124,68	124,23	122,68	120,00	126,79	126,62
P7	99,21	105,73	99,93	97,00	95,98	99,21	93,31	97,71	98,51
P8	327,48	352,51	326,28	327,55	326,03	319,95	311,78	301,75	324,17

Fonte: Elaborada pelos autores

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Esta pesquisa está alinhada a tendência na geração de energia, e tem como objetivo colaborar por meio da modelagem matemática, com os projetistas de baterias de dispositivos móveis, para o desenvolvimento de baterias mais leves, finas e que possuam maior capacidade. Para a validação do modelo a Lei de Peukert Estendida, as seguintes etapas são seguidas: estimação dos parâmetros do modelo; simulação do modelo no Matlab com perfis de descarga variáveis; cálculo do tempo de vida das baterias para cada perfil de descarga; e, comparação dos dados experimentais e com os resultados simulados.

Objetiva-se que o novo modelo híbrido constituído da união do modelo analítico da Lei de Peukert Estendida e do modelo elétrico para Predizer Runtime e Características V-I, seja acurado e de fácil implementação, assim como, seja capaz de capturar a relação não linear entre a vida útil da bateria e a taxa de descarga, e as características elétricas da bateria. Por isso os resultados parciais, que compreendem o estudo e a simulação do modelo analítico da Lei de Peukert Estendida são importantes.

Desta forma, para predição do tempo de vida de baterias de LiPo, os parâmetros estimados para o modelo, utilizando o método de Mínimos Quadrados (MQ) foram: C1= -0,0077; C2=37138; b=1,0445. E o erro médio encontrado entre os perfis de descarga variáveis foi de 1,9742%, conforme Tabela 4. Destacando que são perfis de descarga realísticos, e por consequência são mais fiéis a utilização do usuário. Os resultados demonstraram que o modelo é acurado, e apresenta um erro médio pequeno, na maioria dos perfis de descarga.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Tabela 4 – Resultados experimentais e resultados simulados pelo modelo

Perfil	Experimental (min)	Simulado (min)	Erro (%)
P1	479,67	481,4	0,360665
P2	284,94	271,1	4,857163
P3	322,01	332,9	3,381883
P4	149,38	150,4	0,682822
P5	141,75	145,1	2,363316
P6	126,62	124,2	1,91123
P7	98,51	98,2	0,314689
P8	324,17	330,4	1,921831
-	-	-	Erro Médio = 1,9742

Fonte: Elaborada pelos autores

5 CONCLUSÕES

O modelo analítico da Lei de Peukert Estendida foi implementado no software de computação algébrica Matlab e teve seus parâmetros estimados pelo método de MQ, apresentando $C1=-0,0077$; $C2=37138$ e $b=1,0445$. A validação do modelo ocorreu através da comparação dos resultados simulados com os dados obtidos da plataforma de testes, apresentando um erro médio de 1,9742%, entre os perfis de descargas variáveis no tempo.

Através deste trabalho, verifica-se que o modelo analítico apresentado é acurado e computacionalmente flexível, podendo ser associado ao modelo elétrico para Predizer Runtime e Características V-I, na proposição de um novo modelo híbrido. Portanto, como demonstrado, na predição do tempo de vida de baterias, o modelo analítico da Lei de Peukert Estendida apresenta resultados satisfatórios para correntes de descarga variáveis, baseadas em perfis realísticos. Em trabalhos futuros pretende-se desenvolver o novo modelo híbrido e compará-lo com outros modelos da literatura.

6 PALAVRAS-CHAVE

Modelagem matemática; Modelos híbridos; Lei de Peukert Estendida; Dispositivos Móveis.

7 AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (Capes), pelo aporte financeiro, e à UNIJUÍ, pela estrutura física oferecida.

REFERÊNCIAS

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

BRONDANI, M. F. Modelagem matemática do tempo de vida de baterias de lítio íon polímero utilizando algoritmos genéticos. 2015. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015.

CHEN, M.; RINCÓN-MORA, G. Accurate electrical battery model capable of predicting runtime and I-V performance, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 21, n. 2, pp. 504-511, 2006.

FREITAS, D. J. B. Estudo e Aplicação de Modelos Analíticos na Predição do Tempo de Vida de Baterias Utilizadas em Dispositivos Móveis: Proposição de Extensões aos Modelos Tradicionais. 2015. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015.

KIM, T.; QIAO, W. A hybrid battery model capable of capturing dynamic circuit characteristics and nonlinear capacity effects, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 26, no. 4, pp. 1172-1180, 2011.

KUSIAK, R.S. Modelagem matemática do tempo de vida de baterias de lítio íon polímero a partir de modelos híbridos considerando correntes de descarga variáveis. 2016. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2016.

NONEMACHER, H. B. et al. Desenvolvimento de um testbed para avaliação de modelos matemáticos utilizados na predição do tempo de vida de baterias. Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica na engenharia, 24., 2010, Rio Grande. Anais... Rio Grande: Ed. Furg, 2010. p. 2-4.

ROMIO, L. C. Modelagem matemática do tempo de vida de baterias utilizando a teoria de Identificação de Sistemas. 2013. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2013.

ZHANG, J.; CI, S., SHARIF, H. An enhanced circuit-based model for single-cell battery, Applied Power Electronics Conference and Exposition, 2010.