

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

MODELAGEM MATEMÁTICA DO TEMPO DE VIDA DE BATERIAS DE LÍTIO ÍON POLÍMERO A PARTIR DE UM MODELO ELÉTRICO¹

Suelen Cibeli Wottrich², Marcia De Fátima Brondani³, Airam Teresa Zago Romcy Sausen⁴, Paulo Sérgio Sausen⁵.

¹ Pesquisa desenvolvida pelo Grupo de Automação Industrial e Controle da Unijuí.

² Mestranda em Modelagem Matemática, Unijuí, suwottrich@hotmail.com.

³ Doutoranda em Modelagem Matemática, Unijuí, bolsista Capes, marciabronDani@yahoo.com.br

⁴ Prof^a. Dra. do PPG em Modelagem Matemática, Unijuí, orientadora, airam@unijui.edu.br.

⁵ Prof^o. Dr. do PPG em Modelagem Matemática, Unijuí, coorientador, sausen@unijui.edu.br.

1. Introdução

Nas últimas décadas, diversos aparelhos tecnológicos foram desenvolvidos e seus usos evidenciados no cotidiano das pessoas. Neste contexto, é notável o aumento do número de dispositivos móveis (aparelhos celulares, laptops, câmeras digitais, entre outros) devido principalmente aos benefícios que promovem aos seus usuários. Estes dispositivos são energeticamente abastecidos pelo uso de baterias, pois não possuem um complemento externo de energia continuamente conectado. Desta forma, a necessidade de baterias mais eficientes, seguras e com maior durabilidade, se torna evidente.

Assim, pesquisas que visam o estudo a respeito do comportamento dinâmico de baterias são de fundamental importância para o desenvolvimento de métodos capazes de prever os seus tempos de vida. Este, por sua vez, caracteriza-se como o intervalo de tempo transcorrido, em uma operação de descarga, até que a bateria atinja um limite mínimo de energia (i.e., nível de cutoff), ficando indisponível para alimentar o sistema (FREITAS, 2015). Uma maneira de prever o tempo de vida de baterias é através da modelagem matemática, que simula o processo de descarga de energia do sistema, contribuindo para o desenvolvimento de novas tecnologias que buscam maior tempo de vida, e conseqüentemente, uma melhor utilização da bateria (BRONDANI, 2015).

Visando a predição do tempo de vida de baterias e, pretendendo verificar qual modelo matemático descreve com maior acurácia o comportamento dinâmico do processo de descarga (FREITAS, 2015), o Grupo de Automação Industrial e Controle - GAIC, da Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul - UNIJUI, tem realizado diversas pesquisas e aplicações de modelos matemáticos, tais como: elétricos (BRONDANI, 2015; PORCIUNCULA, 2012); analíticos (FREITAS, 2015; SILVA, 2013; OLIVEIRA, 2012; SCHENEIDER, 2011); via teoria da identificação de sistemas (MACHADO, 2014; KÜHN, 2014; ROMIO, 2013); híbridos (KUSIAK, 2016; FRANZOZI, 2015; DUARTE, 2014).

Dentre os modelos matemáticos referidos nestas pesquisas, o modelo elétrico para Prever Runtime e Características V-I destaca-se por possuir alta acurácia na predição do tempo de vida de baterias, conseguindo capturar as características elétricas e dinâmicas, tais como, a tensão em circuito aberto, a capacidade utilizável e a resposta transiente (CHEN; RINCÓN-MORA, 2006). Desta forma, este trabalho objetiva o estudo e a implementação do modelo elétrico para Prever

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Runtime e Características V-I na ferramenta computacional Matlab/Simulink, assim como realizar sua validação a partir de correntes de descargas constantes. Os parâmetros deste modelo para as simulações são retirados de Chen e Rincón-Mora (2006), sendo obtidos a partir de um processo de descarga de baterias de Lítio Íon Polímero (LiPo), modelo PL383562. A validação da implementação do modelo é realizada através da comparação entre os resultados simulados neste estudo e os resultados simulados obtidos por Chen e Rincón-Mora (2006). Para fins de aplicação, são realizadas simulações para diferentes correntes de descarga.

2. Metodologia

Inicialmente é realizado um breve estudo sobre o modelo elétrico para Predizer Runtime e Características V-I, descrevendo suas características e propriedades, assim como suas equações. Após, é desenvolvido um programa computacional em diagrama de blocos, no Matlab/Simulink. Os parâmetros do modelo são obtidos de Chen e Rincón-Mora (2006) e, desta forma, é realizada a simulação computacional para uma corrente de descarga de 80 mA. Os resultados simulados são comparados com os resultados obtidos por Chen e Rincón-Mora (2006) para uma corrente de mesma intensidade, a fim de validar a implementação computacional do modelo. Após, o tempo de vida da bateria é simulado para outras correntes de descarga.

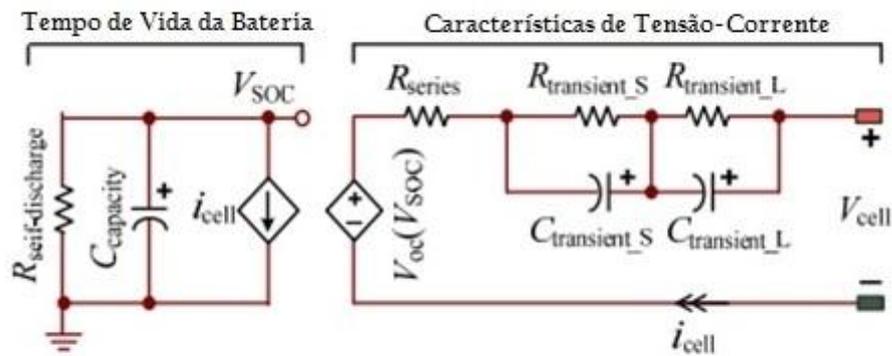
2.1 Modelo Elétrico para Predizer Runtime e Características V-I

O modelo elétrico para Predizer Runtime e Características V-I tem a finalidade de modelar o tempo de vida de uma bateria e a resposta transiente, considerando o efeito térmico e o impacto da degradação da bateria. Este modelo captura as características elétricas e dinâmicas, como a tensão em circuito aberto, a capacidade utilizável e a resposta transiente, com alta precisão, sendo considerado com boa acurácia (CHEN; RINCÓN-MORA, 2006).

Na Figura 1 é apresentado o circuito elétrico do modelo para uma célula de bateria, composto por dois circuitos RC (Resistor/Capacitor). O circuito RC do lado esquerdo é responsável por modelar a capacidade, o estado de carga (SOC) e o tempo de vida da bateria (CHEN; RINCÓN-MORA, 2006). Desta forma, a resistência de auto-descarga $R_{self-discharge}$ é utilizada para caracterizar a perda de energia da célula, o capacitor $C_{capacity}$ representa a carga total, a fonte atual i_{cell} indica a corrente de carga/descarga, a tensão V_{SOC} representa o SOC da bateria variando de 0 V (SOC de 0%) a 1 V (SOC de 100%). Por sua vez, o circuito RC do lado direito simula a resposta transiente e as características de tensão e corrente da bateria, em que a tensão da fonte controlada é utilizada para relacionar o SOC com a tensão em circuito aberto VOC, a tensão V_{cell} representa a tensão terminal da bateria, a resistência R_{series} é usada para caracterizar as perdas de energia no processo de carga/descarga e outras resistências e capacitâncias são utilizadas para caracterizar a resposta transiente a curto prazo ($R_{transient_S}$ e $C_{transient_S}$) e a longo prazo ($R_{transient_L}$ e $C_{transient_L}$) (KIM, 2012).

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

Figura 1 - Modelo Elétrico para Prever *Runtime* e Características V-I



Fonte: (KIM, 2012, p. 30).

A carga do capacitor $C_{capacity}$ é dada pela equação (1), sendo que $C_{capacity}$ é a capacidade nominal em Ah, $f_1(\text{ciclo})$ e $f_2(\text{temp})$ são fatores de correção que dependem do número de ciclos e da temperatura. Esta equação é simplificada, pois os efeitos do número de ciclos e da temperatura não causam grandes alterações no modelo, uma vez que, o número de ciclos é menor que 300 e a temperatura ambiente é mantida constante. Desta forma, os demais parâmetros são apenas função do SOC (CHEN; RINCÓN-MORA, 2006).

$$C_{Capacity} = 3600 \cdot Capacity \cdot f_1(\text{ciclo}) \cdot f_2(\text{temp}) \quad (1)$$

O SOC pode ser calculado a partir da equação (2), sendo que o $SOC_{inicial}$ é o SOC inicial da bateria, $C_{capacity}$ representa a sua capacidade total e i_{cell} é a corrente de descarga (KIM, 2012).

$$SOC(t) = SOC_{inicial} - \frac{\int i_{cell}(t)}{C_{capacity}} \quad (2)$$

O VOC é uma função do SOC, dado pela equação (3), em que a_0 , a_1 , a_2 , a_3 , a_4 e a_5 , são parâmetros a serem estimados (KIM, 2012).

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

$$V_{OC}[SOC(t)] = a_0 e^{-a_1 SOC(t)} + a_2 + a_3 SOC(t) - a_4 SOC^2(t) + a_5 SOC^3(t) \quad (3)$$

A tensão final da bateria (V_{cell}) é descrita pela equação (4), onde $V_{transient}$ engloba as resistências e capacitâncias, descritas em (5), que caracterizam a resposta transiente em função do SOC (KIM, 2012).

$$V_{cell}(t) = V_{OC}[SOC(t)] - i_{cell}(t) \cdot R_{series} - V_{transient}(t) \quad (4)$$

$$\begin{cases} R_{series}(SOC) = b_0 e^{-b_1 SOC} + b_2 + b_3 SOC - b_4 SOC^2 + b_5 SOC^3 \\ R_{transient_S}(SOC) = c_0 e^{-c_1 SOC} + c_2 \\ C_{transient_S}(SOC) = d_0 e^{-d_1 SOC} + d_2 \\ R_{transient_L}(SOC) = e_0 e^{-e_1 SOC} + e_2 \\ C_{transient_L}(SOC) = f_0 e^{-f_1 SOC} + f_2 \end{cases} \quad (5)$$

3. Resultados e Discussões

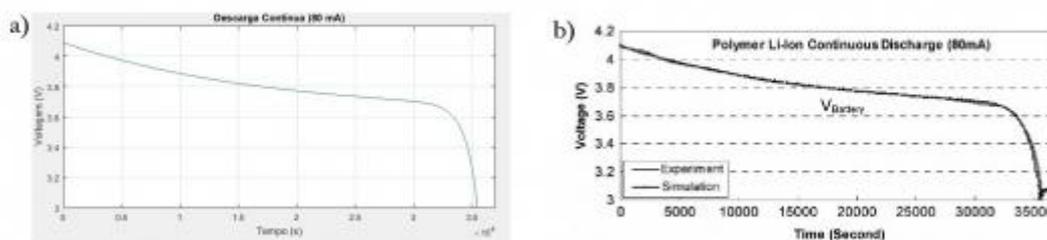
3.1 Implementação Computacional

Nesta seção é apresentada a implementação computacional do modelo para Predizer Runtime e Características V-I, composta pelo diagrama de blocos desenvolvido na ferramenta computacional Matlab/Simulink. Neste diagrama está fundamentado as equações de (1) a (5), conforme mostrado na Figura 2.

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

encontraram a curva da Figura 3(b). A partir de uma análise comparativa é possível perceber a semelhança entre estas curvas, evidenciando a aproximação dos valores do tempo de vida obtidos na simulação. Portanto, verifica-se a validação da implementação do modelo para esta corrente.

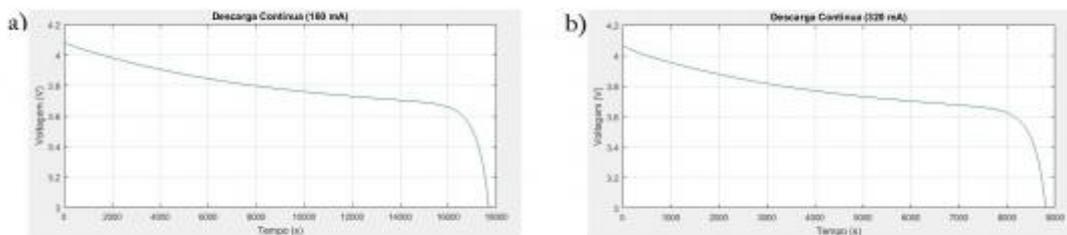
Figura 3 - (a). Descarga Continua de 80 mA para bateria de LiPo; (b) Descarga Continua de 80 mA para bateria de LiPo obtida por Chen e Rincón-Mora (2006)



Fonte: (a) Elaborado pelos autores; (b) (CHEN; RINCÓN-MORA, 2006).

Após validar a implementação computacional do modelo, são simuladas curvas experimentais para correntes de descarga variadas. Desta forma, na Figura 4 são apresentadas as curvas de descarga para as correntes de 160 mA e 320 mA, em que as curvaturas obtidas são semelhantes a encontrada na corrente de 80 mA, porém com um tempo de vida reduzido. Esta redução no tempo de vida se justifica, pois quanto maior a corrente de descarga aplicada à bateria, menor será o seu rendimento, ou seja, o seu tempo de vida.

Figura 4 - (a). Descarga Continua de 160 mA para bateria de LiPo; (b). Descarga Continua de 320 mA para bateria de LiPo



Fonte: Elaborado pelos autores.

4. Conclusão

O estudo do modelo para Preizer Runtime e Características V-I possibilitou a compreensão de suas propriedades e equações. Desta forma, foi possível realizar sua implementação computacional na ferramenta Matlab/Simulink. Com isto, o tempo de vida de uma bateria de LiPo foi simulado para uma descarga constante de 80 mA. Os resultados da simulação foram comparados com os

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

resultados obtidos de Chen e Rincón-Mora (2006), verificando-se a semelhança das curvaturas e a proximidade dos tempos de vida obtidos, validando a implementação computacional do modelo. Ainda, foi realizada a simulação para as correntes de descarga de 160 mA e 320 mA, obtendo uma curvatura semelhante a curva de 80 mA, verificando a implementação para correntes de descarga variadas. A continuidade desta pesquisa prevê a utilização da metodologia proposta por Chen e Rincón-Mora, com o propósito de obter as equações e parâmetros de uma bateria de LiPo, modelo PL383562-2C.

5. Palavras Chave

Tempo de Vida de Bateria; Modelagem Matemática; Modelo Elétrico.

6. Referências Bibliográficas

BRONDANI, Marcia de Fatima. Modelagem Matemática do Tempo de Vida de Baterias de Lítio Íon Polímero utilizando Algoritmos Genéticos. 2015. 114 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015.

CHEN, Min; RINCÓN-MORA, Gabriel A. Accurate Electrical Battery Model Capable of Predicting Runtime and I-V Performance. In: IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 21, no.2, June 2006. p. 504-511.

FREITAS, Douglas Joziel Bitencourt. 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. 100 f. Dissertação (Mestrado em Modelagem Matemática) - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2015.

KIM, Taesic. A Hybrid Battery Model Capable of Capturing Dynamic Circuit Characteristics and Nonlinear Capacity Effects. Dissertation (Master of Science) - University of Nebraska, Lincoln - Nebraska, 2012.