

ANÁLISE DO ESTADO DE SAÚDE DE BATERIAS Ni-MH PÓS USO EM VEÍCULOS ELÉTRICOS PARA APLICAÇÕES DE SEGUNDA VIDA

Frederico Augusto Pinho Haasis – fredaugusto18@gmail.com

Daniel Henrique Nogueira Dias

Bruno Soares Moreira Cesar Borba

Gilberto Figueiredo Pinto Filho

Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia

Resumo. Com o aumento no número de veículos elétricos (VE) no mercado, aparecem também preocupações com o descarte das baterias após sua vida útil no veículo. Sabendo que as baterias de um VE devem ser substituídas ao atingirem um estado de saúde ou vida-útil entre 70-80 %, este estudo tem como objetivo explorar um método para encontrar bons módulos, após a retirada do VE para aplicações de segunda vida. Diante da incerteza de quanto tempo os módulos da bateria do veículo híbrido em estudo ficaram fora do veículo, fator que contribui para sua degradação, foi realizada uma comparação de 10 módulos testados em bancada experimental com um módulo de 100 % de vida útil, simulado pelo software Matlab/Simulink. No trabalho a metodologia proposta é aplicada para dois módulos. Primeiro realizaram-se medições das tensões na recarga do módulo para encontrar o estado de carga inicial dos testes de descarga. Por segurança, foram adotados limites conservadores para interromper a recarga e descarga do módulo, evitando ainda mais sua degradação. Durante os ensaios de descarga, um multímetro aquisita os valores de tensão gerando curvas de descarga onde é possível encontrar a energia disponibilizada pelo módulo ao multiplicar a área dessa curva pela corrente na descarga. Desta forma, comparando-a com a curva do módulo simulado, é possível obter uma estimativa do estado de saúde do módulo na bancada. Este método pode ser considerado eficiente, em uma primeira análise, para a descoberta de bons módulos para aplicações de segunda vida, por exemplo, em armazenamentos estacionários e uso juntamente com inversores híbridos pós vida útil no VE.

Palavras-chave: Baterias; Estado de Saúde; Segunda Vida

1. INTRODUÇÃO

Os primeiros VEs em mercado datam o final do século XIX e início do século XX, mas estes perderam espaço no mercado mundial principalmente com a invenção da partida elétrica para os veículos a combustão. Depois de quase um século ganharam espaço novamente no início do século XXI, através dos veículos elétricos híbridos (VH), movidos tanto por um motor a combustão como por um motor elétrico. Nestes VH, as baterias eram de menor porte ao se comparar com um VH atual, pois a maior parte do trabalho era executada pelo motor a combustão e as baterias atuavam de maneira mais reduzida, sendo recarregadas apenas pela frenagem regenerativa. Porém, com o avanço tecnológico, nos VH mais modernos, as baterias desempenham um papel maior podendo ser recarregadas a partir da rede elétrica, sendo dessa forma de maior capacidade energética.

Os veículos elétricos (VE) estão transformando o setor de mobilidade urbana mundial. De acordo com o relatório anual de VE feito pela Agência Internacional de Energia (IEA, 2023), os VE quebraram recordes de vendas no ano de 2022, sendo previsto também um crescimento em 2023. Outro aspecto de destaque é o aumento na produção de baterias, já sendo possível suprir o mercado de VE atual e a demanda futura. A composição dos minerais usados na fabricação dessas baterias de VEs demandaram, em 2022, aproximadamente 60% de Lítio, 30% de cobalto e 10% de níquel. Analisando os últimos cinco anos, a demanda por lítio aumentou 45% evidenciando uma maior adoção nas baterias modernas (IEA, 2023) por questões de eficiência energética.

Diferentemente das baterias de lítio comumente encontradas nos VE modernos, as primeiras baterias destinadas a uso nos VH, por exemplo o Toyota Prius, eram de Níquel-Hidreto Metálico (Ni-MH). Esse composto foi analisado em outras aplicações por (ZHU *et al.*, 2013), onde a capacidade que essas baterias possuem de reter energia, para aplicações em armazenamento diversos, foi estudada. Por meio de ensaios de carga e descarga de diferentes módulos, os autores concluíram que estas baterias são mais eficientes dentro de certas faixas de recarga, demonstrando também suas aplicações em um VH.

Um ponto em comum a todas as baterias, independente do modelo, é a vida-útil. Este indicativo é de suma importância e estimada dentro VE, adotando-se o nome estado de saúde, do inglês *State of health* (SoH). Este é encontrado analisando a capacidade de armazenamento da bateria através de um sistema de gerenciamento de baterias, do inglês *Battery Management System* (BMS) (GARCHE; JOSSEN, 2000). O BMS, além de estimar o SoH, monitora o estado de carga (do inglês *State of Charge* – SoC), a temperatura, tensão e a corrente na bateria, com a intenção de protegê-la, aumentando o tempo de vida útil no VE e evidenciar o momento da substituição das baterias. Sabendo disso, é possível

inferir que as baterias utilizadas nos primeiros VH já estão chegando ao final de sua vida útil, havendo a necessidade de serem substituídas.

Surge então a preocupação com o descarte correto das baterias para que os compostos químicos não ocasionem problemas ambientais. Embora seja importante esse descarte, estudos demonstram que essas baterias ainda podem ser reaproveitadas em outras aplicações pós vida útil no VH ou VE, as chamadas aplicações de segunda vida. Nessa linha, (STRICKLAND *et al.*, 2014) analisaram o uso dessas baterias de VH para aplicações de segunda vida no sistema elétrico. Através de testes laboratoriais, os autores validaram que a informação do final da vida útil da bateria no VH é quando o estado de saúde atinge o valor em torno dos 80%, confirmando o indicado pelo BMS. Além disso, os autores verificaram, utilizando dados reais de uso e perfis de recarga, a viabilidade da utilização das baterias em aplicações de segunda vida, concluindo que baterias com degradação maiores que 50%, em seu SoH, possuem uma eficiência energética reduzida para 75% nessas aplicações. Indo além, (HARAM *et al.*, 2021) apresentaram que o uso de baterias de segunda vida é viável também do ponto de vista econômico, além do ponto de vista ambiental.

Diante disso, fica subentendido que para adoção das baterias e módulos em aplicações de segunda vida de maneira correta, é de suma importância entender a qualidade dos mesmos ao deixarem o VE ou VH. QIAO *et al.* (2019) demonstram os impactos que o armazenamento indevido, modos de recarga/descarga e manutenções podem ocasionar no desempenho de armazenamento dos módulos. Para isso foram feitas comparações, verificando que o método proposto de manutenção e armazenamento foi eficiente com relação ao tempo de manutenção dos módulos. Outro aspecto é analisar os módulos individualmente para encontrar seus respectivos estados de saúde sem o auxílio de um BMS que se encontra no VE. Uma metodologia proposta por (SERRAO *et al.*, 2005) pode ser adotada para encontrar os valores do SoC, saúde, resistência interna da bateria de baterias de Ni-MH utilizando dados de recarga no mundo real, analisando as tensões de circuito aberto. No estudo os autores concluem que, pode-se correlacionar a redução da vida útil com o tipo de ciclos e a profundidade das descargas utilizadas no VE. Além disso, no estudo feito por (MONTES *et al.*, 2022), são apresentadas as possibilidades técnicas de aplicações das baterias de segunda vida, de acordo com a energia que se deve obter do conjunto. Adicionalmente, evidencia-se que, para alcançar certos níveis de energia, uma seleção dos melhores módulos de uma bateria, pós vida útil no VE, pode ser necessária.

Desta forma, fica evidente que um estudo completo deve ser realizado com o objetivo de selecionar os melhores módulos antes de direcioná-los às aplicações de segunda vida. O presente artigo visa contribuir demonstrando um método para estimar o estado de saúde dos módulos das baterias que deixam os VH, através de comparações de ensaios laboratoriais com simulações computacionais. Para isso, ensaios de carga e descarga de 10 módulos de Ni-MH utilizados em um VH real, são ensaiados em uma bancada laboratorial e depois comparados com um módulo simulado em Matlab & Simulink com 100% de estado de saúde, representando um módulo novo de Ni-MH entrando no VH. Como contribuição o artigo visa auxiliar nas primeiras etapas do planejamento e do reagrupamento dos mesmos para criação de novas baterias para aplicações de segunda vida como armazenamento estacionário.

As demais seções do artigo se subdividem da seguinte maneira. A Seção 2 trata da metodologia adotada, com as características dos módulos ensaiados, estrutura dos ensaios na bancada e no software e a ordem das etapas para encontrar o estado de saúde. A Seção 3 aborda um estudo de caso utilizando as baterias de Ni-MH de um VH comercial, apresentando suas características. A Seção 4 são os resultados de dois módulos, ensaiados no mesmo dia na bancada, encontrando seus respectivos estados de saúde. A última Seção é destinada as conclusões dos autores sobre o método adotado e considerações para aprimoramento em trabalhos futuros.

2. METODOLOGIA

2.1 Características das baterias

As baterias são dispositivos que através de uma reação eletroquímica interna (redução e oxidação) transformam a energia química, por meio de um circuito elétrico, em energia elétrica. Diante de uma grande variedade de modelos de baterias disponíveis no mercado, alguns parâmetros são comumente definidos, como: tensão de circuito aberto (V_{oc}) sendo a tensão sem a existência de carga conectada à bateria ou módulo; tensão de corte (V_{corte}) sendo os limites de tensão definidos para carga e descarga visando manter a vida útil da bateria; estado de carga (SoC) sendo a quantidade de energia armazenada na bateria no instante medido e estado de saúde (SoH) que mede a capacidade de reter energia dentro da bateria sendo um importante indicador de degradação. Além destes, o termo C-Rate, ou taxa C, que relaciona a velocidade com que uma bateria pode ser carregada/descarregado, 1 C significa que o sistema pode ser totalmente carregado/descarregado em até 1 hora.

Cada composto químico utilizado nos módulos possui características diferentes com relação aos parâmetros citados anteriormente. Apesar do Lítio ser o composto que ganha atenção no mercado das baterias as baterias de segunda vida, faz-se necessário atentar aos compostos das versões anteriores: Níquel Cadmio (NiCd) e Níquel Hidreto Metálico (Ni-MH). As baterias de NiCd foram uma das primeiras tecnologias utilizadas em VH sendo substituídas pela Ni-MH por estas possuírem maior capacidade de retenção de energia e menos problemas em questões ambientais.

Além disso, as baterias utilizadas em VE e VH são comumente formadas por módulos associados em série e/ou paralelo para atingir a tensão/capacidade esperadas.

2.2 Análise proposta

O fluxograma da Fig. 1 apresenta a ordem das etapas propostas para encontrar o estado de saúde dos módulos. Neste é possível analisar como ensaios feitos na bancada e no software se relacionam. Ao final da comparação entre as curvas provenientes dos ensaios em bancada e simuladas computacionalmente, é obtido, através da equação (1) o estado de saúde do módulo, onde $E_{experimental}$ é o valor da energia obtido pela multiplicação da área da curva gerada no ensaio de descarga pela corrente de descarga média na bancada. Já $E_{simulado}$ representa a energia obtida pela curva do módulo simulado computacionalmente.

$$Estado\ de\ saúde = \left[\frac{E_{experimental}}{E_{simulado}} \right] \quad (1)$$

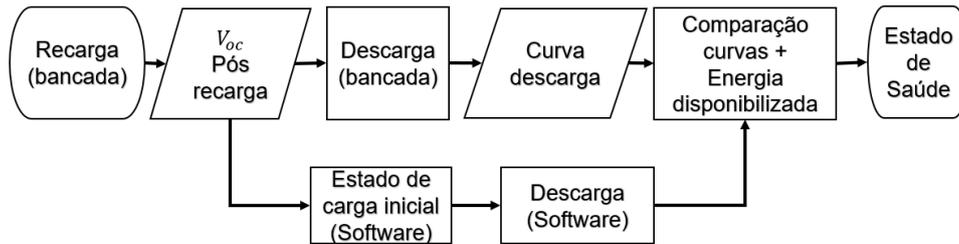


Figura 1 - Fluxograma das etapas de ensaio

2.3 Descrição dos ensaios na bancada

Primeiramente são feitos ensaios de recarga e descarga dos módulos em uma bancada experimental. Alguns equipamentos são necessários para os ensaios e a Tab. 1 lista os que foram utilizados neste estudo.

A primeira etapa do ensaio na bancada é a medição de V_{oc} antes da recarga do módulo e, depois de armazenado esse valor, inicia-se o ensaio de recarga com os componentes mostrados na Fig. 2. O multímetro é responsável por aquiritar, a cada 10 segundos, os valores de tensão para formar a curva de recarga. Desta forma, ao chegar na V_{corte} superior, definida através das referências técnicas do fabricante, a fonte de tensão é desconectada e conseqüentemente a recarga do módulo é parada. Após aguardar 2 minutos uma nova aferição de V_{oc} pós recarga é realizada. Esta informação será um dado de entrada no ensaio via simulação computacional (Software) para encontrar o estado de carga naquele instante.

O ensaio de descarga do módulo ocorre em paralelo com a etapa inicial da simulação computacional (Software). Utilizando os componentes da Fig. 3, com multímetro aquiritando as tensões agora cada 5 segundos, este valor foi escolhido para conseguir identificar e proteger o módulo contra descargas rápidas. O módulo é descarregado em uma resistência, sendo possível obter a curva de descarga do mesmo e alimentar a segunda etapa do ensaio no *software*. O ensaio de descarga é finalizado assim que a tensão atinge o valor de V_{corte} inferior, encontrado através das referências técnicas do fabricante, acionando o disjuntor.

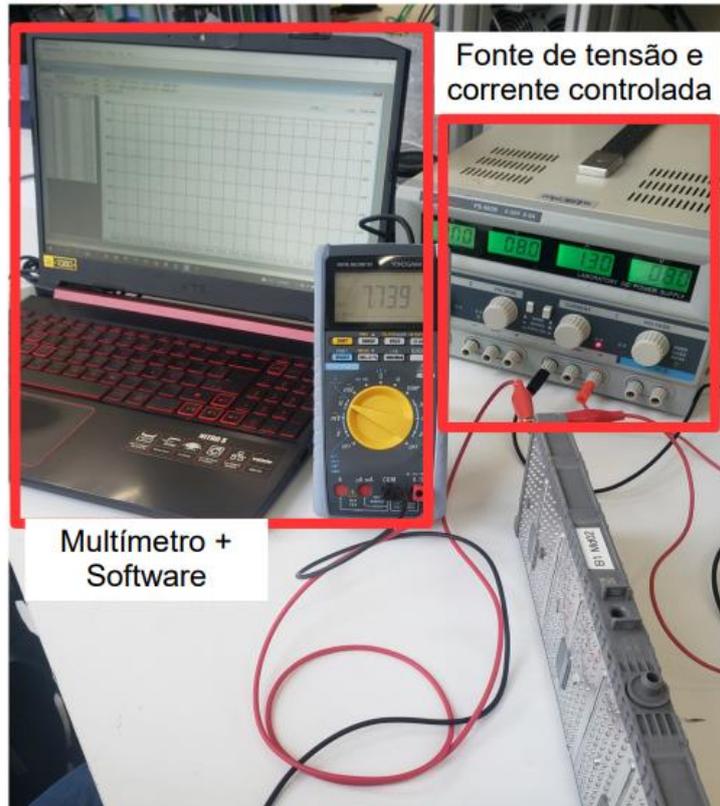


Figura 2 – Infraestrutura do ensaio de recarga na bancada.

Tabela 1 - Equipamentos utilizados na bancada

Componentes	Quantidade
Fonte de Tensão e Corrente controladas	1
Osciloscópio Digital	1
Alicate amperímetro para Osciloscópio	1
Multímetro com Software de aquisição	1
Disjuntor	1
Resistência variável	1

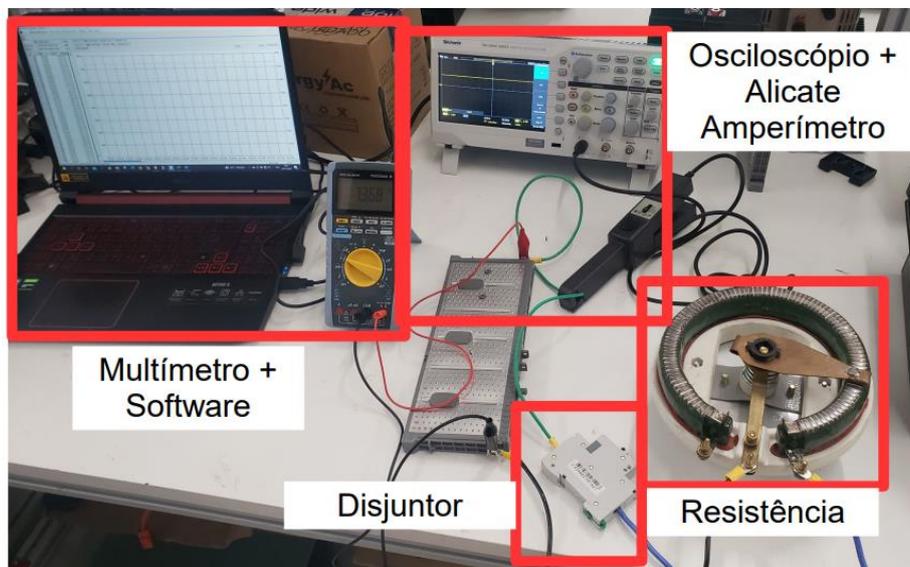


Figura 3 - Infraestrutura do ensaio de descarga na bancada.

2.4 Ensaios com simulação computacional (Software)

Para realizar a comparação com um módulo de 100% de vida útil o modelo da Fig. 3 foi realizado no *software Matlab/Simulink*. Na parte superior, está o ensaio de recarga para gerar curvas obtendo-se uma confirmação para os limites de corte superior do módulo, além de comparar com a curva obtida pelas medições na bancada. É utilizado um bloco de bateria encontra na biblioteca do *Simulink* sendo alimentado por uma fonte de corrente controlada. A referência para a recarga é dada através de uma constante utilizando o mesmo valor usado na bancada. Desta forma, uma curva é feita utilizando os valores de V_{oc} e SoC do módulo simulado. Com o valor medido de V_{oc} na bancada, após o ensaio de recarga, este é utilizado para, através de interpolação, encontrar o SoC do módulo ensaiado na bancada naquele instante e a partir disso iniciar o ensaio de descarga.

Na parte inferior da Fig.3, encontra-se o ensaio de descarga que ocorre via rotina feita em *Matlab*, onde o dado de entrada é o SoC ao final da recarga na bancada obtido por interpolação. Desta forma, realiza-se uma comparação da curva gerada pelo módulo ideal, de 100% de vida útil, com o módulo ensaiado em bancada pós vida útil no VH. Nessa parte é possível notar que o sentido da fonte de corrente controlada foi alterado realizando assim o papel de descarregar a bateria. O valor que é utilizado para realizar a descarga foi baseado na média dos valores encontrados em bancada. Por ser uma resistência de valor fixo na bancada, a corrente vai sendo reduzida conforme a recarga, sendo possível encontrar um valor médio. Neste caso o valor de 3,25 A foi utilizado e encontra-se logo acima do bloco da bateria.

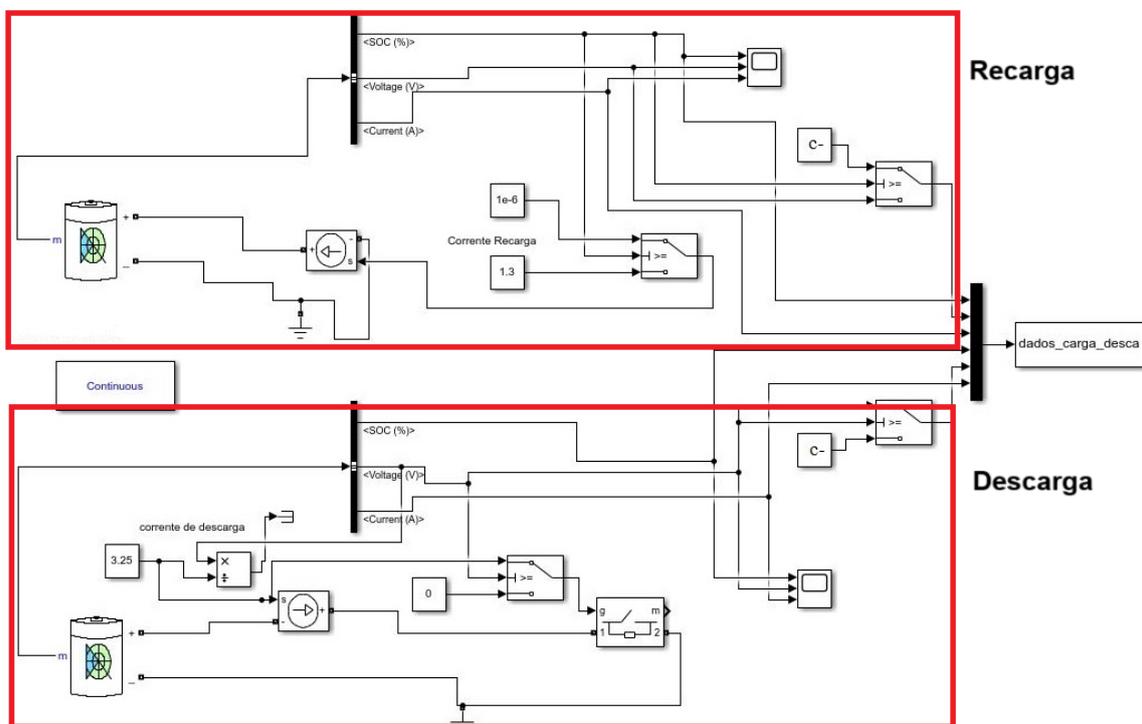


Figura 4 - Modelo simulado no Simulink.

3. ESTUDO DE CASO

Para aplicar a metodologia, no estudo foram utilizados módulos de Ni-MH, que compõem a bateria de um VH comercializado durante anos no mercado automotivo. Em primeiro lugar, foram encontradas as características desses módulos, que possuem uma tensão nominal individual igual a 7,2 V, decorrente da associação interna de 6 células de 1,2 V em série. A capacidade em ampér-hora (Ah) dos módulos é obtida por meio de referências técnicas da empresa da bateria, onde define-se o valor de 6,5 Ah como sendo 1 C. Desta forma, um módulo possui uma potência total de 46,8 W. Durante o presente estudo foram ensaiados 10 módulos distintos, as curvas do ensaio de 2 destes são apresentadas nos resultados, sendo a metodologia de execução mantida para os demais. A Fig. 5 mostra a bateria desmontada na bancada, o que permite o acesso aos módulos. A bateria possui 28 módulos associados em série possuindo uma tensão total de aproximadamente torno dos 201 V. A Fig. 6 mostra o esquemático da associação em série dos módulos e a estimativa da tensão total do conjunto da bateria.



Figura 5 - Bateria sendo desmontada na bancada.

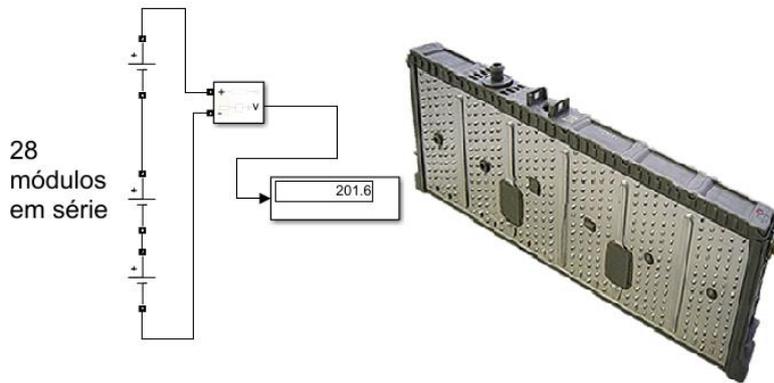


Figura 6 - Associação em série dos módulos que compõem a bateria.

Com as etapas entendidas, inicia-se pelo ensaio de recarga dos módulos reais na bancada, utilizando uma corrente de 1,3 A, equivalente a 0,2 C. Este valor de corrente também é utilizado no *software*, conforme pode ser visto na parte de recarga da Fig. 3. Após, nos ensaios de descarga, a corrente varia conforme a tensão do módulo reduz, tendo em sua média um valor próximo de 3,25 A, ou seja, 0,5 C. Os resultados dos ensaios, com o tempo de recarga e descarga de dois módulos ensaiados no mesmo dia, são demonstrados a seguir. Além disso, a comparação destes módulos com o módulo simulado com 100 % de vida útil é realizada para estimar o estado de saúde dos módulos reais em bancada.

4. RESULTADOS

Após a recarga na bancada experimental estar completa, o valor de V_{oc} pós recarga é obtido. Conforme explicado na Seção 2.3, a Fig. 7 mostra como é obtido o estado de carga inicial interpolando os valores medidos e simulados para encontrar o valor do estado de carga do módulo real naquele instante.

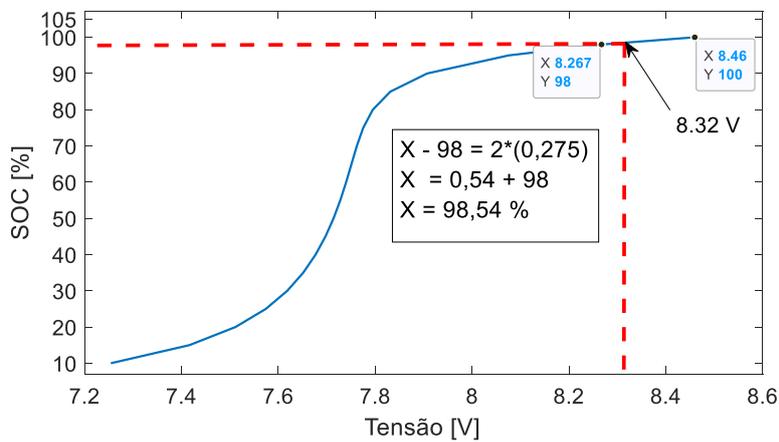


Figura 7 - SoC inicial via tensão de circuito aberto.

O valor de 98,54% é obtido para os módulos sob ensaio 3 e 4 (Md03 e Md04). Em posse desse valor é iniciado o ensaio de descarga dos módulos na bancada e no *software*. Com a aquisição e tratamento dos dados, utilizando *Matlab*, é gerado o gráfico comparativo da descarga dos módulos reais com um módulo 100% saudável simulado. A Fig. 8 mostra essa comparação, onde a curva em azul representa o módulo simulado e a laranja tracejada os módulos ensaiados. Pode-se notar que o módulo 3 (Md03) possui uma descarga mais lenta que o módulo 4 (Md04). Isto já evidencia um primeiro sinal de que este possui um estado de saúde maior, porém somente essa análise não é suficiente para estimar um valor de estado de saúde.

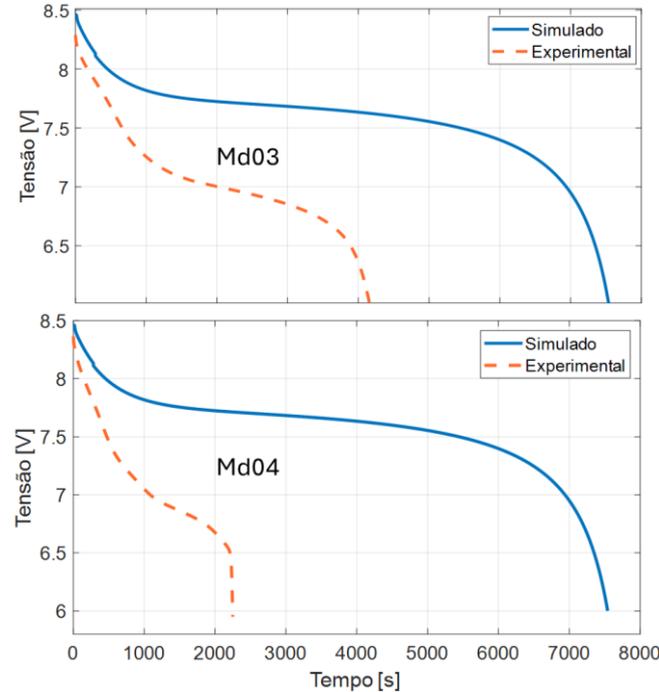


Figura 8 - Curvas de descarga módulos reais X Simulado.

Desta forma, para encontrar um valor para o estado de saúde, calcula-se a energia entregue pelos módulos ensaiados, com 98,54% de SoC inicial, multiplicando-a pela corrente de descarga média obtida de 3,25 A, demonstrado na Fig. 9.

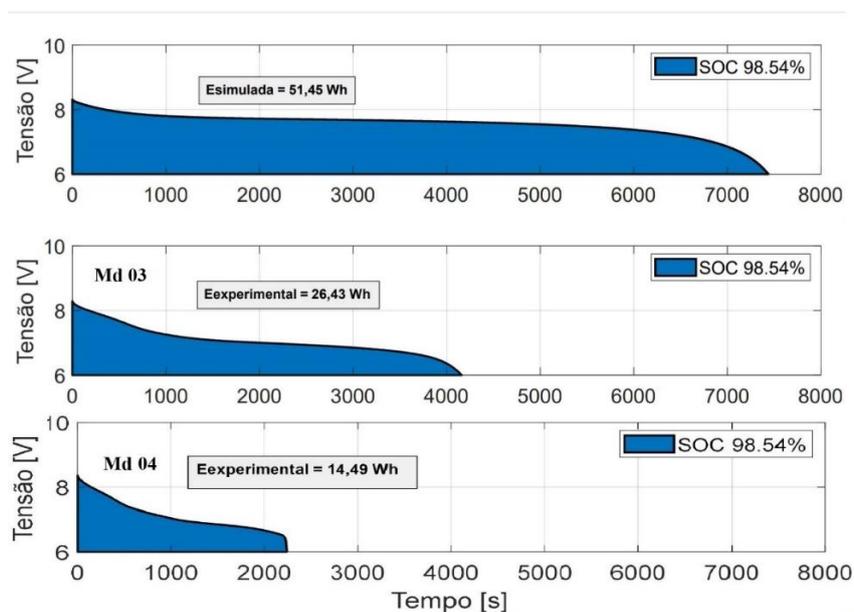


Figura 9 - Energia fornecida pelos módulos reais X Simulado.

Conforme visto, é esperado que um módulo novo com 100% de vida útil forneça em torno de 51,45 Wh. De posse dessa informação e sabendo que os módulos devem sair do veículo entre 70 % (36 Wh) e 80% (41,16 Wh) de vida útil, espera-se encontrar um valor abaixo destes últimos nos módulos ensaiados. Relacionando a quantidade de energia disponibilizada pelos módulos Md03 (26,63 Wh) e Md04 (14,49 Wh) com o módulo 100% saudável, ou seja, entrando no veículo híbrido, o valor aproximado obtido pela equação (1) foi de 52% para o Md03 e 28% para o Md04. Estes valores demonstram uma relação direta entre as curvas de descarga (Fig. 8) e o SoH do módulo, onde o módulo que descarrega mais rapidamente possui maior degradação.

A Fig. 10 apresenta os resultados para todos os módulos ensaiados durante o período de estudo, encontrados seguindo a mesma metodologia de ensaios da Fig. 1, evidenciando seus respectivos valores de estado de saúde. Como análise final para aplicações de segunda vida, por exemplo em armazenamento, foi utilizado como parâmetro o valor de 5 kWh, apresentado por (MONTES *et al.*, 2022). Dessa forma, tomando como base o valor do SoH do Md03 de 52 %, seriam necessários em torno de 190 módulos, associados em série, para atingir o valor indicado como mínimo para aplicações em armazenamento.

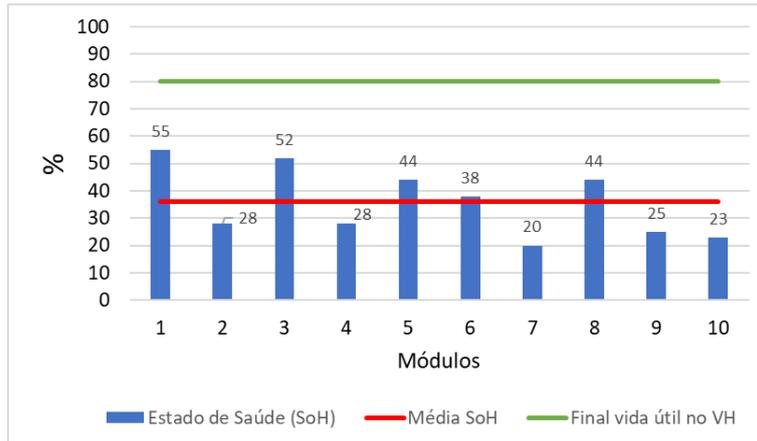


Figura 10 - Estado de saúde dos módulos ensaiados

5. CONCLUSÕES

O estudo feito visa contribuir para que as baterias dos veículos híbridos já inseridos mercado automotivo, possam ser aplicadas em soluções de segunda vida, como armazenamento estacionário para fontes renováveis. Neste estudo, o foco principal foi o desenvolvimento de uma metodologia para análise do estado de saúde dos módulos de baterias de veículos elétricos híbridos, após estas alcançarem a sua vida útil especificada pelo fabricante. A metodologia proposta utiliza uma comparação de ensaios experimentais em bancada e simulados via software para obtenção do estado de saúde (SoH). A abordagem via software utiliza um modelo simplificado dos equipamentos utilizados em bancada, visando representá-los virtualmente, bem como dos módulos das baterias utilizadas.

Diante de incertezas em relação ao tempo que os módulos ficaram fora do veículo híbrido, parâmetros de segurança foram adotados para evitar uma maior degradação durante os ensaios. Além disso, durante a etapa de desmontagem para acessar os módulos, foi possível verificar que em certos módulos os contatos estavam iniciando um estado de oxidação, corroborando para uma abordagem mais cautelosa durante os ensaios de carga e descarga em bancada. Os resultados do estudo se mostram em acordo com outros já realizados para aplicações de baterias em segunda vida, podendo ser considerado um ponto de partida para projetos maiores. Além disso, os módulos ensaiados apresentaram níveis de SoH abaixo dos valores de referência utilizados pela indústria, que considera o final da vida útil para aplicação em veículos quando a bateria atinge 70% de SoH. Com isso, pode-se concluir que as condições e o tempo em que as baterias permanecem armazenadas, são parâmetros críticos e que precisam ter uma atenção especial caso as baterias sejam destinadas para outras aplicações. Ainda assim, é possível destinar alguns módulos para construção de uma nova bateria para aplicação em armazenamento distribuído ou em veículos de menor porte. Pensando ainda em outras tecnologias de baterias, a metodologia proposta neste trabalho pode ser facilmente replicada, sendo necessário somente alterar os parâmetros de carga e descarga na bancada e no software.

Como trabalhos futuros, fica uma análise mais rápida dos módulos ao realmente serem retirados dos VH, evitando a degradação por armazenamento indevido e pelo tempo parado, que podem ter influenciado negativamente nos resultados do estudo, como dito anteriormente. Além disso, evidencia-se a necessidade de uma análise da localização dos módulos com menor SoH no conjunto ensaiado, para evidenciar possíveis causas e padrões de degradação durante o uso nos veículos híbridos, podendo contribuir para estudos de localização no VE, resfriamento dos módulos e gerenciamento.

Agradecimentos

Os autores gostariam de agradecer a Toyota Motors pelo fornecimento e concessão das baterias de veículos híbridos contribuindo para realização do estudo. Os autores agradecem ao CNPq, no âmbito do projeto “Estudo de Minirredes Inteligentes Aplicadas a Sistemas Isolados e Interconectados”, pelo apoio no desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS

- Garche, J.; Jossen, A. Battery management systems (BMS) for increasing battery life time. TELESCON 2000. Third International Telecommunications Energy Special Conference (IEEE Cat. No.00EX424). Anais...VDE-Verlag, 2000.
- Haram, M. H. S. M. *et al.*. Feasibility of utilising second life EV batteries: Applications, lifespan, economics, environmental impact, assessment, and challenges. Alexandria Engineering JournalElsevier B.V., , 1 out. 2021.
- IEA. Global EV Outlook 2023. Disponível em: <<https://www.iea.org/reports/global-ev-outlook-2023>>. Acesso em: 9 maio. 2023.
- Montes, T. *et al.*. Procedure for Assessing the Suitability of Battery Second Life Applications after EV First Life. Batteries, v. 8, n. 9, 1 set. 2022.
- Qiao, S. *et al.*. Experimental study on storage and maintenance method of Ni-MH battery modules for hybrid electric vehicles. Applied Sciences (Switzerland), v. 9, n. 9, 1 maio 2019.
- Serrao, L. *et al.*. An aging model of Ni-MH batteries for hybrid electric vehicles. 2005 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC. Anais...2005.
- Strickland, D. *et al.*. Estimation of transportation battery second life for use in electricity grid systems. IEEE Transactions on Sustainable Energy, v. 5, n. 3, p. 795–803, 2014.
- Zhu, W. H. *et al.*. Energy efficiency and capacity retention of Ni-MH batteries for storage applications. Applied Energy, v. 106, p. 307–313, 2013.

STATE OF HEALTH ANALYSIS OF Ni-MH BATTERIES POST-USE IN ELECTRIC VEHICLES FOR SECOND-LIFE APPLICATIONS

Abstract. *With the increasing number of electric vehicles (EVs) in the market, concerns about the disposal of batteries after their lifespan in the EV have also emerged. Recognizing that EV batteries need replacement when they reach a state of health or end-of-life between 70-80%, this study aims to explore a method to identify viable modules post-removal from the EV for second-life applications. Given the uncertainty about how long the battery modules of the hybrid vehicle under study have been out of the vehicle, a factor contributing to their degradation, a comparison was conducted with 10 modules tested on an experimental bench and a module at 100% life, simulated using Matlab/Simulink software. In this work, the proposed methodology is applied to two modules. Initially, voltage measurements during module recharging were taken to determine the initial state of charge for discharge tests. Conservative limits were adopted to safely interrupt the module's charging and discharging, preventing further degradation. During discharge tests, a multimeter acquired voltage values, generating discharge curves that allowed the calculation of the energy supplied by the module by multiplying the area under the curve by the discharge current. By comparing this with the simulated module curve, an estimate of the module's state of health on the bench was obtained. This method, in a preliminary analysis, proves to be efficient in identifying suitable modules for second-life applications, such as stationary storage and use in conjunction with post-end-of-life inverters in EVs.*

Keywords: Batteries; State of Health; Second Life