ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICA DA UTILIZAÇÃO DE BATERIAS DE SEGUNDA VIDA RETIRADAS DE VEÍCULOS ELÉTRICOS

Matheus Hohmann – matheus.hohmann79@gmail.com
Aline Kirsten Vidal de Oliveira
Ricardo Rüther
Universidade Federal da Santa Catarina, Centro Tecnológico

6.5. Caracterização, análise, equipamentos e sistemas de armazenamento de energia

Resumo. *Devido ao crescimento do mercado de veículos elétricos e ao alto custo e impacto ambiental das baterias de íons de lítio, o conceito de segunda vida de baterias surge como uma alternativa para diluir o alto investimento econômico e ambiental realizado. Estas baterias descartadas da eletromobilidade ainda possuem alta densidade energética, o que permite que sejam utilizadas em novas aplicações com menor estresse energético, como em conjunto com geradores solares fotovoltaicos para contornar a intermitência de geração. Visando essas novas aplicações, surge a necessidade de avaliação e caracterização destes módulos de baterias, por meio do teste de capacidade que tem como objetivo definir a capacidade residual delas. Através destes testes é possível definir a viabilidade da criação de um banco de baterias de segunda vida com as células selecionadas, bem como especificações elétricas de operação do armazenador. Este trabalho visa analisar a viabilidade técnica da utilização de baterias de segunda vida, por meio da determinação das capacidades remanescentes de baterias descartadas de veículos elétricos Nissan LEAF que operaram como taxis na cidade de São Paulo durante cinco anos. A capacidade remanescente média encontrada nas baterias utilizadas foi de 60%, considerando a capacidade original, o que demonstra ainda uma alta densidade energética para novas aplicações estacionárias e garante a viabilidade técnica. Além disso, foi observada a variabilidade das capacidades medidas, oriundas das diferentes formas de utilização dos veículos elétricos dos quais as baterias foram retiradas. A variabilidade de estado de saúde das baterias também foi observada entre módulos retirados de um mesmo veículo, devido às diferenças de temperatura a que os módulos estão sujeitos dentro do veículo. A reutilização de baterias se mostra muito promissora devido à alta densidade energética ainda disponível e pela disponibilidade cada vez maior de baterias descartadas no mercado. Porém, a correta caracterização e seleção das baterias utilizadas é fundamental para um bom funcionamento dos sistemas a serem implementados.*

Palavras-chave: *Armazenamento de Energia, Veículos Elétricos, Bateria de Segunda Vida.*

1. INTRODUÇÃO

A energia fotovoltaica está continuamente se provando eficiente em todo o mundo. A tecnologia conheceu uma grande evolução junto com uma enorme queda de preço, tornando-a cada vez mais acessível. A evolução da energia fotovoltaica (FV) pode ser atribuída ao desenvolvimento dos diferentes componentes de um sistema solar isolado e à expansão dos sistemas conectados à rede (Boucar Diouf, 2015).

Algumas fontes de energia renovável, como a fotovoltaica e a eólica, são consideradas fontes intermitentes de geração de energia, ou seja, utilizam recursos energéticos renováveis que não podem ser armazenados em sua forma original (ANEEL, 2012). Devido ao aumento da participação destes tipos de energias renováveis no mercado, surge a demanda desafiadora de equilibrar a demanda de eletricidade e o fornecimento de energia ao longo do tempo para todos os pontos de consumo conectados à rede (Carrasco et al., 2006).

Formas de integração adequadas entre fontes de geração de energias renováveis intermitentes e sistemas de armazenamento de energia podem proporcionar uma melhor inserção destas tecnologias no mercado, assim como minimizar emissões de carbono (Carrasco et al., 2006). Através de um fornecimento de energia coordenado, levando em consideração horários de pico de geração e consumo, os sistemas de armazenamento de energia em baterias (Battery Energy Storage Systems – BESS) podem equalizar flutuações e compensar incompatibilidades existentes na rede (Hesse et al., 2017).

Os BESS, especialmente os que utilizam baterias de íons de lítio, vêm sendo estudados e implementados em diferentes aplicações e localidades. Vantagens como tempo rápido de resposta, alta eficiência, baixa autodescarga e possibilidade de expansão do sistema devido a uma estrutura modular tornam esta tecnologia fortemente competitiva quando comparada a alternativas de armazenamento de energia (Hesse et al., 2017).

Dado o elevado valor agregado à produção de baterias de íons de lítio, é importante desenvolver estratégias para otimizar o uso destes produtos e os impactos ambientais ao longo de seus ciclos de vida. Com este objetivo e, também, para extrair o máximo valor econômico das baterias após sua utilização em veículos elétricos, sugere-se seguir a hierarquia de gestão de resíduos, onde a reutilização é preferível à reciclagem (Gavin H. et al, 2019).

As baterias de íons de lítio são normalmente utilizadas em veículos elétricos até atingirem aproximadamente 80% de sua capacidade original. Fatores como design, temperatura de operação, processo de carregamento e estado de carga das baterias influenciam neste processo. Estas baterias com menor capacidade, não geram interesse para a utilização nos veículos elétricos pois não atendem mais requisitos de mobilidade (autonomia em km limitada por ciclo de carregamento), mas ainda podem ser utilizadas em aplicações estacionárias, como sistemas estacionários de armazenamento de energia (REID, 2016).

Esta nova aplicação da bateria de lítio é conhecida como a segunda vida, que tem como objetivo prolongar a vida útil do armazenador utilizando-o em outra aplicação. Esta estratégia é utilizada visto que as baterias de lítio-íon são descartadas dos veículos elétricos com um valor considerável de capacidade remanesceste e possuem um alto custo de produção e reciclagem. Desta maneira, encontrar novas aplicações para este componente dilui o custo ao longo de mais tempo tornando assim um investimento mais atrativo financeiramente e ganhando tempo enquanto os volumes necessários para justificar economicamente os investimentos em processos de reciclagem se acumulam.

Para realizar este processo de reutilização, é necessário submeter as células a testes elétricos que têm o objetivo de verificar a degradação da bateria. Este procedimento é importante pois ao longa da utilização de um conjunto de baterias de primeira vida, pode haver uma degradação heterogênea do banco, e se esse desbalanço não for identificado, certamente limitará o desempenho do conjunto de segunda vida. Observando estes fatores, realizar testes para classificação das células é muito importante para um bom desempenho do sistema de armazenamento de segunda vida.

Este artigo tem como objetivo analisar a viabilidade técnica quanto à utilização de bateria de segunda vida, por meio da determinação da capacidade remanente de carga de baterias descartas de veículos elétricos Nissan LEAF utilizados como táxis na cidade de São Paulo por cinco anos. Com a realização do teste de capacidade, é possível determinar o real estado de degradação da bateria, e desta forma analisar as possíveis novas aplicações do acumulador de energia.

1.1 Projeto e contexto

Este trabalho faz parte do projeto de pesquisa e desenvolvimento executado pelo Grupo de Pesquisa Estratégica em Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (Fotovoltaica/UFSC) no contexto da chamada estratégica 021/2016 da ANEEL e contou com o apoio financeiro da Engie e da Guascor, além das doações das baterias descartadas de 12 veículos Nissan LEAF, cedidas pela NISSAN em 2018 para subsidiar os estudos do laboratório Fotovoltaica/UFSC nesta área. O projeto intitulado “Um investimento = múltiplas funções: Desenvolvimento e avaliação técnica, regulatória e econômica de sistemas de armazenamento de energia aplicados a sistemas de geração centralizada e distribuída.” tem como objetivo estudar as possíveis interações de um sistema de armazenamento de energia pode realizar.

2. METODOLOGIA

Este tópico tem como objeto apresentar a metodologia utilizada para realização dos testes bem como a definição de conceitos e procedimentos importantes dentro do tema deste artigo.

2.1 Baterias Nissan LEAF

No ano de 2012, com o objetivo de avaliar a viabilidade econômica de uma frota de táxis eletrificados, a Nissan, em parceria com as prefeituras de São Paulo e Rio de Janeiro, criou um projeto piloto de teste de 25 unidades do veículo puro elétrico Nissan LEAF. O projeto foi bem-sucedido e ao final do quinto ano, os veículos somaram mais de 2,2 milhões de quilômetros rodados (Canal Dana, 2016).

Após a finalização do projeto, em 2018 foi criada uma parceria entre o Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (Fotovoltaica/UFSC) e Nissan com objetivo de avaliar a degradação das baterias dos veículos utilizados durante os cinco anos de projeto e buscar novas aplicações para elas, com objetivo de diluir o alto investimento, econômico e ambiental, realizado. Esta degradação está associada a diversos ciclos de carga e descarga ao longo da utilização do veículo, que variam de acordo com diversos parâmetros, como por exemplo, a jornada de trabalho do motorista, a região onde circulava, a forma de condução do veículo e principalmente a velocidade de carga das baterias (Yuliya P., 2020).

O modelo do veículo Nissan LEAF 2012 utilizado no projeto conta com um conjunto de baterias de 24,5 kWh que resulta em uma autonomia de 160 km em seu primeiro ano de uso. Sua bateria é constituída por 48 módulos ligados em série garantindo uma tensão de cerca de 400 V quando totalmente carregado, sendo que cada módulo possui uma tensão nominal de 7,4 V e 66 Ah de capacidade.

Cada módulo é composto por quatro células na configuração 2s2p de tecnologia Lítio-íon, mais especificamente LMO (Óxido de Manganês de Íon de Lítio). Estas células possuem tensão e capacidade nominal de 3,7 V e 33 Ah, respectivamente. O formato das células escolhidas para compor o conjunto de bateria do Nissan LEAF é o *pouch.*, também conhecida como bolsa. A vantagem deste tipo de célula é que sua geometria pode ser selecionada quase que livremente, se ajustando aos requisitos de projetos (Hendrik Löbberding et al, 2020). A Fig. 1 apresenta o desenho da célula, do módulo e do conjunto de baterias em análise. Neste trabalho, foram analisados módulos de nove dos carros que trafegaram em São Paulo e Rio de Janeiro entre 2012 e 2017.

Os conjuntos de baterias dos carros foram desmontados e etiquetados de maneira a registrar a origem de cada módulo e sua posição dentro do conjunto. Esta identificação se fez necessária devido à grande quantidade de baterias obtidas com

a desmontagem dos carros e para que se tenha um rastreamento das células no futuro. A Fig. 2 mostra algumas imagens deste processo. O processo de desmontagem seguiu os procedimentos descritos em Car Manuals (2012).

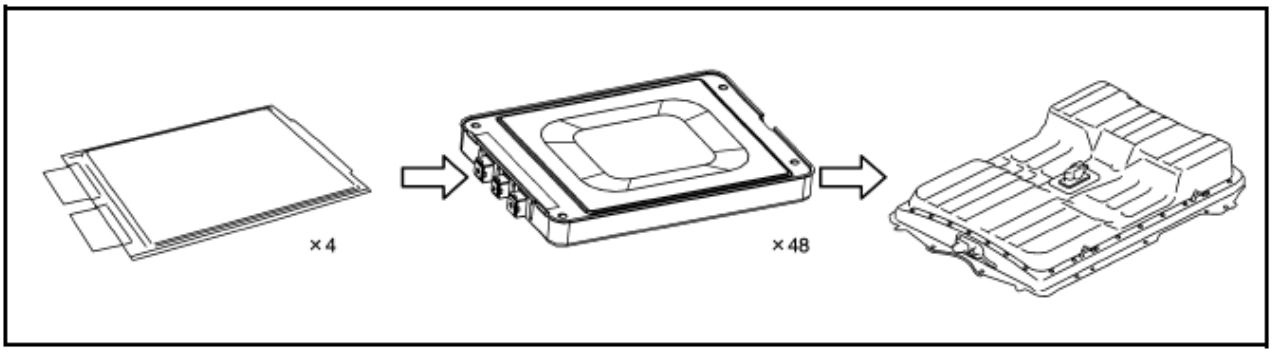


Figura 1: Configuração do banco de baterias Nissan LEAF. (Car Manuals, 2012).



(a) (b) (c)

Figura 2: Fotos do processo de montagem e separação das baterias do Nissan LEAF utilizadas neste estudo: (a) conjunto de baterias completo retirado da base do carro (b) conjunto de baterias sendo desmontado (c) módulos de baterias desmontados e etiquetados.

2.2 Baterias de segunda vida

Atualmente, o componente que mais encarece os veículos elétricos é o conjunto de baterias, o que dificulta sua popularização em massa. Por este motivo, buscam-se meios de baratear a sua produção e diluir seu preço ao longo da sua vida útil. Para solucionar este problema, criou-se o conceito de "Baterias de Segunda Vida", que tem como objetivo utilizar baterias descartadas de veículos elétricos empregando-as em novas aplicações estacionárias (Andreas P., 2018).

Inicialmente, é necessário entender o que caracteriza uma célula de primeira e segunda vida. Este conceito é algo que gera discussões dentro da literatura, pois ainda não existe um valor definido de estado de saúde (do inglês *State of Health – SoH*), que determina esta etapa de transição. Até o momento, existe uma tendência de que esta transição aconteça por volta dos 80% de SoH (Christophersen, J. P., 2015). Como comentado anteriormente, alguns pesquisadores consideram valores diferentes desta tendência, mas em linhas bem gerais, os valores estão dentro da faixa de 75% - 85% de SoH.

2.3 Estado de saúde - SoH

Um conceito muito importante quando se trata de bateria é o estado de saúde ou SoH. Esta grandeza tem como objetivo representar o quanto de capacidade remanescente a célula possui, ou seja, quanto de energia a bateria ainda é capaz de armazenar. Normalmente esta característica é apresentada em percentual e tem como base a capacidade da célula quando nova. O SoH da bateria é definido como 100% no momento de fabricação e este valor decai ao longo tempo com

sua a utilização. No geral, considera-se que bateria de segunda vida possuem SoH de 80% ou menos, o que significa que as mesmas conseguem armazenar pelo menos 20% menos energias do que quando novas.

2.4 Medição de capacidade

Talvez a principal e mais importante grandeza que caracteriza os armazenadores de energia seja a capacidade de carga, que por definição é a capacidade da bateria de fornecer uma corrente com uma determinada intensidade e durante um determinado tempo, medido em horas. Toda bateria possui este valor definido pelo fabricante através de um processo chamado teste de capacidade e este por sua vez possui algumas disposições a serem seguidas. A medição da capacidade remanescente de baterias de segunda vida está intimamente ligada à determinação da viabilidade técnica de sua utilização. Dentro da literatura, este é um procedimento bastante discutido, principalmente referente à corrente utilizada durante o teste, valor o qual influencia diretamente o tempo de teste e a confiabilidade do valor aferido. É necessário encontrar um ponto ótimo para otimização entre tempo e confiabilidade de resultados. O procedimento para realizar o teste de capacidade consiste em conectar uma célula totalmente carregada a uma carga e descarregá-la por completo. Este procedimento é realizado ao longo de um determinado tempo e com uma corrente constante. Ao finalizar o teste e realizar a integração da corrente em amperes ao longo do tempo em horas se obtém a capacidade da célula em Ah.

Para realização dos testes de capacidade apresentados na próxima seção, foi utilizada uma carga eletrônica, modelo NHR 9430-12 que pode ser observada na Fig. 3. Esta possibilita uma maior confiabilidade dos resultados apresentados ao final do teste, bem como uma estabilidade muito maior da corrente visto a sua capacidade de mitigar as variações de tensão da célula e resistência das cargas convencionais. Por outro lado, o modelo do equipamento utilizado possui uma tensão mínima de trabalho de 10 V, o que impossibilita realizar o teste com um único módulo, sendo necessário conectar 3 módulos em série para realização dos testes. A análise de como esta associação afeta os resultados está dentro do escopo futuro deste trabalho.



Figura 3: Teste de capacidade com três módulos em série conectados a uma carga eletrônica.

Como comentado anteriormente, o teste de capacidade possui algumas condições a serem seguidas, como valores de corrente utilizada no teste e temperatura. Estas definições são estabelecidas pelo fabricante pois a capacidade é função da temperatura e corrente elétrica, e a alteração destes valores leva a variações de capacidade. Desta maneira, pode-se chegar a valores de capacidade em segunda vida equivocados, que não representam a real degradação da bateria e impossibilitam a comparação dos resultados obtidos em primeira vida. Desta forma, analisando a documentação disponibilizada pelo fabricante, neste trabalho foi utilizada uma corrente de 22 A (0.33C) para a realização dos testes de capacidade.

3. RESULTADOS

Inicialmente é importante esclarecer que os testes foram realizados utilizando três módulos em série, devido às limitações do equipamento, como comentado anteriormente. Devido a essa conexão, a capacidade do conjunto fica limitado à bateria que possui menor capacidade, visto que esta atingirá seu limite inferior de tensão primeiro, levando à conclusão do teste.

Para agrupar módulos similares entre si, optou-se por seguir a sequência de conexão original do carro, de acordo com a numeração da conexão em série, iniciando em 1 no módulo mais positivo da série e terminando em 48 no módulo mais negativo. Assim, os módulos 1, 2 e 3 resultam em um teste, 4, 5 e 6 em outro, até 46, 47 e 48. Este método foi escolhido com o objetivo de obter uma menor influência da variação da temperatura devido à proximidade física dos módulos. Esta forma de agrupar as células se mostrou apropriada em 81.25% dos conjuntos, implicando que em 18.75% dos testes houve limitação por parte de uma das células do conjunto. Esta limitação é decorrente de um desbalanceamento entre as células do conjunto, possibilitando concluir previamente que as disparidades apresentadas ao longo deste artigo podem ainda ser superiores devido aos resultados apresentados serem referentes à célula mais degrada dentro do conjunto.

A Tab.1 tem como objetivo demonstrar as variações de capacidade existentes entre diferentes carros avaliados, realizando uma análise utilizando o valor médio de capacidade medida, para representar como os diferentes perfis de utilização do veículo interferem no SoH da bateria.

Como comentado anteriormente, os veículos utilizados nesse estudo eram táxis que circulavam na cidade de São Paulo e Rio de Janeiro ao longo de cinco anos. Neste período, os veículos foram usados nas mais variadas situações, incluindo diferentes jornadas de trabalho, tipos de cargas e percursos. Todas essas variações causam diferentes estresses térmicos e elétricos no banco de baterias levando a diferentes degradações da célula e consequentemente, diferentes capacidades remanescentes.

Estas disparidades entre as capacidades dos carros são representadas na Tab. 1, onde se pode observar valores médios com 35% de diferença entre as capacidades medidas. Tal valor representa uma diferença de 23 Ah entre as células no caso mais extremo. Analisando resultados mais moderados, pode-se observar uma variação entre 10 e 15%, resultado que ainda representa uma parcela expressiva de energia visto que a tecnologia de lítio-íon possui uma alta densidade energética.

Tabela 1 - Valores de estado de saúde referente aos carros testados.

Carro #	1	2	3	4	5	6	7	8
Número de módulos medidos	15	18	9	12	24	21	12	12
SoH máxima	56,0%	67,7%	89,2%	60,3%	66,9%	72,6%	66,6%	60,5%
SoH média	51,8%	62,7%	88,0%	54,3%	62,6%	69,9%	63,2%	57,1%
SoH mínima	49,7%	57,9%	83,6%	47,8%	60,0%	64,1%	60,8%	56,1%

Os resultados obtidos apontam para a importância da realização do teste de capacidade para classificação das células, principalmente se o banco de segunda vida tiver origens de módulos de primeira vida diferentes. Realizar a montagem de um sistema de armazenamento de segunda vida com baterias dos carros 1, 3 e 6 em série, sem realizar nenhum tipo de teste de seleção de módulos, irá gerar problemas de balanceamento e autonomia. Talvez este problema de operação não seja sanado apenas com testes de capacidade, mas eles indicarão as melhores baterias bem como a configuração adequada para atingir os objetivos iniciais do banco.

Uma característica fundamental para os diferentes valores de capacidade encontrados é a forma de utilização dos veículos. Ainda que não tenha sido disponibilizado o acesso ao histórico de operação dos carros em análise, é possível afirmar que alguns deles foram mais degradados do que outros e isto é observado na capacidade remanescente do veículo. De acordo com o perfil de uso de veículos como táxis, é possível deduzir que alguns dos veículos foram frequentemente carregados com carregadores rápidos, pois precisavam voltar para a rotina de trabalho rapidamente, e outros foram submetidos a cargas lentas ao longo de uma noite inteira. Durante este processo de carregamento, o banco de baterias é submetido a situações heterogêneas cuja repetição leva a uma degradação mais ou menos acentuada. Além disso, espera-se que cargas rápidas sejam utilizadas com uma frequência alta para que em pouco tempo o veículo volte a circular e consequentemente percorra uma distância maior, causando assim uma maior degradação. Esta deterioração pela utilização

já é característica das baterias de lítio-íon, mas o que se busca salientar é como a utilização pode influenciar e intensificar esse processo.

A segunda análise que se pode realizar baseada na Tab. 1 é sobre a diferença entre os estados de saúde máximos e mínimos dentro de um mesmo veículo. Os resultados apresentam valores consideráveis de desequilíbrio energético entre células do mesmo carro, que por sua vez não deveria ser tão acentuado, pois todas as células então conectadas em série e consequente submetidas à mesma demanda energética. Analisando este fenômeno com um pouco mais de detalhe, observa-se que esta diferença se apresenta de forma mais significativa quando comparados os resultados dos testes de capacidade das células 1, 2 e 3 com o teste das células 46, 47 e 48, ou seja, a diferença se mostra mais acentuada quando se confronta os módulos do início e fim do carro.

A Fig. 3 tem como objetivo demonstrar essas diferenças, apresentando duas colunas com valores medidos de capacidade e uma terceira coluna representando a diferença entre estes valores. Para esta análise, o carro 3 não foi utilizado, devido à não realização dos testes de capacidade na configuração citada, mas ainda é possível observar variações analisando a Tab. 1.

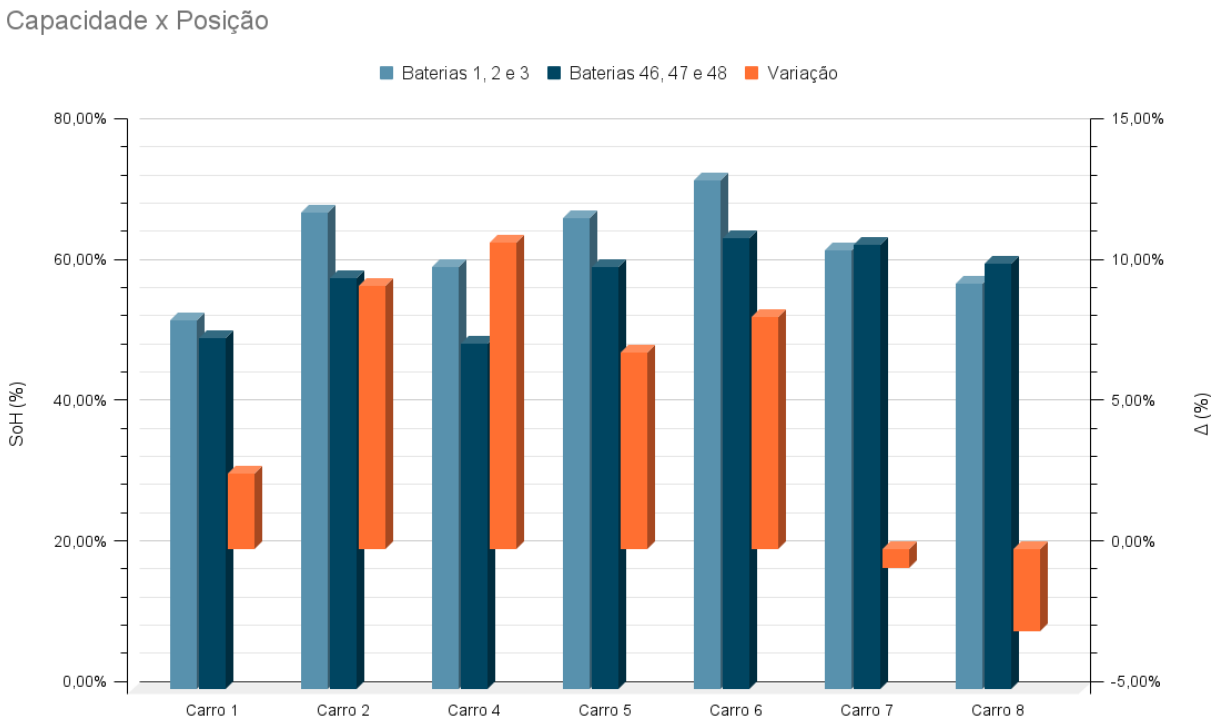


Figura 4: Comparativo de capacidade entre módulos de um mesmo carro.

Observando-se a Fig. 4, é possível perceber diferenças de até 10,86% de capacidade dentro de um mesmo carro e analisando estes resultados, pode-se estabelecer algumas hipóteses sobre o que ocasionou este desbalanço. Uma hipótese para a causa dessa disparidade entre as capacidades é a diferença de temperatura a que cada um dos módulos é submetido dentro do conjunto de baterias, devido à alta sensibilidade que a baterias de lítio-íon possuem à temperatura. Esta ideia ganha mais força à medida que se observa a falta de um sistema de refrigeração ativa nos modelos de 2012, sendo essa refrigeração realizada apenas de maneira passiva. A Nissan adicionou uma refrigeração ativa nos modelos dos anos seguintes, o que fomenta a hipótese.

Ainda que o conjunto de baterias tenha sido submetido a análises térmicas durante a concepção do carro, ainda assim existem variáveis não controláveis que afetam as condições dentro do banco, como as diferenças nos processos de fabricação e fenômenos decorrentes das interações entre módulos durante a operação, que atualmente ainda são alvo de estudos.

Estas variações no processo de fabricação se refletem na alteração dos parâmetros elétricos da bateria, afetando principalmente a capacidade e impedâncias internas da célula. Como estas alterações são oriundas de um processo de fabricação, não existem muitas soluções que se pode adotar para contornar este problema (Xinhua L., 2019).

A modificação dos parâmetros elétricos pode gerar uma distribuição de calor desigual dentro do encapsulamento do veículo, visto que as células irão ter um rendimento diferente devido às suas diferenças. Outra influência das alterações dos parâmetros elétricos é a interação dos módulos em si. No LEAF, cada modulo possui quatro células na configuração 2s2p. Assim, se houver uma diferença de resistência interna, uma célula fornecerá mais corrente do que a outra que está em paralelo com ela, causando assim um estresse elétrico e térmico maior nesta com menor resistência interna. Para o conjunto do veículo como um todo, este módulo está em serie com os demais e consequentemente entrega a mesma corrente, mas existe um desbalanceamento interno ao módulo que não é visualizado pelo sistema de maneira geral.

4. CONCLUSÕES

As baterias de segunda vida se mostram uma aplicação estacionária válida para a reutilização das células descartadas de veículos elétricos, principalmente pela sua densidade energética e capacidade de entregar altas correntes em períodos curtos de tempo. O que se pode observar com os resultados apresentados é que existe um grande desafio de implementação destes sistemas, em razão da dificuldade de construir um novo arranjo com células que possuam um mesmo estado de saúde e que sejam balanceadas entre si.

Este equilíbrio pode ser alcançado realizando-se diversos testes de capacidade com as baterias que serão utilizadas, mas estes testes levam muito tempo para serem realizados e ainda não garantem um total equilíbrio após o banco entrar em operação. Este artigo demonstrou as diferenças de capacidade que podem existir entre baterias oriundas de um conjunto de automóveis idênticos e mesmo diferentes capacidades entre módulos provindos do mesmo veículo.

O uso das baterias de lítio de segunda vida se mostra uma tecnologia promissora, que pode aumentar a viabilidade econômica e reduzir o impacto ambiental dos sistemas de armazenamento de íons de lítio, desde que mais pesquisas na área auxiliem sua caracterização e a modelagem do seu funcionamento.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Nissan automóveis do Brasil pela cessão das baterias descartadas de veículos Nissan LEAF e que possibilitaram a realização deste trabalho e à Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), bem como à Engie Brasil Energia e à Guascor do Brasil pelo suporte e apoio financeiro no projeto P&D Estratégico ANEEL 021/2016.

REFERÊNCIAS

Andreas P., 2018. “Sustainability Assessment of Second Use Applications of Automotive Batteries: Ageing of Li-Ion Battery Cells in Automotive and Grid-Scale Applications”. Em: World Electric Vehicle Journal 9.2 (2018). issn: 2032-6653.

ANEEL, 2012. Resolução normativa da ANEEL no 493, de 5 de junho de 2012. Disponível em: https://pesquisa.in.gov.br/imprensa/jsp/visualiza/index.jsp?jornal=1&pagina=103&data=08/06/2012 . Acessado em: 20 dez. 2021.

Boucar Diouf e Ramchandra Pode. “Potential of lithium-ion batteries in renewable energy”. Em: Renewable Energy 76 (2015), pp. 375–380. issn: 0960-1481. doi: https://doi.org/10.1016/j.renene.2014.11.058. url: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148114007885.

Canal Dana, 2016. Após 4 anos, Nissan encerra programa experimental de táxis elétricos. Disponível em: https://dana.com.br/canaldana/2016/04/20/apos-4-anos-nissan-encerra-programa-experimental-de-taxiseletricos/ Acesso em: 12 dez. 2021.

Carrasco et al, 2006. “Power-Electronic Systems for the Grid Integration of Renewable Energy Sources: A Survey”. Em: IEEE Transactions on Industrial Electronics 53.4 (2006), pp. 1002–1016. doi: 10.1109/TIE.2006.878356.

Car Manuals, 2012. 2012 Nissan Leaf - EV Battery System. Disponível em: https://carmanuals2.com/nissan/leaf-2012-ev-battery-system-section-evb-47819 . Acesso em: 12 dez. 2021.

Gavin H. et al, 2019. “Recycling lithium-ion batteries from electric vehicles”. Em: Nature 575.7781 (nov. de 2019), pp. 75–86. issn: 1476-4687. doi: 10.1038/s41586-019-1682-5. url: https://doi.org/10.1038/s41586-019-1682-5.

Hendrik Löbberding et al, 2020. “From Cell to Battery System in BEVs: Analysis of System Packing Efficiency and Cell Types”. Em: World Electric Vehicle Journal 11.4 (2020). issn: 2032-6653. doi: 10.3390/wevj11040077. url: https://www.mdpi.com/2032-6653/11/4/77.

Hesse et al., 2017 “Lithium-Ion Battery Storage for the Grid—A Review of Stationary Battery Storage System Design Tailored for Applications in Modern Power Grids”. Em: Energies 10.12 (2017). issn: 1996-1073. doi: 10.3390/en10122107. url: https://www.mdpi.com/1996-1073/10/12/2107.

Jon P. C., 2015. “Battery Test Manual For Electric Vehicles, Revision 3”. Em:(jun. de 2015).

REID, G., JULVE, J., 2016. Second Life-Batterien als flexible Speicher für Erneuerbare Energien. Report, 2016. Disponivel em: https://speicherinitiative.at/wp-content/uploads/sites/8/2020/11/05-SecondLife-Batterienflexible-EE-Speicher.pdf . Acesso em: 20 dez. 2021.

Xinhua L,. 2019. “The effect of cell-to-cell variations and thermal gradients on the performance and degradation of lithium-ion battery packs”. Em: Applied Energy 248 (ago. de 2019), pp. 489–499.

Yuliya P., 2020. “Degradation of Commercial Lithium-Ion Cells as a Function of Chemistry and Cycling Conditions”. Em: Journal of The Electrochemical Society 167.12 (jan. de 2020), p. 120532. doi: 10.1149/1945-7111/abae37.

ANALYSIS OF TECHNICAL FEASIBILITY OF THE USE OF SECOND LIFE BATTERIES REMOVED FROM ELECTRIC VEHICLES

Abstract. *Due to the growth of the electric vehicle market and the high cost and environmental impact of lithium-ion batteries, the concept of second life battery emerges as an alternative to mitigate the high economic and environmental investment made. These discarded electromobility batteries still have a high energy density, which allows them to be used in new applications with less energy stress, such as in conjunction with photovoltaic plants to reduce energy generation intermittence. Aiming at these new applications, there is a need to evaluate and characterize these battery modules, through the capacity test that aims to define their residual capacity. Through these tests, it is possible to define the feasibility of creating a second-life battery bank with the selected cells, and the electrical specifications for the storage system operation. This work aims to analyze the technical feasibility of using second life batteries, by determining the remaining capacities of discarded batteries from Nissan LEAF electric vehicles used by taxi drivers for 4 years. The average capacity found in the batteries used was 60%, considering the original capacity, which also demonstrates a high energy density for new applications and guarantees technical viability. In addition, the variability of the measured capacities was observed, generated from the different ways that the electric vehicles from which the batteries were removed were used. The state of health variability of the batteries was also observed between modules taken from the same vehicle, due to the temperature differences that the modules are subjected to inside the car. The reuse of batteries is very promising due to the high energy density still available and the increasing availability of discarded batteries in the market. However, the correct characterization and selection of the batteries is essential for a good operation of the systems to be implemented.*

Key words. *Energy Storage, Electric Vehicles, Second Life Battery*.