



**XXI SNPTTE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Versão 1.0
23 a 26 de Outubro de 2011
Florianópolis - SC

GRUPO –XV

**GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E
TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL**

**AValiação DO USO DE BATERIA DE LÍTIo-ÍON EM
APLICAÇÃO ESTACIONÁRIA EM TELECOMUNICAÇÕES**

**Alexandre Pinhel Soares(*)
Eletrobras FURNAS**

**Maria de Fátima N.C.Rosolem, Luiz Eduardo F. Dias Jr., Vitor Torquato Arioli, Raul Fernando Beck, Kaue
Miranda, Glauco Ribeiro dos Santos, Marcos Roberto dos Santos, Rodrigo Nazari
CPqD**

RESUMO

Muitos dos Sistemas de Telecomunicações utilizados pelas empresas do Setor Elétrico são críticos e impactam diretamente no negócio principal sendo imprescindível que os processos e sistemas tecnológicos associados a esses sistemas operem sem interrupção. Ocorre porém que parte significativa das indisponibilidades registradas nas Telecomunicações são causadas pelos sistemas de energia associados (ditos auxiliares).

Observa-se que um fator que contribui para essa situação é o fato desses sistemas atuarem na retaguarda, de forma imperceptível para aqueles que não estão envolvidos diretamente com eles. Essa falta de visibilidade acaba ocultando problemas que podem se tornar sistêmicos uma vez que tais sistemas permeiam toda a estrutura de Telecomunicações. Esse cenário pode ser observado atualmente no que diz respeito à confiabilidade e durabilidade de um tipo específico de baterias que tem presença dominante nessa área.

Procurando atacar esse problema a Eletrobras FURNAS tem buscado baterias alternativas e para tanto vem pesquisando, em conjunto com o CPqD (Fundação Centro de Pesquisa e Desenvolvimento em Telecomunicações), a tecnologia de Lítio-ion para baterias estacionárias.

Esse trabalho apresenta essa nova tecnologia, bem como alguns dos resultados obtidos.

PALAVRAS-CHAVE

Baterias de lítio-ion, Telecomunicações, confiabilidade, durabilidade, baterias VRLA.

(*) Rua Real Grandeza 219 – Bloco E – Sala 109 – CEP 22281-900 Rio de Janeiro, RJ, Brasil
Tel: (+55 21) 2528-4049 – Fax: (+55 21) 2528-5656 – Email: pinhel@furnas.com.br

1.0 - INTRODUÇÃO

No Brasil, a bateria chumbo-ácida continua sendo a solução mais utilizada em aplicações estacionárias que necessitem operar mesmo em situações de falha no suprimento da energia, caso de diversos sistemas de Telecomunicações presentes nas empresas do Setor Elétrico.

Com a introdução, em meados da década de 90, da bateria chumbo-ácida regulada por válvula (VRLA - Valve Regulated Lead Acid) observou-se mudanças de paradigma tanto por parte dos projetistas quanto pelo pessoal responsável pela manutenção. Do ponto de vista do projeto, o fato dessas baterias emitirem gás em uma quantidade muito baixa (devido à regulação por meio de válvula) permite que possam ser instaladas próximas às cargas. Quanto à manutenção, alegava-se que haveria grande redução dos custos uma vez que não há reposição de água. Atualmente essa tecnologia praticamente domina o segmento de Telecomunicações no Setor Elétrico brasileiro.

Ocorre porém que nos últimos anos, tem-se observado um aumento da insegurança quanto ao uso desse tipo de produto, especialmente devido à percepção de que a confiabilidade e durabilidade não tem se mostrado adequada à importância de alguns sistemas críticos.

Sensível e sofrendo com esse problema, Eletrobras FURNAS tem aperfeiçoado suas técnicas de manutenção, porém também está atenta a novas tecnologias que consigam substituir técnica e economicamente as baterias VRLAs. Decidiu investigar então o uso das baterias de lítio-ion estacionárias e para isso desenvolveu um projeto de P&D em conjunto com o CPqD.

2.0 - A BATERIA DE LÍTIO-ION

As pesquisas sobre baterias de lítio iniciaram-se em 1912, mas somente na década de 70 obteve-se produtos comercialmente viáveis, mas cujas aplicações foram com finalidades militares e aeroespaciais. Somente na década de 90 [1], com a popularização das aplicações móveis, especialmente dos microcomputadores portáteis e dos telefones celulares, elas ganharam mercado mundial e desde 2002 existem baterias de lítio-íon recarregáveis de grande porte para aplicações estacionárias.

A literatura técnica disponível defende que esse tipo de bateria apresenta vantagens tanto nas questões de projeto quanto nas de manutenção, pelos motivos a seguir:

1. As baterias de lítio-íon existentes atualmente apresentam um terço do volume e um quinto do peso quando comparadas com baterias de chumbo com capacidade equivalente, o que reduz bastante os espaços necessários para sua instalação.
2. Não há reposição de eletrólito nem emissão de gases, o que reduz os gastos com manutenção e permite a instalação em praticamente qualquer local.
3. As baterias de lítio-íon podem ser armazenadas e operadas em uma larga faixa de temperaturas, o que simplifica enormemente as questões relacionadas com climatização das salas de baterias.
4. A maior parte das baterias de lítio-íon pode ser armazenada desligada e sem climatização por 10 a 20 anos sem perda significativa de sua capacidade nominal. Essa característica, aliada às pequenas dimensões dos elementos, simplifica enormemente as questões relacionadas com a administração de sobressalentes.
5. Quando comparado aos metais mais comumente usados em baterias, como chumbo, o níquel e o cádmio, o lítio é menos agressivo ao meio ambiente o que está de acordo com os objetivos ecológicos e sociais que a Eletrobras vem adotando.

Essa iniciativa de P&D procurou verificar as afirmativas acima de forma que a Empresa pudesse definir uma linha de ação para adoção dessa tecnologia. Para tanto foi desenvolvido um protocolo de ensaios não destrutivos que engloba as questões de funcionalidade, desempenho elétrico e, principalmente, segurança. Dentro do possível os ensaios foram baseados em norma internacional em vigor, porém foram também desenvolvidos testes específicos para uso no cenário das Telecomunicações do Setor Elétrico.

3.0 - FUNDAMENTOS TECNOLÓGICOS

Apesar de suas características inerentemente superiores em relação à densidade de energia (até 4 vezes mais que uma equivalente VRLA) [2], velocidade de recarga, operação em estado parcial de carga e vida útil, a bateria de lítio-ion é inferior no que tange à segurança na sua operação. Isso é devido à composição de seus materiais serem menos estáveis frente a processos de sobrecarga, sobredescarga, curto-circuito e temperatura muito elevada.

Essa desvantagem quanto à segurança foi atacada pelos fabricantes com o desenvolvimento de sofisticada eletrônica de controle que, ao mesmo tempo em que implementa funcionalidades que um acumulador eletroquímico de energia deve apresentar, cria novos paradigmas para Operação e Manutenção. Essa eletrônica de controle é denominada de *Battery Management System* (BMS).

O BMS impõe os parâmetros de operação das baterias de lítio-ion agregando funcionalidades de segurança e facilidade na operação e impedindo a continuidade do processo de carga quando a bateria já apresenta tensão de carga total, impedindo assim o colapso da bateria e sua posterior explosão, que seria desastrosa pois em aplicações estacionárias para Telecomunicações a tensão nominal é 48V e a bateria consegue oferecer uma quantidade muito alta de energia¹.

Ele através de dois sistemas distintos. O primário é soldado diretamente nos terminais da célula eletroquímica. Sua função é limitar as correntes de carga e recarga na célula. O secundário, é mais sofisticado e agrega, além das funções de proteção e monitoração de tensão, estado de carga (*State of Charge* - SoC) e nível mínimo de energia na célula, dentre outras grandezas.

Há também um robusto sistema de proteção contra curto-circuito acidental. Essa proteção evita que a amostra, após ser descarregada, apresente tensões de circuito aberto (*Open Circuit Voltage* - OCV) em seus terminais. A bateria vai para um estado que os fabricantes chamam de “*Sleep*” e é necessário uma fonte com tensão mínima de 56V (tensão de recarga) em seu terminais para que ela volte a operar (neste caso, apenas é possível a operação de recarga).

Ainda dentro de uma lógica de proteção ele impede abusos e não permite alterações nos seus dispositivos de segurança via operador, por exemplo, não é possível desligar os limitadores internos de corrente. O operador utiliza o BMS de forma passiva, sem possibilidade de alterações em seus parâmetros elétricos. Todos esses aspectos devem ser e foram considerados no desenvolvimento de um protocolo de ensaios.

4.0 - METODOLOGIA

Foi feita uma busca no mercado por fabricantes que pudessem fornecer amostras já no estágio pré-comercial, ou seja, com características de produto. Dentro do levantamento foram selecionados dois fabricantes que apresentavam modelos de 48V para aplicação em Telecomunicações. As capacidades das amostras são de 42Ah para o fabricante doravante denominado “A” e 100Ah para o fabricante denominado aqui como “B”.

Para o projeto foram adquiridas 4 amostras do fabricante A, todas do mesmo modelo (48V, 42Ah) e 10 amostras do fabricante B (48V, 100Ah), todas também do mesmo modelo.

A bateria do fabricante A é composta por um conjunto de treze células de 42Ah ligadas em série. A bateria do fabricante B é composta por quatro conjuntos de células ligados em série, cada um constituído por um grupo de células ligadas em paralelo de modo a atingir a capacidade nominal de 100Ah. As configurações internas e as dimensões das células bem como os materiais ativos da placa positiva destas baterias apresentam composições distintas, dificultando alguns tipos de comparações, porém permitindo a avaliação de duas abordagens bem distintas quanto a arranjos para baterias de lítio-ion.

A base para se analisar o desempenho desta tecnologia partiu de levantamento normativo internacional, com estabelecimento de procedimentos e metodologias de ensaios, bem como requisitos de segurança para operação, tanto em condições de laboratório como para condições de campo. Deste levantamento foi escolhida a Norma Telcordia GR-3150-CORE *Generic Requirements for Secondary Non-Aqueous Lithium Batteries*, publicada em junho de 2007.

Esta norma especifica requisitos para três níveis de conformidade, os quais apresentam diferenças de severidade quanto a desempenho e segurança, sendo que alguns ensaios destrutivos foram adaptados e/ou descartados, de

¹ Como parâmetro de comparação, no caso de aplicações móveis há uma única célula, que oferece valor nominal de tensão de 3,7V com tensão de recarga de 4,2V [1]. A capacidade destas baterias é da ordem de 500–1500mAh com energia na ordem de 3–4Wh. A menor das amostras estudadas nesse projeto opera em 48V e fornece 42Ah, equivalendo 2,3kWh de energia.

acordo com as reais condições ambientais e de operação que estavam previstas no escopo do projeto, especialmente quanto à operação em campo. A tabela 1 sintetiza algumas características técnicas das amostras, bem como alguns parâmetros de operação.

Tabela 1: Características Técnicas dos Modelos de Baterias de Lítio-íon.

Parâmetro	Fabricante	
	A	B
CAPACIDADE	42 Ah	100 Ah
CARGA		
- Tensão	56,00 V	56,40 V
- Corrente máxima	5,00 A	5,00 A
- Tempo máximo	21 hs	24 hs
DESCARGA		
- Corrente C4	10,50 A	24,10 A
- Corrente C8	5,25 A	12,50 A
- Corrente C24	1,75 A	4,10 A
- Corrente máxima	90,00 A (25 min)	38,00 A (2,5 hs)
- Tensão final	42,00 V	42,00 V

5.0 - PROTOCOLO DE ENSAIOS

As amostras foram submetidas a ensaios típicos de capacidade no regime de 4, 8 e 24 horas, bem como recargas que seguiam orientações dos fabricantes quanto a tensão, duração e corrente. Nos ensaios de segurança, as amostras foram submetidas a ensaios de sobrecarga, sobredescarga, inversão de polaridade e curto-circuito externo.

Como a norma adotada (GR-3150) não descrevia alguns ensaios considerados relevantes para utilização no cenário de interesse, alguns novos procedimentos tiveram de ser desenvolvidos. A tabela 2 apresenta o conjunto de ensaios estabelecido como suficiente para avaliação da tecnologia. A seguir são apresentados detalhes.

Tabela 2: Conjunto de ensaios para avaliação de Baterias de Lítio-íon.

Ensaio		Fabricante	
		A	B
1	Capacidade residual	Não realizado	10 amostras
2	Capacidade	4 amostras	10 amostras
3	Segurança	4 amostras	10 amostras
4	Tensão final de descarga	4 amostras	10 amostras
5	Tempo de recarga	2 amostras	2 amostras
6	Ciclagem	2 amostras	6 amostras
7	Autodescarga	1 amostras	1 amostras
8	Testes operacionais em campo	2 amostras	2 amostras

5.1 Capacidade residual

As amostras foram enviadas pelos fabricantes de países distintos (França para o fabricante A e EUA para o fabricante B) e permaneceram no porto do Rio de Janeiro por aproximadamente 6 meses (totalizando aproximadamente 10 meses entre envio, viagem e estocagem).

Quando recebidas as amostras sofreram uma descarga em regime de 8 horas com o objetivo de avaliar a quantidade de energia residual após o período de estocagem. Esses dados permitiram uma avaliação da integridade das condições de operação das baterias.

No caso das amostras do fabricante B, todas as amostras sofreram a descarga residual e a energia remanescente foi avaliada em função das horas de fornecimento de energia. Nas amostras do fabricante A não foi possível a

realização deste ensaio, pois estas permaneceram um tempo ainda maior em estocagem enquanto as baterias do fabricante A estavam sendo ensaiadas. Esse fato tornou-se problemático, pois segundo recomendação do fabricante, as baterias não poderiam atingir um nível mínimo de Estado de Carga (que é atingido devido à autodescarga). Quando este nível fosse atingido, uma recarga parcial deveria ser aplicada a fim de que a bateria permanecesse em um nível adequado de energia para sua estocagem. Uma vez que esse procedimento teve que ser realizado, não foi mais possível verificar a energia residual dessas amostras.

5.2 Capacidade

Os manuais forneceram os valores de capacidade das baterias, mas foi necessário solicitar dos fabricantes informações sobre as correntes de descarga para os regimes de 4h, 8h e 24h (C4, C8 e C24). As condições de carga também seguiram as recomendações dos fabricantes, sendo aplicadas em ambas amostras o limite de 5A para a corrente de recarga. A tensão de recarga especificada é 56,00V para o fabricante A e 56,40V para o fabricante B. Cabe ressaltar que para esta tecnologia não se aplica diferentes tensões de carga ou de flutuação (como nas baterias chumbo-ácidas e alcalinas), pois elas operam em uma única tensão.

As descargas foram realizadas com corrente constante, nos valores ajustados de acordo com o regime selecionado (C4, C8 e C24). Conforme especificado na norma adotada, a tensão final de descarga é de 42,00V.

Após a descarga, as amostras entram em estado de *Sleep* e o BMS corta a tensão nos terminais das baterias. Esse fato gerou um problema pois, por questão de segurança, sem uma visualização de tensão nos seus terminais, o equipamento de teste não envia o comando de carga automaticamente. O procedimento adotado foi “acordar” a bateria com uma fonte DC auxiliar ajustada em tensão de carga durante aproximadamente 6 segundos. Após a bateria “perceber” a tensão da fonte auxiliar, ela passa a apresentar nos terminais sua “Tensão de Circuito Aberto” (OCV) e fica habilitada para ser recarregada. Como já citado, este comportamento é devido à atuação do BMS e é idêntico nos dois fabricantes, tendo como objetivo evitar que a bateria seja submetida à condição de descarga profunda, além do aspecto de segurança para se evitar curto-circuito. Com este dispositivo agindo, ao final de cada descarga foi necessário operar manualmente a fonte DC para permitir a medição de tensão de circuito aberto e o reinício do processo de carga.

5.3 Segurança

Alguns ensaios de segurança definidos na norma adotada não foram realizados por terem sido considerados excessivos para o propósito da pesquisa. Como exemplo dos procedimentos que foram descartados há um ensaio de incêndio no qual a bateria deve ser colocada sobre um recipiente com dois litros de metanol e colocado em ignição. Outro ensaio prevê que a amostra sofra queda livre de uma altura de 9 metros. Os procedimentos adotados são descritos abaixo e se considerou que são suficientes para uma boa avaliação da segurança das baterias.

Os ensaios de segurança contemplam sobrecarga, sobredescarga, inversão de polaridade e curto circuito externo. Para realização desse ensaios foi montado um *setup* diferenciado, composto por um sistema de aquisição de dados, contador de ciclos, chave contatora (para o ensaio de inversão de polaridade), carga resistiva ajustável, carga dinâmica programável, *shunt*, fonte DC e chave tipo faca (para o ensaio de curto-circuito). O sistema de aquisição de dados monitora e armazena os valores de tensão, corrente e temperatura medidas no decorrer do ensaio e, caso a temperatura da bateria ultrapasse 50°C, o processo de carga ou descarga é interrompido, protegendo a amostra.

Para os ensaios de segurança as amostras foram submetidas à carga complementar de 24hs a fim de garantir o estado de plena carga. Este procedimento foi necessário pois, após um certo período armazenadas, algumas amostras já apresentavam “Estado de Carga” (SoC) menor que 95% (devido ao efeito de autodescarga) e, conforme a norma adotada, antes de iniciar o ensaio de sobredescarga as amostras devem apresentar SoC maior que 95%.

No Ensaio de Sobredescarga a bateria deve permanecer durante 24 horas conectada a uma carga resistiva projetada para que a corrente inicial de descarga seja igual ao valor da corrente em regime C4. Este ensaio avalia a atuação da proteção do BMS quando a bateria, fornecendo corrente, atinge sua tensão final de descarga, promovendo a interrupção do fornecimento de energia e protegendo a bateria da ocorrência de descarga profunda, o que provoca danos eletroquímicos irreversíveis. Após esta descarga a bateria deve ser recarregada e, a seguir, submetida a descarga no regime de corrente máxima.

Após a sobredescarga a bateria é recarregada até a condição de plena carga e, a seguir, realiza-se novo ensaio de capacidade em regime de C4 para verificar se ocorreu alguma alteração nas funcionalidades da bateria. Segundo a norma adotada, os ensaios de segurança sempre devem ser intercalados com um ensaio de capacidade no regime C4. Foi realizado o ensaio de descarga em regime de C4 em apenas uma amostra de cada fabricante. Nas demais amostras a descarga foi realizada utilizando o valor de corrente máxima de descarga.

Os ensaios de sobrecarga, curto-circuito e inversão de polaridade foram realizados em fábrica, porém serão refeitos oportunamente em laboratório e em campo. Deve-se ressaltar que não existem testes equivalentes a esses para baterias VRLA e que eles visam conferir a atuação do BMS frente a essas condições extremas. Na sobrecarga uma fonte DC aplica uma tensão de 70V entre os pólos, valor esse muito superior aos encontrados nos retificadores, demonstrando a enorme exigência de segurança atualmente em vigor para as baterias de lítio-ion para aplicação estacionária em 48V.

5.4 Tensão final de descarga

As amostras devem atender pela norma adotada um valor de tensão final de descarga que atenda principalmente a infraestrutura de telecomunicações já estabelecida. Por outro lado, o BMS não permite que nenhuma célula entre em nível crítico de tensão baixa para atendimento da tensão total de 42V (valor de corte para equipamentos de telecomunicações). O valor de baixa tensão crítico (ou abaixo dele) danifica permanentemente a célula eletroquímica de lítio-íon comprometendo o desempenho de capacidade do conjunto como um todo e podendo em alguns casos desencadear eventos destrutivos em toda a bateria.

O ensaio objetiva portanto a verificação da ocorrência desta situação e o atendimento a uma solução de compromisso entre operar adequadamente com a infraestrutura de Telecom e a proteção contra danos tanto na célula individual quanto no conjunto.

No final de cada descarga dos ensaios de capacidade a tensão final de descarga foi registrada com o objetivo de investigar a lógica de funcionamento do BMS. Em muitos casos a tensão final não alcançou 42V pois o BMS atuou protegendo uma célula individual evitando que essa atingisse o nível crítico de baixa tensão, o que causaria dano irreversível à essa célula, comprometendo todo o conjunto.

5.5 Tempo de recarga

Esse ensaio verifica qual a corrente máxima de carga que a bateria suporta, como o BMS atua frente a correntes abusivas e quais os efeitos na bateria após a absorção de valores elevados de corrente.

Esse procedimento se faz necessário pois nos sistemas atuais de DC para Telecom, o retificador pode disponibilizar elevadas correntes para recarga do sistema de armazenamento de energia. O comportamento de segurança das baterias de lítio-ion deve então estar preparado para proteção das células de lítio-ion e desta forma evitar danos permanentes a estas bem como evitar acidentes com o colapso de todo o sistema de armazenamento.

Por questões de segurança, ambos os fabricantes estudados recomendam recarga com corrente de 5A, o que implica em grande demora no retorno às condições nominais. Apesar dessa recomendação, oportunamente serão realizados testes com correntes maiores uma vez que esse tópico é de grande importância pois em aplicações críticas como as do Setor Elétrico, é desejável que as baterias retornem ao estado nominal o mais rapidamente possível.

5.6 Ciclagem

Esse ensaio irá verificar o desgaste da bateria. As amostras serão carregadas e descarregadas automaticamente um número de vezes ainda a ser determinado. A tensão de final de descarga deverá ser superior ao limite mínimo de forma a evitar que o BMS desative a amostra por questões de segurança. Essa estratégia evitará interferência manual para reativação da amostra. Como esse ensaio é muito longo e envolve possibilidade de desgaste, será realizado por último.

5.7 Autodescarga

Os efeitos de autodescarga podem levar as baterias a um nível crítico de baixa tensão das células. A ocorrência deste nível crítico provoca efeitos permanentes na bateria e reduz sua confiabilidade quando colocada em uso.

A avaliação deste parâmetro permite a definição de um protocolo de manutenção para recargas periódicas quando a bateria encontra-se em estocagem. Os resultados desse ensaio formatarão uma rotina de verificação que permitirá o aumento da vida útil das baterias. Essa rotina consistirá de uma recarga periódica visando o não atingimento do nível mínimo de tensão.

5.8 Testes operacionais em campo

Além dos ensaios adotados da norma GR-3150, foram definidos testes específicos para verificação de adequação à realidade do cenário de interesse, i.e., operação em ambiente de Telecomunicações do Setor Elétrico. Esses ensaios estão previstos para serem realizados após validação da tecnologia quanto ao seu funcionamento elétrico e aspectos de segurança. Esses ensaios procurarão avaliar:

- a possibilidade de recarga com altas correntes em situações não controladas.
- a operacionalidade das baterias trabalhando em paralelo com baterias VRLA.
- a corrente máxima de descarga permitida.
- a possibilidade de determinação da capacidade das baterias através da medição de tensão em circuito aberto.

6.0 - RESULTADOS

As recargas aplicadas na bateria de lítio-íon são feitas com tensão e corrente limitadas. No fabricante B, a tensão observada nos terminais da bateria aumenta gradativamente devido a limitação da corrente da fonte DC, e atinge o valor limite em cerca de 20 horas. Nesse período a corrente permanece constante no valor de limitação, e a partir deste ponto diminui gradativamente.

O fabricante A apresenta um comportamento um pouco diferente, a tensão nos terminais da bateria atinge rapidamente o valor limite, no entanto a corrente não permanece constante, inicia com a bateria demandando um valor próximo do limite e gradativamente diminui durante cerca de 16 horas de carga, quando a corrente aumenta novamente para um valor próximo do máximo e gradativamente diminui pela metade durante as próximas 3 horas, quando a própria bateria finaliza o processo de carga. Observou-se que o equipamento de teste mensura tensão/corrente nos terminais da bateria, enquanto o BMS mensura o comportamento das células eletroquímicas, evidenciando que a programação do processo de carga desta bateria é internamente controlada pelo BMS.

Nas curvas de descarga observa-se que a diminuição da tensão é muito lenta, apresentando um queda abrupta somente quando é atingido o esgotamento energético da bateria, levando ao seu desligamento pelo BMS. Ou seja, estas baterias apresentam um patamar de tensão com pouca variação durante a descarga, possibilitando o fornecimento de uma quantidade de potência praticamente constante em todo o seu tempo de autonomia. Esta é outra característica diferencial da tecnologia de lítio-íon em relação às baterias alcalina e chumbo-ácida.

Nota-se também que no regime de 4 horas (C4) as duas amostras apresentaram capacidade ligeiramente superior a 100% do valor nominal. Já no regime de 8 horas (C8) as baterias apresentaram capacidade de 87,5% (fabricante A) e 95% (fabricante B), inferior a 100% do valor neste regime de descarga. Provavelmente a capacidade neste regime de descarga deverá ser melhor definida por parte dos fabricantes, uma vez que esta tecnologia está em fase de desenvolvimento.

As amostras do fabricante B finalizaram a descarga antes de atingir a tensão final de 42V, pois provavelmente uma ou mais células que compõem o conjunto para formar esta bateria atingiu a tensão limite individual de final de descarga de 2,5V. Nesta situação, apesar da bateria não ter atingido a tensão final de 42V, o BMS, para proteção da célula, atuou e interrompeu a descarga.

Por meio da integração e balanço da quantidade de energia fornecida/removida (Ah) durante as cargas e descargas, observou-se que a eficiência de recarga da bateria de lítio-íon é em torno de 90 a 98%, diferentemente das baterias chumbo-ácida e alcalina, que é em torno de 70 a 80%.

A norma adotada mostrou-se muito exigente quanto à segurança, mas apesar disso os ensaios realizados em fábrica confirmaram a robustez dessas baterias. Para efeito de aprendizado e ganho de confiança na tecnologia, esses testes serão oportunamente refeitos no Brasil, tanto em laboratório quanto em campo.

Os testes de sobrecarga confirmaram os dados de capacidade fornecidos pelos fabricantes porém, além dos testes laboratoriais já realizados, serão feitos testes operacionais em campo para verificação da capacidade máxima de fornecimento de corrente, informação que pode influenciar no dimensionamento dos futuros sistemas.

7.0 - CONCLUSÕES

A bateria de lítio-íon para aplicação estacionária necessita de complexo sistema eletrônico para cumprir suas funções com o mínimo de risco de explosões e danos permanentes, o que impactaria sua capacidade e vida útil. A presença desse sistema interfere na elaboração e execução de procedimentos de testes de forma que, para realizá-los, deve-se conhecer profundamente o funcionamento da bateria.

Apesar de toda a eletrônica embarcada, tais dispositivos continuam sendo considerados baterias, no sentido de que devem fornecer energia em situações de falha do suprimento principal. Dessa forma todos os testes convencionais devem ser aplicados, só que levando em consideração as possíveis interferências causadas pelos sistemas intrínsecos de supervisão (BMS). Sem a perfeita compreensão desse cenário, não se consegue realizar ensaios que gerem resultados conclusivos.

Apesar das baterias apresentarem especificidades quanto à sua operação e desempenho, as questões que envolvem proteção apresentam lógicas semelhantes. Algumas dificuldades encontradas indicam que a tecnologia ainda necessita de maturação, porém os resultados preliminares mostraram que há potencialidade na aplicação estacionária e que o fator crucial para sua adoção efetiva é a confiança no BMS.

Caso seja adotada como alternativa à bateria VRLA, a bateria de lítio-ion alterará significativamente os procedimentos de Manutenção e Operação fazendo com que as Empresas revejam muitos conceitos. Pelo que foi estudado, essas baterias deverão ser tratadas como equipamentos eletroeletrônicos e não como dispositivos eletroquímicos. Essa mudança trará alterações nos planos de manutenção e necessitará de capacitação especializada porém os benefícios, especialmente quanto à confiabilidade e durabilidade, parecem justificar plenamente esse caminho.

Os testes de sobredescarga confirmam a grande capacidade dessas baterias, porém para recarregá-las seguindo as recomendações dos fabricantes gasta-se um tempo considerado inadequado uma vez que a corrente não deve ultrapassar 5A. Apesar de considerar positiva a grande preocupação com a segurança por parte dos fabricantes nessa questão, futuramente serão feitos ensaios para verificar qual a corrente máxima para a realização de carga segura. Caso não seja possível recarregar essas baterias em tempos menores, o dimensionamento dos projetos deverá levar em consideração esse aspecto.

O próximo passo da pesquisa é a validação operacional da tecnologia. Para tanto serão implantados dois *sites* de teste na Eletrobras Furnas, no Rio de Janeiro onde serão realizados os ensaios descritos no item 5.8.

Por fim, outro resultado da pesquisa que merece ser citado é o início dos trabalhos normativos sobre o assunto na Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Espera-se com isso, promover debates na Sociedade, criando demanda e estimulando melhorias por parte dos fabricantes, com consequente redução de preços criando um ciclo sustentável para consolidação do uso dessa tecnologia no Brasil.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Horiba T., Maeshima T., Matsumura T., Koseki M., Arai J. e Murakana Y., "Applications of high power density lithium ion batteries", *Journal of Power Sources*, V.146, 107-110, (2005).
- [2] Broussely M., "Industrial applications of batteries. From cars to aerospace and Energy Storage – Chapter 4: Traction batteries. EV and HEV." Broussely M. e Pistoia G. Eds. Elsevier B.V, 2007, pág. 207.