



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GPT/28

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

**GRUPO -2
GRUPO DE ESTUDO GRUPO DE ESTUDO DE PRODUÇÃO TÉRMICA E FONTES NÃO CONVENCIONAIS -
GPT**

**Comportamento e “causa mortis” de baterias chumbo ácido: sistemas fotovoltaicos isolados x ensaio
normatizado específico**

**Juliano de Andrade(*)
Institutos Lactec**

**Patricio Rodolfo Impinnisi
Institutos Lactec**

**Luiz Cláudio Skrobot Junior
Hexion do Brasil**

RESUMO

Bancos de baterias de sistemas fotovoltaicos isolados foram monitorados durante vários meses. Após fim da operação, quatro baterias foram desmontadas e seus componentes analisados. Outras baterias idênticas foram cicladas em laboratório segundo portaria INMETRO 004/2011, posteriormente desmontadas e analisadas. Sobre as baterias em campo verificou-se balanço de carga negativo e também desbalanceamento na tensão dos monoblocos. Nas baterias de campo verificou-se: sulfatação intensa das placas positivas; sulfatação moderada nas negativas, além de perda de material ativo. No ensaio laboratorial houve grande consumo de água, perda de material em ambas as placas e corrosão severa das grades positivas.

PALAVRAS-CHAVE

Sistemas fotovoltaicos, baterias chumbo ácido, operação isolada, ensaio normatizado, mecanismos de degradação

1.0 - INTRODUÇÃO

A geração de energia por fontes alternativas vem recebendo crescente atenção no cenário nacional. O uso de acumuladores de energia flexibiliza a utilização deste tipo de geração devido ao seu caráter intermitente. Isso é praticamente imprescindível para sistemas isolados. A disseminação deste tipo de uso combinando geração e acúmulo depende de uma diminuição nos custos de implantação e operação dos mesmos. (1)

A operação e manutenção e seus respectivos custos são questões ainda mais importantes para o caso de sistemas fotovoltaicos isolados, onde a logística de deslocamento de equipes e substituição de componentes é ainda mais difícil. Isso evidencia a importância de uma base de dados sobre o comportamento dos distintos componentes do sistema, especialmente das baterias, para otimização da sua operação.

O objetivo do presente trabalho foi o de monitorar o comportamento de baterias chumbo ácido livres de manutenção em operação em sistemas fotovoltaicos isolados, avaliar a sua evolução ao longo de vários meses de operação, correlacionar o comportamento verificado em campo com os mecanismos de degradação atuante nos componentes internos das baterias. Outro objetivo também deste trabalho foi confrontar o comportamento das baterias verificado em campo com o de laboratório, segundo norma específica para testes de baterias de sistemas fotovoltaicos. Isso pois, além do bom gerenciamento, a escolha dos componentes de um sistema é imprescindível para o seu desempenho e, por conseguinte, para a expansão sustentável do seu uso. E isso depende de métodos adequados para avaliação e comparação de componentes.

Neste cenário, foram escolhidos dois sistemas isolados de geração fotovoltaica com baterias, dentre diversos que a Copel DIS utiliza para atender determinados consumidores da região do litoral paranaense, para monitorar o seu comportamento durante a operação convencional. Um deles alimenta escola na ilha da Cotinga, e o segundo alimenta uma residência, na Comunidade Boa Vista. O monitoramento iniciou-se em setembro de 2015. As baterias haviam sido instaladas no início de 2015.

(*) Rodovia BR 116, n° 8311 – Centro Politécnico da UFPR - Prédio do Lac – CEP 81.530-180 Curitiba, PR, – Brasil
Tel: (+55 41) 3361-6184 – Fax: (+55 41) 3361-6137 – Email: juliano.andrade@lactec.org.br

Os sistemas foram dimensionados (quantidade de painéis, baterias, considerando a eficiência global dos componentes) de tal maneira que a carga diária correspondesse a 10% da capacidade do banco, com profundidade de descarga máxima de 30% (considerando casos esporádicos de até 3 dias sem recarga). E cada unidade de geração era composta monoblocos de 12 V conectados em série, totalizando 48 V nominais. Os controladores de carga dispunham de correção dos limites de tensão de carga e flutuação com a temperatura ambiente e proteção contra sobredescarga, desconectando a carga caso a tensão do banco caísse abaixo de 42 V.

Com base numa avaliação semiquantitativa feita pelos usuários, constatou-se que as baterias do sistema da Cotinga atingiram o fim da sua vida útil e, em outubro de 2016, foram retiradas de operação, levadas ao laboratório, desmontadas e seus componentes internos foram avaliados para determinar os mecanismos de degradação presentes, na intenção de balizar futuras estratégias de controle. As baterias do sistema da comunidade Boa Vista ainda estavam em relativas boas condições no momento da escritura deste trabalho.

A fim de se caracterizar as baterias também em ambiente controlado, monoblocos idênticos aos utilizados em campo foram testados em laboratório segundo ensaio de ciclagem descrito na portaria 004/2011 do INMETRO. Ao fim dos ensaios as baterias também foram desmontadas e submetidas às mesmas análises que as baterias do sistema da Cotinga, para comparar os mecanismos de degradação.

Os resultados obtidos permitiram fazer considerações para melhoria do método de gerenciamento das baterias em sistemas fotovoltaicos, além de sugerir alterações também nos ensaios laboratoriais de caracterização e comparação de baterias para este tipo de sistema.

2.0 - PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Serão apresentados inicialmente os detalhes relativos ao experimento de monitoramento das baterias nos sistemas isolados e, no sub item seguinte, os detalhes do ensaio laboratorial normatizado da portaria do INMETRO.

2.1 Monitoramento dos sistemas fotovoltaicos em campo

As variáveis monitoradas durante a execução deste trabalho foram, tensão individual das baterias, corrente nas baterias, corrente gerada pelos painéis (ambas através de shunts 100 A/100 mV aferidos), temperatura em uma das baterias e temperatura ambiente (através de termopares), registradas a cada minuto. Os equipamentos de medição e comunicação eram alimentados por um sistema de geração e baterias independente, para não alterar a carga original dos sistemas monitorados.

Os equipamentos de medição utilizados em ambos os sistemas foram registradores de grandezas MW100 da Yokogawa que, cada um conectado a um modem com transmissão de dados por telefonia móvel, o que permitiu a maior parte do monitoramento e transferência de registros ser feito de maneira remota.

2.2 Ensaio laboratorial de ciclagem em regime fotovoltaico

A portaria 004/2011 do INMETRO apresenta ensaios de avaliação de conformidade para os diversos componentes de um sistema fotovoltaico, dentre eles as baterias. E para caracterização das baterias são sugeridos diversos ensaios: capacidade, durabilidade, retenção de carga, regeneração da capacidade e eficiência de carga. Como o principal objetivo do presente trabalho é avaliar o comportamento em campo, apenas o ensaio de durabilidade, descrito na portaria, foi realizado.

Este procedimento se baseia na realização de ciclos de carga e descarga em dois diferentes estados de carga, como ilustrado na Figura 1.

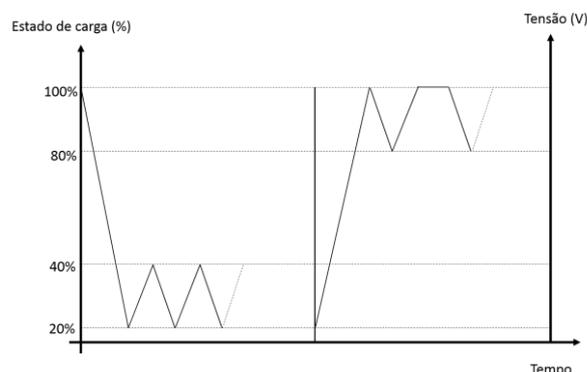


Figura 1 – Representação ilustrativa do ensaio de durabilidade da portaria 004/2011 do INMETRO.

Inicialmente a bateria sofre ciclos parciais de carga e descarga em baixo estado de carga (20%), e então em seguida um alto estado de carga (80%). O objetivo é reproduzir o regime típico de ciclos sazonais de recargas desfavoráveis e favoráveis. Os valores dos parâmetros e as durações de cada carga e descarga que compõem a ciclagem serão apresentados em detalhes na Tabela 1.

Tabela 1 – Parâmetros do ensaio de durabilidade para baterias segundo portaria 004/2011 do INMETRO

	Operação	Estado de carga	Tensão	Duração	Corrente	Limite
	Carga	100%	14,4 V		I_{10}	
	Pausa			16 h		
A	Desc.	63%	9 V	7,5 h	I_{10}	50x
	Carga			3 h	$1,03 \times I_{10}$	
	Desc.			3 h	I_{10}	
	Carga	100%	14,4 V		I_{10}	
B	Desc.	73%	10,5 V	2 h	$1,25 \times I_{10}$	100x
	Carga	100%	14,4 V	6 h	I_{10}	
	Carga	100%	14,4 V	24 h		
	Pausa			4 h		
C ₁₀	Desc.		10,5 V		I_{10}	

3.0 - RESULTADOS

Da mesma forma que no item Procedimento Experimental, os resultados serão apresentados de forma separada, um primeiro sub item com os resultados do monitoramento de campo e um segundo com os dos ensaios em laboratório. Por fim serão feitas comparações e análises globais.

3.1 Monitoramento dos sistemas fotovoltaicos em campo

A Figura 2 mostra o saldo de carga, ou seja, a diferença de carga que entra e sai das baterias, nos diferentes períodos, para ambos os sistemas.

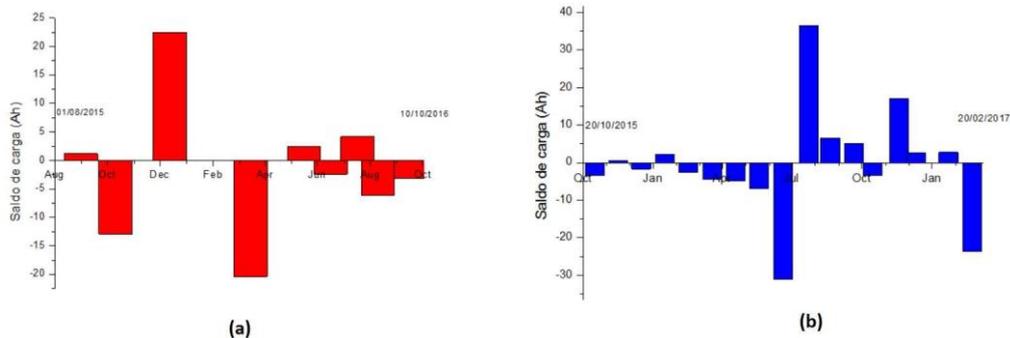


Figura 2 – Saldo de carga no banco de baterias instalado na Cotonga (a) e Boa Vista (b).

A diferença na quantidade de dados se deu pelos seguidos problemas ocorridos na ilha da Cotonga. Verifica-se uma alternância entre períodos com saldo positivo e com saldo negativo, sem padrão aparente. No sistema da Boa Vista, houve uma sequência de 6 meses de “saldo negativo”, coincidindo com o período de outono e inverno de 2016, mas, no mesmo período, o sistema da Cotonga oscilou com meses positivos e outros negativos. Em ambos os casos, o saldo global de carga foi ligeiramente negativo, -15 Ah e -10 Ah, para os sistemas da Cotonga e Boa Vista, respectivamente. Considerando que a capacidade dos bancos era de $C_{20} = 220$ Ah, tem-se um saldo global abaixo dos 10% de profundidade de descarga, considerado no dimensionamento.

Na Figura 3 é possível verificar como varia o estado de carga (SoC – *State of Charge*) ao longo dos respectivos períodos de registro, de ambos os sistemas.

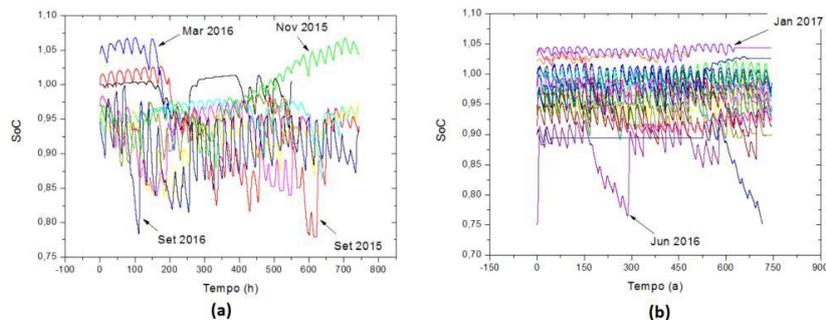


Figura 3 – Variação do estado de carga dos bancos de baterias na Cotonga (a) e Boa Vista (b).

O SoC foi calculado integrando a corrente que circula pelos bancos ao longo do tempo, positiva na carga e negativa na descarga, lembrando que foram o registro dos valores de corrente forma feitos a cada minuto. Esta forma de calcular o SoC considera implicitamente uma eficiência de 100% na recarga (não é possível quantificar as reações paralelas). Foi utilizada como referência de SoC 100% a capacidade nominal de 220 Ah.

É possível verificar as oscilações diárias devido aos ciclos normais de carga e descarga. A faixa de SoC média foi um pouco maior no caso comercial (Cotinga) do que no residencial (Boa Vista), entre 97% e 82% no primeiro caso e entre 90% e 100% no segundo. Com poucas ocasiões de descarga mais profunda, até aproximadamente 75%, nos meses de setembro de 2015 e 2016 na Cotinga e maio e junho de 2016 na Boa Vista. Aparentemente operando dentro do dimensionamento previsto originalmente (10% de profundidade de descarga, com eventos pontuais de 30%), com uma diferença considerável entre os dois casos: no sistema da Boa Vista, foi verificada situação próxima à plena carga em janeiro de 2017, enquanto que na Cotinga, a última ocasião de aproximadamente 100% de SoC foi em novembro de 2015. Observou-se ainda para o sistema da Cotinga uma queda uma queda praticamente linear no SoC médio (por período), desde 99% até 90%, durante todo o monitoramento, com média global de 95%, sendo que no sistema da Boa Vista, observou-se um comportamento oscilatório na média do SoC por período, com máximos em dezembro de 2015 e fevereiro de 2017 e mínimo em julho de 2016, com valor médio global de 98%.

Sobre o comportamento específico de cada bateria nos bancos, é possível inferir analisando a variação da tensão ao longo dos períodos de monitoramento. A Figura 4 mostra a tensão de cada uma das baterias do banco da Cotinga durante um período típico de monitoramento, em dois momentos distintos: (a) no início do monitoramento e (b) após 12 meses da primeira medição.

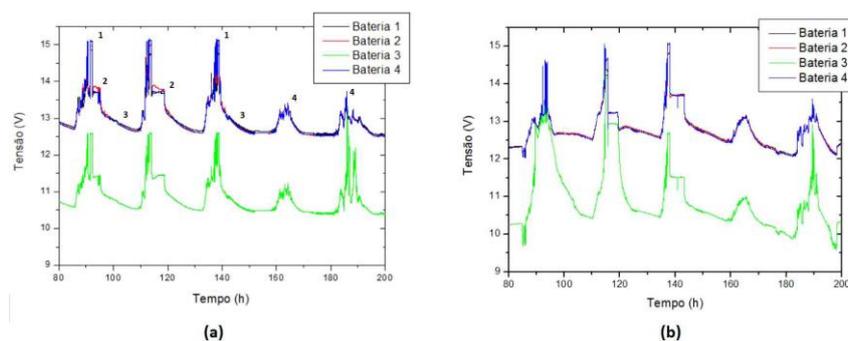


Figura 4 – Tensão de cada monobloco do banco do sistema da Cotinga ao longo de 5 dias de monitoramento em agosto de 2015 (a) e agosto de 2016 (b).

Verifica-se a oscilação diária da tensão das baterias, chegando a um valor máximo em alguns dias (exemplificados pelos picos indicados pelo número “1” na Figura 4a), seguido por um período de flutuação (região com número 2, Figura 4a) e, à tarde/noite, a queda da tensão das baterias (região 3) evidencia a descarga. Há dias em que a geração não é suficiente para levar o controlador de carga ao máximo de tensão (região 4, na Figura 4a). Os números que indicam as regiões descritas foram colocados em apenas alguns pontos, mas o padrão diário é praticamente o mesmo e de identificação direta. No padrão mostrado nos gráficos da Figura 4, o que mais chama a atenção é a grande diferença no valor da tensão da Bateria 3, que oscila num mesmo padrão diário que as demais, porém, com valores muito baixos. Ao final do período de monitoramento, no gráfico da Figura 4b, frequentemente são encontrados valores abaixo de 10,5 V, que, normalmente, é o limite inferior para descarga de uma bateria (para descargas muito lentas, o valor deste limite pode ser maior).

O controlador de carga tem limites de máximo e mínimo para tensão das baterias, mas é um valor global para o banco. No sistema em questão as baterias estão ligadas em série, logo o controlador de carga não distingue isoladamente as baterias. Desta forma, todas as baterias do banco da Cotinga operaram fora das condições ideais. A Bateria 3, operou em estado parcial de carga, e as baterias 1, 2 e 4 foram frequentemente submetidas a tensões acima do limite superior. Esta desigualização não é incomum e se deve a diferenças nas resistências internas das baterias. Mesmo dentre as 3 baterias mais similares, 1, 2 e 4, há diferenças, visíveis nos momentos de flutuação (região 2, Figura 4a). E comparando o comportamento da bateria 3 nos dois gráficos da Figura 4, nota-se o seu envelhecimento severo, refletido em uma maior amplitude na variação do potencial (potenciais de carga em valores mais altos e, descargas, mais baixos), e também o próprio padrão diário já distorcido.

Uma análise similar é feita para o banco no sistema da Boa Vista, com base na Figura 5, também de tensão ao longo do tempo para as baterias isoladas, em dois momentos distintos.

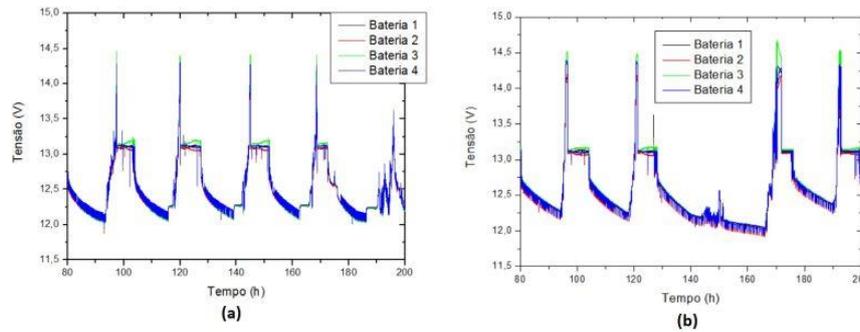


Figura 5 - Tensão de cada monobloco do banco do sistema da Boa Vista ao longo de 5 dias de monitoramento em setembro de 2015 (a) e setembro de 2016 (b).

O comportamento das curvas de tensão dos gráficos da Figura 5 sugerem que os monoblocos do banco da Boa Vista estão em relativo bom estado, repetindo o mesmo padrão ao longo de um ano de monitoramento. Inclusive as diferenças entre as baterias, notória pela desigualização nos períodos de flutuação, parece manter-se a mesma. Quando as baterias são levadas a estados de carga mais baixo, no entanto, as diferenças ficam mais evidentes e isso se justifica analisando em detalhe a Figura 5b. Verifica-se que o terceiro dia do gráfico praticamente não houve geração, e, no dia seguinte, o processo de recarga mostra que as baterias tem alguma diferença, com a bateria 3 apresentando uma menor resistência interna.

Outro aspecto relacionado a sistemas fotovoltaicos isolados que sempre é (corretamente) elencado como muito importante, é a temperatura ambiente. Sobre isso, a Figura 6 mostra a variação da temperatura ambiente e de uma das baterias de cada banco para o sistema da Cotinga (a) e da Boa Vista (b), em mês de verão.

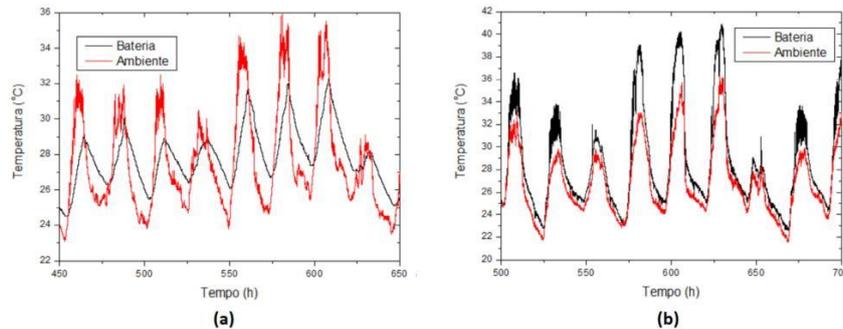


Figura 6 – Variação da temperatura de uma das bateias dos bancos e também do ambiente (medido no interior do abrigo das baterias) para o sistema da Cotinga (a) e Boa Vista (b) ao longo do período mais quente do mês de dezembro de 2015.

Apesar de ambos os sistemas estarem relativamente próximos (região litorânea do Paraná, cerca de 30 Km uma da outra), as suas temperaturas ambiente eram diferentes. Na maioria das vezes o sistema da Boa Vista apresentou valores maiores, mas houve vários casos onde este padrão se inverteu. No caso da Boa Vista, verifica-se que o ambiente exerce uma influência mais importante na temperatura da bateria, ao passo que na Cotinga isso não é verdade. Características construtivas dos abrigos, além do perfil de consumo são as causas prováveis desta diferença. A temperatura das baterias em ambos os casos oscilou entre 17 °C e 40 °C ao longo do monitoramento. O impacto da operação nos componentes internos das baterias do sistema da Cotinga foi analisado e os principais resultados serão apresentados a seguir.

A Figura 7 mostra o aspecto geral das placas encontradas nas baterias 1, 2, e 4 do banco da Cotinga.



Figura 7 – Aspecto geral das placas positivas e negativas encontradas nas baterias 1, 2 e 4 da Cotinga.

Nota-se que as placas positivas estão cobertas por uma camada branca típica de cristais de sulfato de chumbo, evidenciando uma sulfatação nestas placas. O material ativo que permanecia descarregado durante os períodos em estado parcial de carga, foi continuamente se transformando em sulfato de chumbo inativo. Apesar das análises dos dados de saldo de carga e estado de carga indicarem que não houve casos graves de privação de carga, este efeito cumulativo foi significativo ao longo da operação destas baterias (cerca de 2 anos ao total, incluindo período não monitorado), como mostra a imagem da placa positiva na Figura 7. As placas negativas, por sua vez apresentaram degradação considerável do material ativo, especificamente na porção inferior da placa. A causa provável é a estratificação do ácido sulfúrico, que induziu uma maior participação desta região no processo de carga e descarga. Neste processo normal, a diferença de volume entre material ativo carregado (reagente) e descarregado (produto) leva um processo de desagregação. Além disso, evolução de hidrogênio é facilitada em soluções de ácido mais concentradas, ou seja, na parte inferior (lembrando que estas baterias foram frequentemente submetidas a recargas em valores de tensão demasiadamente elevados, pelo desbalanceamento explicado na Figura 4, que causa a evolução do H_2). A evolução de gás, normalmente provoca uma homogeneização na concentração do ácido. Por este motivo, a hipótese da maior participação no processo normal de carga e descarga é o mais provável. Análises da microestrutura da matéria ativo confirma a presença de cristais de $PbSO_4$ na superfície da placa positiva e também na interface material ativo negativo/grade negativa, como mostram as imagens da Figura 8.

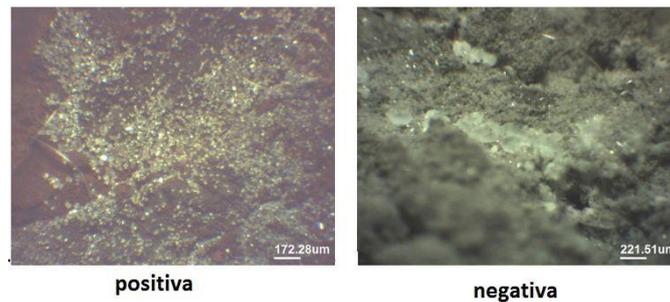


Figura 8 – Imagem de microscopia ótica do material ativo das placas positiva e negativa, mostradas na Figura 7.

Já na bateria 3 da Cotinga, que apresentou comportamento anômalo durante todo o período monitorado, a *causa mortis* foi distinta. As imagens da Figura 6 mostram uma placa negativa e também um fragmento do material ativo retirado desta placa.

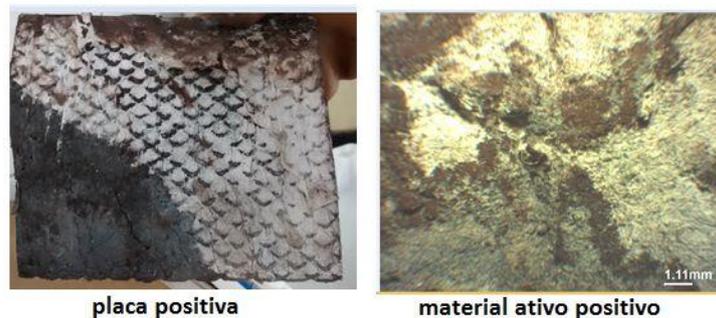


Figura 9 – Imagem de uma placa positiva retirada da bateria 3 (Cotinga) e imagem de microscopia do seu material ativo.

Verifica-se que a placa positiva também está coberta pelo filme branco característico da sulfatação severa, e, além disso, a sua porção inferior esquerda tem um aspecto totalmente distinto, de cor acinzentada. Esta região havia perdido o contato mecânico com o resto da placa, sendo que, inclusive a grade de chumbo tinha sido completamente comprometida nesta região. O material ativo positivo é PbO_2 , que possui cor marrom escura, enquanto que o material ativo negativo, chumbo metálico poroso, é cinza opaco. A imagem de microscopia ótica mostra que o material ativo nesta região havia se transformado parcialmente em chumbo metálico, ou seja, esta bateria foi descarregada tão profundamente que a sua polarização acabou se invertendo, formando chumbo metálico na placa positiva (as outras baterias do banco compensaram por essa inversão, até certo ponto, mascarando seu efeito e impedindo a atuação do sistema de proteção do controlador de carga). As placas negativas nesta bateria apresentavam aspecto muito bom, se comparadas com as outras (Figura 7). Esta bateria ficou submetida à uma polarização muito inferior às outras (inferior inclusive ao recomendado pelo fabricante) durante a sua operação, então especula-se que a ausência quase que completa de sobrecarga tenha salvaguardado as placas negativas.

3.2 Dos mecanismos de degradação atuantes durante ensaio de durabilidade segundo portaria 004 INMETRO

Duas baterias foram submetidas ao processo de ciclagem descrito no item 2.2 sendo que o critério de término era um valor de capacidade inferior a 80% daquele medido inicialmente. Esta medição de capacidade estava incluída no

processo de ciclagem, como mostrado na última linha da Tabela 1. Ambas tiveram comportamento praticamente idêntico e, ao final da ciclagem, uma delas foi desmontada e seus componentes analisados da mesma maneira que o realizado para as baterias da Cotinga.

A Figura 10 mostra as imagens de uma placa positiva e uma negativa típica destas baterias.

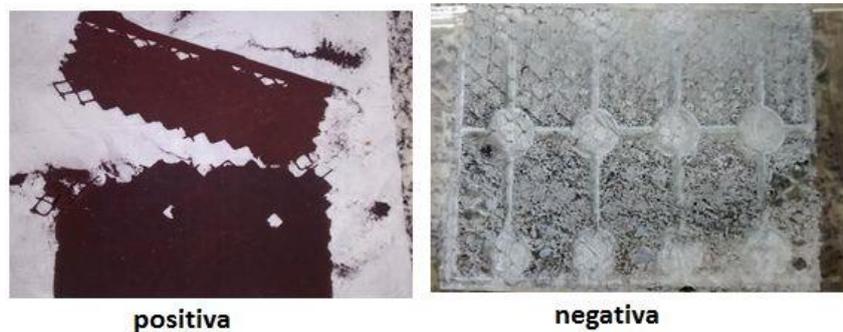


Figura 10 – Placas positiva e negativa de baterias de mesma marca e modelo que as utilizadas na Cotinga, após ensaio de ciclagem segundo portaria 004/2011 do INMETRO.

Nota-se que não há formação de sulfatos inativos tão marcadamente quanto nos exemplares de campo. Esta sulfatação é resultado de recargas insuficientes, a Figura 10, no entanto, mostra que a placa positiva sofreu de corrosão nas grades, o que ocorre em situações de sobrecarga com tensão muito elevada e/ou temperaturas altas. O ensaio de ciclagem em questão foi realizado em temperatura ambiente controlada em 25 °C. Já a placa negativa apresentou degradação severa por desagregação do material ativo. Não é de se esperar que tenha havido estratificação do ácido nas condições do ensaio, pois foi verificada diminuição significativa do nível do eletrólito pela evolução de gases (o que promove a homogeneização da sua concentração). Além disso este ensaio teve uma duração bem inferior ao tempo de operação das baterias, onde se considera que houve estratificação (a ciclagem toda durou aproximadamente 4 meses e sendo que as baterias em campo passaram cerca de 24 meses em operação).

4.0 - CONCLUSÃO

Foram apresentados os resultados do monitoramento, por cerca de doze meses, de bancos de baterias instalados em sistemas isolados do litoral parananaense em operação (tempo total de operação, cerca de dois anos). Foi demonstrado que as baterias operaram dentro dos limites de dimensionamento, com estado de carga oscilando em torno dos 95%. Analisando apenas o balanço de carga, foram registrados poucos períodos de sobrecarga (e até mesmo de carga plena). Os bancos eram compostos por 4 baterias de 12 V conectadas em série, mas foi possível realizar a medição e registro dos valores individuais de tensão, o que demonstrou um caso grave de desigualização em um dos sistemas. Uma das baterias apresentou um valor muito mais baixo de tensão ao longo de toda a operação (bateria 3, da Cotinga), o que fez com que os outros monoblocos do banco ficassem submetidos à sobrecarga por sobretensão. A bateria “ruim” frequentemente atingiu valores de tensão abaixo dos 10,5 V, enquanto que as outras do banco experimentaram sobrecarga acima de 15 V em alguns períodos. Considerando que a temperatura média das baterias oscilou entre 17 °C e 40 °C, esse valor de tensão de carga é muito elevado. As baterias do sistema da Boa Vista, no entanto, apresentaram uma desigualização leve, que não implicou em deformidades graves no comportamento. Ao desmontar estas baterias verificou-se sulfatação grave nas placas positivas de todas as baterias e desagregação no material ativo da porção inferior das placas das baterias 1, 2 e 4 (as baterias “normais” da Cotinga). Na bateria 3, além da sulfatação na positiva, verificou-se a formação de chumbo metálico, indicando inversão de potencial decorrente de sobredescarga. As placas negativas desta bateria, no entanto, não apresentaram desagregação marcada. Isso leva as seguintes conclusões: de que, mesmo sob um regime em estado de carga relativamente elevando (valor médio próximo dos 95%), o efeito cumulativo da recarga incompleta é determinante e reflete na sulfatação da placa positiva e a outra coisa que se pode inferir é que no dimensionamento da bateria o limitante era a placa negativa. Esta é uma estratégia comum adotada pelos fabricantes, e se baseia na experiência de que quem limita a vida útil de baterias em sistemas fotovoltaicos é a corrosão da grade positiva, por esse motivo esta placa deve ter sido “sobredimensionada”. Verificou-se, no entanto, que o material ativo da placa positiva que não era recuperado ao longo das descargas, acabou se acumulando na forma de $PbOS_4$ inativo sobre a mesma, diminuindo progressivamente a sua capacidade disponível. A placa negativa, por sua vez acabou sendo “sobrecarregada”, como se pôde verificar pela ausência de sulfatação severa e desagregação do material ativo. Esse problema foi mais evidente nas baterias 1, 2 e 4 da Cotinga, corroborando essa hipótese. A sobrecarga só não foi problema na bateria 3, com valor máximo de potencial ficando sempre abaixo dos 14 V. Isso pode sugerir que uma estratégia de formulação e dimensionamento para baterias de sistemas fotovoltaicos mais aproximada daquelas para veículos elétricos e start stop seria interessante. No caso das baterias para veículos start stop com freio regenerativo, existem mecanismos para impedir a sulfatação da placa negativa. Ao aplicar esta concepção à baterias fotovoltaicas, seria possível dimensionar as placas de maneira mais semelhantes e trabalhar com valores de potencial de recarga inferiores (evitando a oxidação da grade positiva e o estresse da negativa), com recargas completas eventuais (equalização) para homogeneizar a solução apenas,

evitando assim o estresse das placas. Além disso, já foi demonstrado que mecanismos de gerenciamento de baterias em regime parcial de carga com carga pulsada em diferentes estágios pode reverter o efeito da sulfatação (2), o que diminuiria ainda mais a necessidade de sobrecargas constantes. Quanto ao gerenciamento de baterias para sistemas isolados, ficou clara a vantagem técnica que se teria em aplicar um gerenciamento individualizado aos monoblocos do banco.

E sobre o ensaio em laboratório, que é o mais comum na área técnica para avaliar/comparar baterias para sistemas fotovoltaicos, demonstrou-se que ele não foi capaz de refletir os mecanismos típicos de degradação verificados em campo. A portaria do INMETRO sugere outros ensaios complementares ao de durabilidade, mas nenhum deles seria capaz de avaliar a convolução dos mecanismos de degradação típicos. Isso sugere que deve-se dedicar esforços para desenvolver novos testes padronizados.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Perrin M., Lemaire-Potteau E. Remote area power supply: Batteries and fuel cells. Encyclopedia of Power Sources, Ed. Garche J. Elsevier, Amsterdam. vol 1, p. 65. 2009.

(2) ANDRADE, J.; IMPINNISI, P. R.; Extensão da vida útil de baterias de sistema fotovoltaico submetidas à ciclos em estado parcial de carga e recarga pulsada. In: SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA, 23. 2015, Foz do Iguaçu.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Juliano de Andrade.

Nascimento: Curitiba, PR, Brasil. 03/05/1979

Graduado em Engenharia Química pela Universidade Federal do Paraná (UFPR), em 2003. Mestrado e Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais pela mesma instituição em 2005 e 2010, respectivamente. Atua na área de eletroquímica e baterias desde 1998, com experiência em mecanismos de reações de baterias chumbo ácido, análise superficiais, dimensionamento de bancos de baterias, gerenciamento de baterias para distintas aplicações. Atualmente é pesquisador pleno III dos Institutos Lactec e professor do Mestrado Profissional do mesmo, onde leciona as disciplinas de Tecnologia de Materiais e de Sistemas de Armazenamento de Energia. Também atua na área de corrosão de materiais metálicos. Possui 3 orientações e 4 co-orientações de mestrado, todas na área de acumuladores de energia. Possui 6 artigos publicados em periódicos, 15 apresentações em eventos um pedido de patente.

Patricio Rodolfo Impinnisi

Nascimento: Buenos Aires, Argentina, em 05/03/1962

Graduado em Física - Moscow State University Lomonossov (1989), Mestrado em Física Matemática - Moscow State University Lomonossov (1991) e Doutorado em Química pela Universidade Federal de São Carlos (1995). Atualmente é pesquisador do Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento - LACTEC, Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Paraná - UFPR, e do Programa de Pós Graduação em Tecnologia dos Institutos Lactec. Tem experiência na área de Química, com ênfase em Eletroquímica, atuando principalmente nas seguintes áreas: Baterias de chumbo-ácido (produção e funcionamento), impedância eletroquímica, células a combustível (operação), sistemas de acumulação de energia, fontes alternativas de energia, entre outros.

Luiz Claudio Skrobot Junior

Data de Nascimento: 26/11/1975

Graduado em Engenharia de Produção: Química pela Universidade Federal de São Carlos (UFSCar), em 1999. Mestrado em Engenharia pelos Institutos Lactec em 2014 na área de sistemas energéticos convencionais e alternativos. Atualmente é Engenheiro de Produtividade na Hexion do Brasil com experiência na área de processos, mapeamento e construção de modelos produtivos.