

## **5**

### **Conclusões e sugestões**

#### **5.1.**

##### **Conclusões**

A Lei nº 10.295, de 17 de outubro de 2001 (Lei da Eficiência Energética) atribui ao Poder Executivo a responsabilidade de estabelecimento de níveis máximos de consumo específico de energia ou níveis mínimos de eficiência energética de máquinas e aparelhos consumidores de energia fabricados ou comercializados no país, com base em indicadores técnicos que são estabelecidos pelo Programa Brasileiro de Etiquetagem (PBE). Este programa é conduzido pelo Instituto Nacional de Metrologia, Normalização e Qualidade e Inovação (INMETRO) em parceria com o Programa Nacional de conservação de Energia Elétrica (PROCEL).

Os indicadores técnicos funcionam como parâmetros de orientação para fabricantes interessados em utilizar a Etiqueta Nacional de Conservação de Energia (ENCE) e, também, para consumidores no ato da compra de um equipamento. Atualmente, as baterias e outros componentes do Sistema Fotovoltaico participam deste programa, e a adesão ao mesmo é voluntária.

Segundo o INMETRO, os procedimentos atestam a informação prestada pelo fabricante quanto à eficiência energética e/ou desempenho de seu produto, medidos conforme Normas brasileiras e/ou Internacionais pertinentes e controladas pelo laboratório de ensaios credenciado e/ou designado, o que permitirá a colocação da ENCE em seus produtos sob avaliação.

Desenvolveu-se este trabalho com o objetivo de analisar criticamente os Procedimentos de Etiquetagem de Baterias do PBE que simulam as adversidades pelas quais passam uma bateria quando é utilizada em um sistema fotovoltaico.

Os procedimentos relativos às baterias compõem-se de dois tipos de ensaios: ensaio de Capacidade Obtida, cujo objetivo é certificar a informação sobre a capacidade nominal contida no rótulo das baterias para que o consumidor possa escolher a bateria mais adequada ao seu uso; e ensaio de

Durabilidade, no qual o objetivo é atestar a vida útil da bateria. Os dois ensaios visam à utilização no Sistema Fotovoltaico.

Foram avaliados dois procedimentos, nos quais duas baterias de fabricantes diferentes, denominadas neste trabalho de bateria A e bateria B, foram submetidas a procedimentos diferentes. As conclusões finais são as que seguem.

### 1) Bateria A

Os procedimentos vigentes à época do ensaio da bateria A, constante do anexo C, continham uma falha grave ao não fixarem a temperatura do banho termostaticado no Tratamento Prévio, induzindo os laboratórios a assumirem esta responsabilidade, o que provocou diminuição da capacidade da bateria A e conseqüente não conformidade com os procedimentos. Neste ensaio, o PBE não estabeleceu valor para a temperatura do banho termostaticado, apenas citava que a temperatura determinada fosse mantida controlada com uma estabilidade de  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ . Os procedimentos também não limitam a freqüência de aquisição de dados, apenas citam o registro contínuo dos parâmetros a serem medidos, o que implica em erro no cálculo das médias dos valores aquisitados. O intervalo de aquisição foi inicialmente determinado de forma arbitrária, de 1 em 1 minuto e após a utilização da função PSD do MATLAB comprovou-se que a freqüência de aquisição poderia ser reduzida em 10 vezes, sem prejuízo dos resultados experimentais.

De uma forma geral, para determinar a redução de capacidade resultante, é necessário ter conhecimento das curvas de carga e descarga a diferentes temperaturas, normalmente fornecidas pelo fabricante da bateria. Em função da temperatura mínima na qual o sistema pode funcionar, esta curva permite a determinação do coeficiente de redução de capacidade por influência da temperatura, ou, na falta desta, utilizar o conceito exposto ao longo deste trabalho, que considera que a capacidade da bateria varia na proporção de, aproximadamente, 1% a cada grau Celsius, para temperaturas de operação acima de  $21,1^{\circ}\text{C}$ [19].

A norma IEC 61427 [2] também faz comentários sobre o fato da bateria ser usada em temperaturas diferentes da temperatura operacional da mesma. Esta norma sugere que o fabricante da bateria seja consultado para valores específicos de temperatura.

Para calcular a capacidade de uma bateria, deve-se ter em conta a temperatura e/ou o limite de descarga autorizada. Se a instalação opera a uma

reduzida temperatura, esta vai ser a principal causa de redução de capacidade, uma vez que os processos de carga e descarga de uma bateria se processam mais lentamente a baixas temperaturas. No entanto, se a instalação opera a uma temperatura elevada, sua capacidade aumenta, uma vez que os processos de carga e descarga de uma bateria se processam mais rapidamente a temperaturas mais elevadas. Numa consulta ao manual do fabricante da bateria A, constatou-se que a temperatura de operação da bateria era de 27°C, valor acima das temperaturas usadas nos ensaios da mesma.

Calculou-se a incerteza de medição e a capacidade corrigida, como no 4º ciclo do tratamento prévio da bateria A. Neste ciclo a correção da capacidade (**88,9 ± 2,6) Ah** foi de **4,6Ah** devido à variação da temperatura do banho termostaticado (**21,8±0,7)°C** em relação à temperatura de operação da bateria (27°C). Além do mais, de acordo com Chester L. Dawes, há uma redução de capacidade na razão de 1% por cada grau Celsius de variação na temperatura da bateria, sendo que a incerteza expandida calculada neste caso foi igual a **2,6Ah**. O resultado corrigido foi igual a: **(88,9 +4,6) ± 2,6 = (93,5 ± 2,6) Ah**. Considerando o resultado sem correção (**88,9 ± 2,6) Ah** e com correção (**93,6± 2,6) Ah**, a bateria poderia estar ou não em conformidade com os procedimentos do PBE (a capacidade deve, ao final dos ensaios, ser igual ou maior que 95% da capacidade especificada pelo fabricante). Caso a bateria não alcance os valores nominais no Tratamento Prévio, de nada adianta a continuidade dos testes. Para efeito de análise dos procedimentos, deu-se prosseguimento aos ensaios até a finalização do teste de Capacidade Obtida.

No ensaio de Capacidade Obtida, a temperatura do banho termostaticado foi fixada pelo PBE em (25 ± 2)°C. Isto também não resolveu o problema de cálculo de capacidade, porque o fabricante pode ter seu equipamento com características de funcionamento em temperatura diferente desta. O ideal é que fosse realizada uma consulta ao manual do equipamento, de forma que se possam fazer correções nos cálculos de capacidade, caso o ensaio fosse realizado em temperatura diferente da especificada pelo fabricante.

No ensaio de Durabilidade da bateria A, a temperatura do banho termostaticado foi fixada pelo PBE em (60± 2)°C. Esta temperatura é extremamente alta e põe em risco a segurança operacional. Uma bateria chumbo-ácido não deve ser operada continuamente acima de 40°C, caso contrário, as placas se danificarão de forma permanente (Manual de Engenharia CRESESB/CEPEL [22]). A norma IEC 61427 [2], além de ratificar este valor,

informa que o fabricante deverá ser consultado para operação da bateria fora de uma faixa de temperatura [-20°C a 40°C]. De acordo com esta norma, a expectativa de vida para uma bateria de chumbo-ácido decairá a cada 10°C de elevação de temperatura sobre a temperatura operacional indicada pelo fabricante, e que em baixa temperatura o desempenho de descarga e a capacidade da bateria serão reduzidos.

Após submeter a bateria A a vários ensaios decidiu-se que o ensaio de durabilidade não seria representativo e este não foi realizado .

## 2) Bateria B

Nos procedimentos vigentes à época do ensaio da bateria B, foi fixado um valor de temperatura do banho termostático já no Tratamento Prévio o que não eliminou possíveis erros no cálculo da Capacidade Obtida, já que a mesma depende, também, de outros fatores.

No 3º ciclo do Tratamento Prévio esta bateria apresentou uma capacidade de **(77,6 ± 1,5) Ah**. Este valor deve ser analisado da seguinte forma: ou a bateria tinha perdido capacidade definitivamente ou estava em descarga profunda.

O procedimento ao qual foi submetida a bateria B, permitia consulta ao fabricante quanto ao nível de tensão de carga por elemento. Consultado o fabricante, a sugestão foi a de se realizar um ciclo extra, porém, com aplicação de 2,6V por elemento. Após novo ciclo com 2,6V / elemento, a bateria B elevou sua capacidade de 79,1 Ah (sem correção) para 97,6Ah (sem correção), o que demonstra que a bateria estava descarregada e que não havia perdido carga definitivamente. Esta é a chamada carga de equalização e deverá ser aplicada somente em casos excepcionais, por exemplo, após descargas profundas, repetidas recargas insuficientes ou descargas consecutivas.

A norma IEC 61427 [2] também faz referência a este assunto, informando que, tipicamente, a tensão máxima da célula é limitada a 2,4V por célula para bateria chumbo-ácido, e que alguns reguladores permitem que a tensão da bateria exceda estes valores por um período curto de tempo como equalização ou para impulsionar a carga. Esta mesma norma afirma que, em baterias chumbo-ácido ventiladas, a estratificação do eletrólito pode ser evitada por agitação do mesmo ou por sobrecargas periódicas ainda em serviço.

Também fica evidente a necessidade de uma redação mais clara e cuidadosa dos procedimentos; como exemplo de ambigüidade de interpretação, tem-se o item 2.4 do procedimento do anexo D ao qual foi submetido a bateria B, havendo dois entendimentos possíveis para a redação do subitem 2.4.3: esta

bateria deve ser carregada a 25°C ou a 40°C?. A redação (traduzida) da norma IEC 61427 [2] quanto a este assunto é a seguinte: “Comece o teste com a bateria completamente carregada. Traga a bateria a uma temperatura de 40°C ± 3°C e estabilize por 16h. Mantenha a bateria a 40°C ± 3°C ao longo do teste”. Neste caso, fica claro que a bateria não deve ser carregada a 40°C.

O ensaio de durabilidade desta bateria estava em andamento no fechamento desta dissertação, nada podendo ser concluído quanto ao mesmo.

As limitações mais importantes para a implementação dos procedimentos de ensaios das baterias estão vinculadas à:

- Tempo de ensaios demasiadamente longos, o que implica em elevado custo de realização;
- Informações técnicas insuficientes sobre as amostras;
- Procedimentos que permitiam ambigüidade de interpretação.

É de se ressaltar a importância, na medida do possível, de realizar as medições nas baterias nas condições mais próximas em que funcionará.

Em geral, os resultados das medições realizadas em cada procedimento foram bastante similares, e as diferenças, na maioria dos casos, insignificantes. Nos casos em que isto não ocorreu, estas tiveram diversas causas, como exemplo: as variações nas condições ambientais, calibração do instrumento, erro operacional, etc.

As medições realizadas serviram, também, para comparar os procedimentos alternativos, tal como se pode observar com os resultados sem e com redução da frequência de aquisição.

A incerteza de medição deve ser considerada no procedimento. A reprovação de uma bateria pode ser precipitada se a mesma não for considerada.

Para a curva de descarga, nos dois procedimentos, fez-se uma modelagem que permitirá ao consumidor, para uma determinada bateria e a um determinado regime de descarga, prever o tempo do fim de carga com um erro mínimo. Verificou-se que o modelo polinomial de grau 3 apresentou um bom ajuste.

Nos poucos ciclos do ensaio de Durabilidade, a que foi submetida a bateria B, a capacidade da bateria não se alterou.

### 3) Procedimento a ser adotado

A escolha do procedimento ideal a ser adotado depende de certo número de parâmetros tanto de ordem técnica como econômica. Tempos demasiadamente longos de ensaios elevam os custos dos mesmos; como exemplo, para os quatro ciclos do Tratamento Prévio da bateria A necessitou-se de um tempo total de 578,10 h.

Dois parâmetros merecem atenção especial nos procedimentos: a temperatura de ensaio da bateria e o limite da tensão de carga. A baixa temperatura do ensaio de Tratamento Prévio da bateria A reduziu sua capacidade; já o limite de tensão de carga no procedimento ao qual foi submetida a bateria B não conseguiu atingir sua carga.

Deve-se ainda mencionar que, dentre todos os componentes do Sistema Fotovoltaico, a bateria é o componente menos durável, e a sua substituição ocorre antes dos outros componentes, merecendo atenção especial porque eleva o custo do Sistema Fotovoltaico de Energia.

## 5.2. Sugestões

Para trabalhos futuros sugere-se:

- Os dois procedimentos avaliados demonstram que há muito ainda a ser feito, começando por uma definição da temperatura para o ensaio de Tratamento Prévio, Capacidade Obtida e Durabilidade. Qualquer divergência entre estas temperaturas de ensaio e a temperatura de operação da bateria implicaria em correção da capacidade e da expectativa de vida da bateria.
- A inclusão do conceito de incerteza de medição no último ciclo do ensaio de Tratamento Prévio, no ensaio de Capacidade Obtida e no cálculo da capacidade no ensaio de Durabilidade (fase B);
- A inclusão de um método de correção de capacidade nos ensaios: Tratamento Prévio, Capacidade Obtida e Durabilidade;
- Encontrar um limite ideal de tensão de carga, pois este é um ponto crítico.
- Definição de uma frequência ótima de aquisição de dados;
- Exigir que o manual técnico das amostras acompanhem as mesmas;

- Teste com diferentes regimes de carga e descarga, diferentes temperaturas do banho termostaticado e diferentes tensões de corte deveriam ser realizados, porque qualquer condição que afete o local de operação da bateria deve ser incluída nos procedimentos.