

## **COMPORTAMENTO DE BATERIAS AUTOMOTIVAS SELADAS SOB DIFERENTES CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO**

<sup>1,2</sup>**Luis Horacio Vera e <sup>2</sup>Arno Krenzinger**

<sup>1</sup>Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Mecánica. Av. Las Heras 727, Resistencia, Chaco, Argentina.

[lh\\_vera@yahoo.com.ar](mailto:lh_vera@yahoo.com.ar)

<sup>2</sup>Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-Graduação de Engenharia Mecânica. Sarmento Leite 428, Porto Alegre, Rio Grande do Sul, Brasil.

[arno.krenzinger@mecanica.urfgs.br](mailto:arno.krenzinger@mecanica.urfgs.br)

**RESUMO:** Sistemas fotovoltaicos isolados da rede elétrica utilizam em geral baterias de chumbo-ácido como meio de acumulação de energia. Uma incorreta determinação da capacidade real das baterias gera previsões errôneas da confiabilidade do sistema, e um incorreto gerenciamento de carga e descarga das baterias conduz a uma perda prematura de capacidade, que é um dos principais agentes de falta de energia nestas instalações (falhas). Com o intuito de estudar e prever estas situações, foi desenvolvido no Laboratório de Energia Solar da UFRGS, um sistema para ensaios de baterias. Este sistema permite realizar todos os ensaios estipulados por norma, com temperatura e corrente controlada, para determinar capacidade, durabilidade e outros parâmetros significativos. O monitoramento e controle de carga e descarga realizam-se automaticamente através de um programa computacional que gerencia o processo. Este trabalho apresenta o sistema de ensaio desenvolvido, e uma análise dos valores adquiridos através de ensaios de capacidade e eficiência.

**Palavras-chave:** Baterias de chumbo-ácido, Sistemas Fotovoltaicos Autônomos, Energia Solar.

### **INTRODUÇÃO**

Uma das aplicações dos geradores fotovoltaicos é operar em instalações isoladas da rede elétrica, configurando os denominados Sistemas Fotovoltaicos Autônomos (SFA). Estes sistemas normalmente são compostos por três partes básicas: o gerador fotovoltaico, os elementos de condicionamento de potência e proteção, e o acumulador.

O sistema de geração está constituído de módulos fotovoltaicos, responsáveis pela conversão de energia solar em energia elétrica. O subsistema de condicionamento de potência, formado pelo controlador de carga, controla o fluxo de energia entre o dispositivo de armazenamento e os pontos de consumo e interrompe o fornecimento de energia em determinados valores de tensão protegendo o banco de baterias, o inversor encarregado de converter à corrente contínua da bateria em corrente altera e o seguidor de ponto de máxima potência com função e maximizar energia extraída do gerador.

No momento de avaliar a instalação de SFA, os principais requisitos que estes sistemas devem satisfazer são: ser técnica e economicamente viáveis e assegurar o fornecimento contínuo de energia, ou seja, ser confiáveis. Para atingir estas metas é necessária uma apropriada metodologia de dimensionamento destes sistemas. No momento de realizar o dimensionamento do sistema o tamanho do painel fotovoltaico depende da carga, que por sua vez está ligada com a capacidade e desempenho da unidade de acumulação; por isto uma boa interação entre eles é essencial. O parâmetro encarregado de vincular estes elementos é a tensão da bateria, encarregada de polarizar o painel e definir o ponto de trabalho do sistema, isto é, os dispositivos que fazem de ligação entre as cargas e o sistema de geração são as baterias. Baterias que, funcionando em instalações de laboratórios ou em sistemas implantados por diferentes programas de eletrificação rural (Gouvello e Maigne, 2003), têm mostrado uma perda prematura de capacidade ou até uma perda definitiva de sua função. Copetti e Macagnan (2007) expõem que diversos autores coincidem em que os principais agentes que levam à falta de energia nestas instalações devem-se a um imperfeito gerenciamento de carga/descarga e ausência de manutenção.

A reposição de baterias que deixaram de funcionar antes do previsto é a principal causa de insucesso potencial de alguns programas de eletrificação rurais implementados no Brasil, como os seguintes:

- No Programa ECOWATT, implantado no estado de São Paulo, foram instalados 120 sistemas residenciais, com garantia de fornecimento de energia ao longo de vinte anos, sendo asseguradas três reposições da bateria no programa, mas as baterias antes de 2 anos ficaram sem capacidade de armazenamento, essencialmente devido a freqüentes sobrecargas (Zilles et al., 2000)
- No programa COPEL, implantado no estado de Paraná, houve desativação generalizada de baterias, após um ano de uso, como resultado das condições de operação dos centros de carga de bateria e do by-pass do controlador de descarga (Santos et al, 2000)

- No PRODEEM sistemas autônomos instalados nas primeiras fases do programa, deixaram de funcionar devido à perda de capacidade das baterias após um ou dois anos de funcionamento (Copetti e Macagnan, 2007).

Por outro lado, em alguns sistemas SIGFI's, implantados há 2 anos em algumas cidades do Brasil, a constante manutenção, reposição de água e controle das instalações, até o momento, está assegurando um bom funcionamento dos sistemas implantados (Mocelin e Zilles, 2007).

Estas falhas nas baterias e a necessidade de reposição antes do momento previsto têm um caráter relevante, quando é analisada a parcela de participação dos custos das baterias sobre os custos totais do sistema. Em uma primeira análise, o investimento inicial em um SFA está basicamente concentrado nos componentes de geração de energia elétrica no sistema. A Fig. 1(a) mostra a participação percentual de cada elemento que compõe um SFA no momento do investimento inicial.

Por outro lado, realizando-se uma análise de investimento de custo do ciclo de vida anual para cada componente e considerando uma reposição do sistema de acumulação a cada quatro anos, o gasto anual em baterias é próximo às despesas realizadas com o sistema de geração, como pode ser visto na Fig. 1(b).

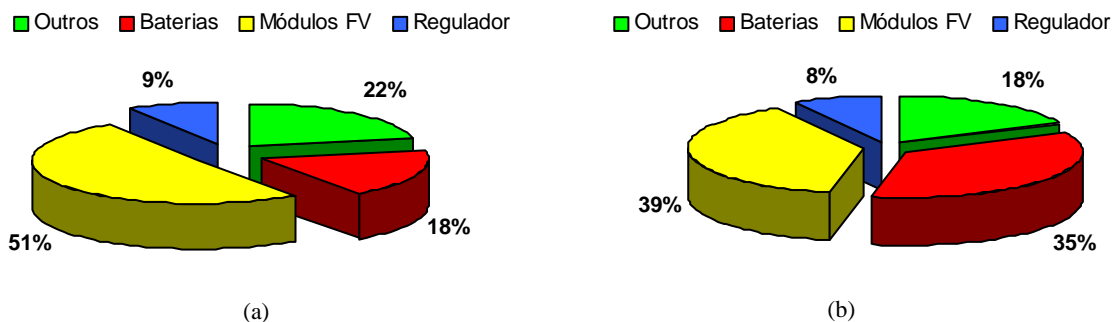


Fig 1. Participação percentual de cada componente de um SFA considerando: (a) o investimento inicial, (b) os custos anuais de cada componente ao longo da vida útil do sistema (Oliveira, 2005)

Pode-se afirmar que considerando que a bateria é o elemento com menor confiabilidade e também interfere bastante sobre os custos anuais de um SFA, é necessário um apurado estudo e uma eficiente caracterização do comportamento e desempenho destes dispositivos eletroquímicos.

## SISTEMAS DE ARMAZENAMENTO DE ENERGIA

Uma comparação dos sistemas de armazenamento é apresentada por Jossen et al. (2004), mostra os inconvenientes e as vantagens das baterias de chumbo-ácido frente as de Níquel-Metal hidreto, Lítio/íon ou Li-polímero (Li) e sistemas de Acumulação de gás (hidrogenio), concluindo que a tecnologia de Pb-ácido é ainda a mais vantajosa nos SFA.

Entre os diferentes tipos de baterias de chumbo-ácido as mais apropriadas para serem utilizadas são as baterias estacionárias, por terem um bom comportamento frente às solicitações dos SFAs. As baterias estacionárias, até pouco tempo atrás, não eram fabricadas no Brasil e tem um custo mais elevado em relação aos outros tipos de baterias, porém, as baterias de chumbo-ácido de tipo automotivo ainda são as mais utilizadas no país.

Neste trabalho a abordagem de muitos conceitos básicos sobre baterias serão omitidos, já que existem autores que realizam uma descrição detalhada dos mesmos (Linden, 1995, Lasnier e Gan Ang, 1991).

### Procedimentos de Ensaio

Baterias que trabalham em SFA estão submetidas a uma variedade de correntes de carga e descarga, assim como também a uma ampla faixa de condições de operação. As variações devem-se à mudança de demanda efetuada pelas cargas elétricas e ocorrem porque a energia gerada pelos dispositivos fotovoltaicos está diretamente ligada às condições climáticas no lugar de implantação do sistema. Assim sendo, estas variações são as principais causas que regem o desempenho das baterias, ou banco de baterias, ao longo da sua vida; e são encarregadas de desencadear algum dos mecanismos de falhas (Jossen et al., 2004).

Para avaliar o comportamento das baterias existem diferentes normas para realizar ensaios, que apresentam divergências em função do tipo de baterias testadas e de sua aplicação. Para baterias instaladas nos SFA existem normas internacionais para realização de ensaios.

Em alguns países as normas para os ensaios, muitas vezes, são ampliadas e modificadas para testar baterias de sistemas renováveis de energia (Carr et al, 2004). Estas normativas, em sua maior parte, realizam procedimentos cíclicos de ensaios, tentando estabelecer capacidade, ciclo de vida, e prover informação valiosa para o usuário sobre a adequação das baterias para determinadas aplicações.

No caso particular do Brasil as normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) utilizadas para o ensaio de baterias automotivas está baseada na norma NBR 6581. Esta norma também regula o procedimento utilizado no Programa de Conservação de Energia (PCE), coordenado pelo Inmetro, que realiza ensaios de baterias a serem usadas em SFA.

O sistema de ensaio do Laboratório de Energia Solar da UFRGS, foi desenvolvido com o objetivo de realizar todos os ensaios especificados pelo PCE, programa que informa sobre a eficiência energética dos equipamentos comercializados no país, como outros ensaios desejados.

### CARACTERIZAÇÃO DE BATERIAS AUTOMOTIVAS ATRAVÉS DO SISTEMA DE ENSAIO

Uma vez justificado o estudo do comportamento de baterias automotivas em regimes típicos de uso fotovoltaico, é necessário planejar tal estudo.

Poder-se-ia acoplar a bateria de interesse em uma instalação fotovoltaica e acompanhar seu desempenho durante os ciclos operacionais de cargas e descargas ao longo do tempo, entretanto muitas variáveis influentes no desempenho estariam sem controle, restringindo as possibilidades conclusivas do estudo.

Testes de cargas e descargas completas com corrente constante e temperatura controlada permitem a observação separada da influência das variáveis corrente e temperatura sobre a tensão, assim como a determinação da capacidade (*Cap*), eficiência energética (*Ee*) e eficiência faradaica (*Ef*), representadas nas Eq.1, 2 e 3 respectivamente.

$$Cap = \int_0^t I_d \cdot dt \quad (1)$$

$$Ef = \frac{\int_0^t I_d \cdot dt}{\int_0^t I_c \cdot dt} \quad (2)$$

$$Ee = \frac{\int_0^t I_d \cdot V_d \cdot dt}{\int_0^t I_c \cdot V_c \cdot dt} \quad (3)$$

onde

*I<sub>d</sub>* = corrente de descarga

*I<sub>c</sub>* = corrente de carga

*V<sub>d</sub>* = tensão na descarga

*V<sub>c</sub>* = tensão na carga

Com o intuito de caracterizar o comportamento da tensão em relação à corrente, temperatura e estado de carga, montou-se, no Laboratório de Energia Solar da UFRGS, uma bancada de testes apropriada para este fim.

### SISTEMA DE ENSAIO DE BATERIAS

Para a realização dos ensaios é preciso um sistema que controle a corrente e a temperatura e que adquira os parâmetros em questão. Para isto, uma bancada de testes foi montada (Fig. 2) e os elementos que a compõem são descritos a seguir:

- O sistema de corrente formado por uma fonte Kepco BOP 80.
- O sistema de controle de temperatura constituído por um circuito eletrônico comparador e um sensor de temperatura.
- O sistema de aquisição de dados composto por um *datalogger 34910A* para medidas de tensão, corrente e temperatura. O *datalogger* comunica-se com um microcomputador no qual um programa computacional gerencia o ensaio.

#### *Fonte de Corrente Constante*

Para a polarização da bateria sob teste, é utilizada uma fonte bipolar *Kepco BOP 50-8M*, que é capaz de fornecer corrente variando de -8 a +8 A, numa faixa de tensões desde -50 até +50 V, ou seja, a fonte bipolar permite polarizar a bateria continuamente desde o primeiro quadrante (tensão positiva, corrente positiva), até o quarto quadrante (tensão positiva, corrente negativa). Esta fonte comporta-se como um amplificador operacional de potência, com alta velocidade de resposta (7,5 V/ms) e operação nos quatro quadrantes. Nos ensaios a fonte é controlada remotamente pelo sinal de tensão fornecido por um conversor digital/analógico. Esta fonte apresentou uma oscilação máxima de 0,8 % em relação a um valor ajustado através de um software desenvolvido para essa finalidade.

#### *Conversor Digital/Analógico*

O conversor digital/analógico produz um sinal de tensão regulável entre -10 e +10 V (valores compatíveis com a entrada de controle externo da fonte Kepco) que permite ir de valores positivos até valores negativos de corrente. Este conversor tem uma resolução de 8 bits e é controlado por um programa em um microcomputador. O tempo mínimo que o *software* permite

programar, para passar de um valor de corrente para outro, é de 10 min. Este conversor permite programar 128 intervalos de corrente compreendidos entre  $-8\text{ A}$  até  $8\text{ A}$ .

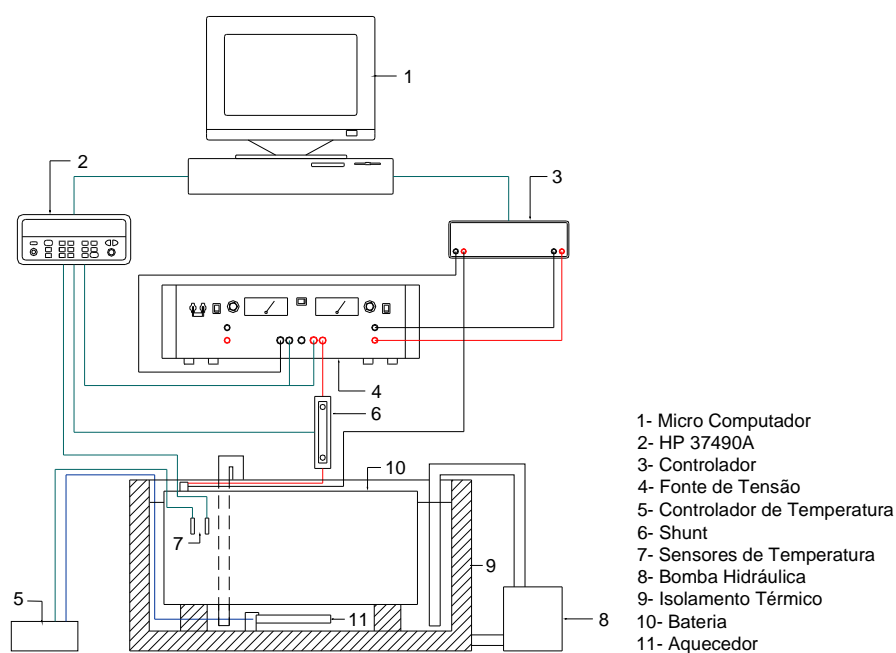


Figura 2. Sistema de ensaio de baterias desenvolvido indicando cada um dos seus componentes.

#### Sistema de Controle da Temperatura

As baterias são imersas num banho térmico composto por um reservatório adiabático cuja capacidade é de 60 litros. A bateria é introduzida neste recipiente e se agrega água até que o topo da bateria esteja a 25 mm acima do nível da água do banho. O controle de temperatura é efetuado a partir da tensão fornecida por um PT100 encapsulado e imerso no banho. O valor de tensão é lido por um circuito eletrônico comparador que decide sobre a operação de um sistema de aquecimento ou de refrigeração da água (este ultimo parcialmente implementado), de forma que possibilita que os experimentos sejam realizados na temperatura estipulada. O sensor foi calibrado com um banho termostático de uma resolução de  $0,1^{\circ}\text{C}$ , que foi aferido com um termômetro de mercúrio de  $\pm 0,05^{\circ}\text{C}$  de incerteza.

O sistema de aquecimento é composto por duas resistências elétricas de 150W, localizadas na base da caixa isolada. Adicionalmente, uma bomba centrífuga de 1/12 HP faz circular a água dentro do reservatório para evitar a estratificação da mesma e garantir uma temperatura uniforme dentro do banho.

#### Medição de corrente, tensão e temperatura

Para as medidas de tensão e corrente (tensão nos bornes da bateria e do shunt) foi utilizada uma unidade de aquisição de dados 34970A, fabricada pela empresa Agilent. Instrumento que permite a medição de valores de resistência elétrica, tensão, corrente contínua e alternada, e frequência ou período de sinais elétricos. Possui multiplexadores que gerenciam a conexão dos sensores, podendo ser colocados até 3 multiplexadores na unidade, com uma capacidade total de 120 canais. A resolução pode ser programada entre  $4\frac{1}{2}$ ,  $5\frac{1}{2}$  ou  $6\frac{1}{2}$  dígitos. Neste caso, optou-se por medir em  $5\frac{1}{2}$  dígitos.

Para a medida da corrente de carga ou de descarga, é utilizado um shunt *Hartmann & Braun* com relação nominal de 10 A/150 mV, classe de exatidão 0,5 %. Como o sistema de controle de temperatura do banho térmico não possuía saída para monitorar e adquirir continuamente os valores de temperatura, um novo PT100 foi calibrado com o banho termostático e introduzido nas proximidades do sensor que controla a temperatura.

#### Sistema de Aquisição de Dados

Um microcomputador gerencia o funcionamento do sistema, controlando os equipamentos de medida e armazenando os dados adquiridos. O gerenciamento é realizado através do programa *TestBatteries 1.0*, desenvolvido no Laboratório de Energia Solar da UFRGS especialmente para esta finalidade. O programa além de recolher e gravar os dados da unidade de aquisição apresenta-os graficamente na tela do computador.

O programa foi elaborado para ambiente Windows em linguagem de programação Visual Basic, levando em conta as seguintes considerações:

- Definição de corrente de carga e descarga.
- Programação dos canais de entrada e saída.
- Controle da tensão do banco de baterias e do período de funcionamento das cargas.
- Armazenamento e apresentação dos resultados.

- Monitoramento e visualização em tempo real.

## RESULTADOS DOS ENSAIOS

Os ensaios foram realizados segundo o procedimento especificado pela norma NBR 6581. A bateria testada, recentemente adquirida, é de chumbo-ácido selada de 150 Ah capacidade e 12 V.

Na Fig. 3 apresenta-se o valor de temperatura do banho térmico e temperatura do ar do recinto onde se realizou o ensaio. Analisando os resultados, pode-se afirmar que o controle de temperatura obtido com o sistema desenvolvido é muito preciso, já que a temperatura estabelecida em 30°C ficou praticamente constante em 30°C  $\pm$ 0.1°C. O fato dos ensaios serem realizados em um recinto capaz de absorver variações externas bruscas de temperatura auxilia na estabilidade do sistema. Como os dispositivos de acumulação eram novos, realizarem-se, inicialmente, 3 ciclos de carga e descarga completa, como é recomendado por Vinal (1951).

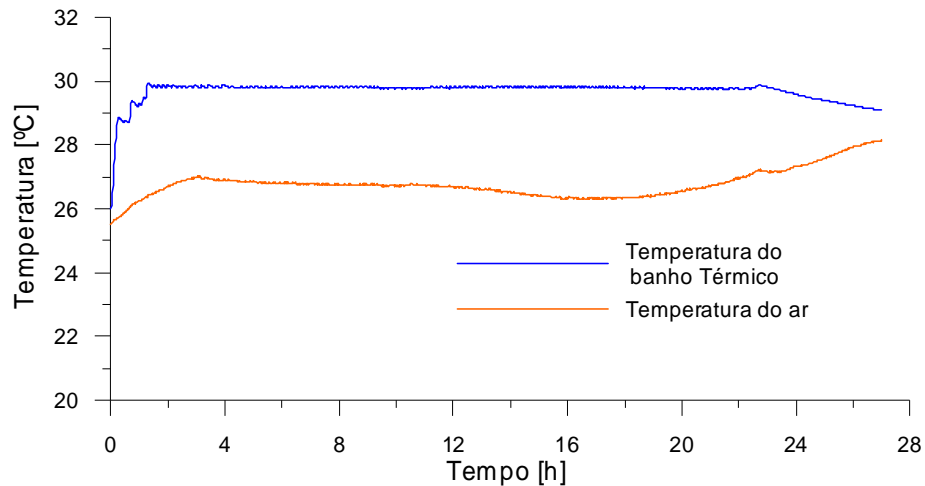


Figura 3. Valores de temperatura do banho térmico e temperatura de ar durante o ensaio de carga de uma bateria.

Logo, foi obtida a capacidade de 4 baterias automotivas seladas da marca Tudor de 12 V e 150 Ah; para um regime e condições especificadas por norma (20 h). Esta caracterização é importante porque estas baterias serão instaladas em um SFA montado nas dependências do Laboratório de Energia Solar. O sistema será monitorado e os valores registrados serão comparados com valores simulados. A simulação precisa do valor real de capacidade do sistema de armazenamento como dado de entrada.

Na Fig. 4 (a) apresenta-se um par de curvas de baterias distintas, obtidas em ensaios de carga onde nota-se a diferença de capacidade de duas baterias novas iguais, mas com comportamentos similares. Na Fig. 4(b) mostra-se a sobreposição das curvas de carga e descarga de uma bateria ensaiada (o ensaio de descarga foi realizado 20 horas depois de finalizado o teste de carga com o intuito de estabilizar a tensão). Através destas curvas, calcula-se a eficiência da bateria, e pode-se ver a diferença de comportamento entre valores de tensão destes dois processos. Para a descarga utilizou-se uma corrente constante de 7.5 A e o procedimento finalizou quando a tensão atingiu um valor de 10,5 V.

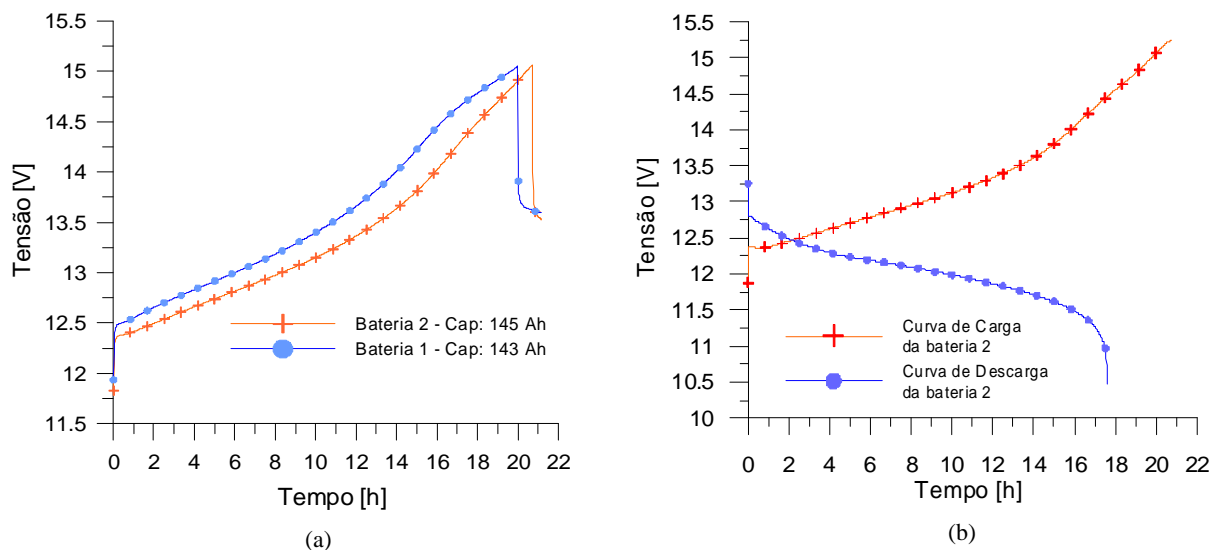


Figura 4. (a) Curva de tensão nos bornes de duas baterias ao longo de um ensaio de carga, (b) Curva de tensão nos bornes de bateria ao longo de um ensaio de carga e logo de descarga.

A Fig. 4 (a) mostra as curvas de carga de duas baterias ensaiadas com uma corrente de 7,5 A, corrente que foi utilizada para descarregar e carregar a bateria em aproximadamente 20 h; tempo para cálculo da capacidade designada como  $C_{20}$ . Em baterias abertas o ponto de corte de carga apresenta-se no momento em que a derivada da curva de carga é igual a zero, em caso de baterias seladas recomenda-se não chegar até esse ponto, por isto o corte de carga é realizado antes. O procedimento interrompe-se quando o valor da tensão chega a 15,25 V. Caso continue-se injetando corrente na bateria, esta energia será utilizada para dissociar as moléculas de água do eletrólito (eletrólise). Continuar carregando a bateria seria prejudicial, mas deter o ensaio em tensões menores não permitiria atingir a capacidade total da bateria.

Os testes das 4 baterias confirmaram que os valores de capacidade medidos estavam dentro da margem de 10% de tolerância, valor que os fabricantes das baterias garantem. Na Tab. 1 apresentam-se valores medidos e calculados para os ensaios.

Uma vez que se verificou o bom funcionamento da bancada de ensaios para baterias, foram realizados ensaios específicos que serviram para auxiliar na constatação de algoritmos utilizados em um programa de simulação de SFA concebido neste laboratório (Vera, 2004). Os ensaios realizados têm como objetivo verificar o comportamento dinâmico em vários intervalos de tempo, determinar o tempo ótimo de simulação, verificar os valores de tensão de repouso na carga e descarga, e como o fenômeno de autodescarga afeta as simulações.

Acumulador		Bateria 1	Bateria 2	Bateria 3	Bateria 4
Tensão nominal	[V]	12	12	12	12
Capacidade nominal	[Ah]	150	150	150	150
Tensão de corte na carga	[V]	15,25	15,25	15,25	15,25
Tensão de corte na descarga	[V]	10,5	10,5	10,5	10,5
Corrente de carga/descarga	[A]	7,5	7,5	7,5	7,5
Tempo de ensaio Carga/descarga	[h]	21,2/19,3	20,9/18,5	21,0/18,8	20,8/17,9
Capacidade	[Ah]	144,6	139,0	141,2	135,1
Eficiência Energética	[%]	81,7	78,3	79,6	77
Eficiência Faradaica	[%]	91,5	89,1	90,0	87,3

Tabela 1. Valores medidos e calculados nos ensaios realizados em 4 baterias de Pb-ácidas seladas.

Na Fig. 5 mostra-se um ensaio realizado com o intuito de determinar a tensão de repouso da bateria. A determinação desta tensão é relevante considerando o fato de que tensão e estado de carga da bateria têm uma relação direta. O procedimento para determinar esta tensão foi: carregar a bateria durante duas horas com uma corrente de 7,5 A e logo interromper a carga por duas horas. Repetiu-se este procedimento até que a bateria atingisse uma tensão de 14,2 V (tensão de corte características em SFA). O mesmo ensaio foi realizado para condições de descarga sendo a tensão de corte de 11,75 V. A partir dos valores de tensão da bateria, antes de fornecer energia e depois de retirar a mesma, pode-se determinar os valores de tensão de repouso para carga e descarga para uma corrente e intervalo de tempo especificado.

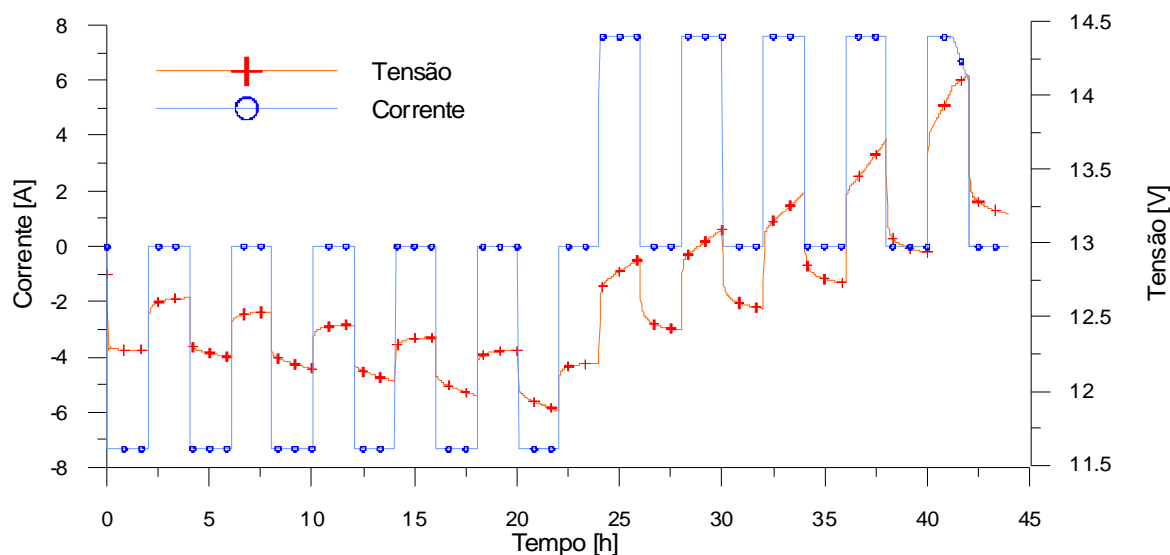


Figura 5. Valores de corrente e tensão obtidos em um ensaio de carga/descarga intermitente.

Os valores de tensão atingidos através das cargas e descargas intermitentes estão apresentados na Fig. 6(a). Observa-se que os valores de tensão para a carga e descarga, apresentam um desvio, ocasionando diferenças de inclinação nas curvas. Considerando que na descarga a eficiência é maior que na carga, e lembrando a relação direta entre tensão de repouso e EC, poderia se esperar que a tensão de repouso na carga fosse levemente menor que na descarga, comportamento que não ocorre. Devido à variação da resistência interna da bateria, somado ao fato que a energia entregue na carga é maior que a entregue na

descarga (correntes iguais com tensões maiores), é que as tensões de repouso são maiores para o processo de carga. Este comportamento que concorda com modelos matemáticos desenvolvidos (Copetti, 1993; Ross et al., 2000).

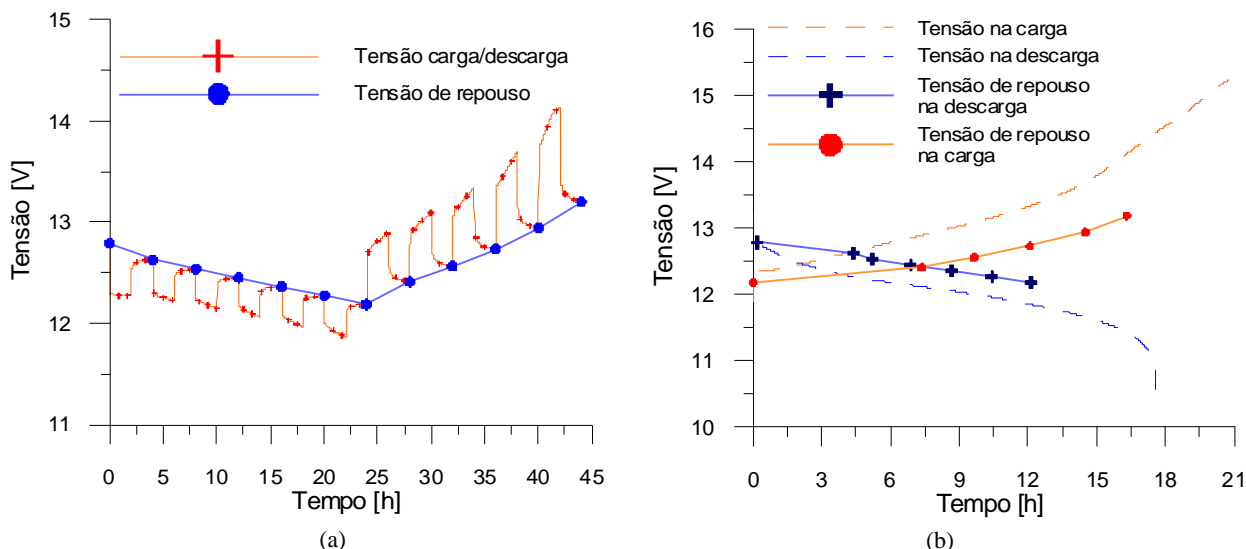


Figura 6. Valores de tensão de repouso obtidos através do ensaio de carga e descarga intermitente de uma bateria de chumbo-ácido.

Na Fig. 6(b) apresentam-se, no mesmo gráfico, os valores de tensão para um processo contínuo de carga e descarga, em conjunto com os correspondentes valores de tensão de repouso; os valores de tensão de repouso encontram-se dentro de um intervalo de tensões similares aos utilizados em controladores de carga instalados em SFA.

Verificou-se que os valores de corrente para o processo de descarga tinham uma diferença de 1,1% a mais em relação ao processo de carga, variação produzida devido que a fonte Kepco tem um deslocamento de off set entre valores negativos e positivos de corrente, quando controladas pela entrada analógica. Por este desvio, os pontos de tensão de repouso determinados depois de duas horas de repouso são corrigidos para corresponder a valores análogos de corrente durante o tempo considerado.

Outro objetivo dos ensaios foi determinar a autodescarga, para isto, foram carregadas totalmente as 4 baterias ensaiadas e foi monitorado seu valor de tensão ao longo de um mês. Durante este intervalo de tempo, mantendo suas temperaturas em valores de  $28 \pm 3 \text{ }^\circ\text{C}$ , a queda de tensão nas baterias varia de 0,015 até 0,020 V. Esta diminuição de tensão teve um comportamento logarítmico. Valores medidos permitem concluir que este tipo de acumuladores apresenta uma autodescarga mensal da ordem de 2%.

### ANÁLISE DE INCERTEZAS

Além das incertezas associadas às medições propriamente ditas, decorrentes da instrumentação utilizada, foram levados em conta os efeitos que as incertezas relacionadas ao estabelecimento das condições de medida podem ocasionar sobre a grandeza em análise.

Na Tab. (2) apresenta-se um resumo com as grandezas medidas e suas respectivas incertezas, calculadas segundo Holman (1971) a partir das informações contidas nos manuais dos instrumentos utilizados.

Variável	Valor	Incerteza
Tensão [V]	12,0	$\pm 0,003$
Corrente [A]	7,5	$\pm 0,11$
Potência [W]	100,0	$\pm 1,20$
Temperatura [°C]	25,0	$\pm 0,16$

Tabela 2. Resultados das medições com suas respectivas incertezas.

### CONCLUSÕES

Embora as baterias automotivas não sejam as ideais para as aplicações fotovoltaicas, apresentam-se como alternativa viável devido a seu baixo custo, alta reciclabilidade, grande difusão e uma tendência em melhorar seu desempenho nas aplicações solares.

Neste trabalho apresentou-se um sistema para realização de ensaios de baterias em condições controladas de temperatura e de carga. O controle do sistema foi realizado através de um programa computacional escrito na linguagem Visual Basic, encarregado de gerenciar os elementos que compõem o sistema assim como de guardar os dados no transcurso dos ensaios. Realizaram-se ensaios, seguindo as especificações da norma NBR6581, que mostram a grande precisão do sistema no

controle da temperatura assim como no controle da corrente de carga, superando amplamente os requisitos sugeridos pela norma.

Ensaio de capacidade de 4 baterias novas mostraram que a capacidade em Ah de cada bateria encontravam-se dentro dos 10% de tolerância garantida pelo fabricante, e ensaios de descarga mostraram que a variação mensal de tensão é da ordem de 2% (esta variação corresponde a valores de tensão de repouso para estado de carga entre 0% e 100%). O sistema automático de controle permitiu gerenciar a corrente de carga e descarga assim como o tempo em que atuam permitindo calcular as eficiências faradaica e energética de cada bateria. Com o sistema desenvolvido é possível gerar perfis de carga e descarga específicos que permitem analisar o desempenho das baterias sob condições controladas no laboratório.

Os resultados dos ensaios permitiram verificar o comportamento de modelos matemáticos utilizados em ferramentas de simulação, assim como verificar correlações entre efeitos causados pela autodescarga e variação de tensão de repouso em relação à perda de capacidade no tempo.

### **Agradecimentos**

Os autores agradecem o apoio financeiro do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - CNPq, entidade governamental brasileira promotora do desenvolvimento científico e tecnológico.

### **REFERENCIAS**

- Carr, A.J., Wilmot, N.A., Pryor, T.L., 2004. Battery Testing at ResLab. Solar 2004: Life the Universe and Renewables, Perth, Australia.
- Copetti, J. B. ; Maccagnan, M. H., 2007. Baterias em sistemas solares fotovoltaicos. I CBENS - I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza - CE.
- Copetti, J. B., Lorenzo E., Chenlo, F., 1993 . A general battery model for PV systems simulation. Progress in Photovoltaic.1(4) pp 283-292.
- Gouvello, C, Maigne, Y, 2003. "Eletrificação Rural Descentralizada". CRESESB- CEPEL Rio de Janeiro, Brasil.
- Holman, J.P., 1971. "Experimental Methods for Engineering", Ed. McGraw-Hill, New York, 7ª ed.
- Jossen, A., Garche, J., Sauer, D. U., 2004. Operation conditions of batteries in PV applications. Solar Energy, 76(6), pp 759-769.
- Lasnier, F. ; Gag Ang, T., 1990. Photovoltaic Engineering Handbook. Adam Hilger
- Linden, A, 1995. Batteries Handbook. Wiley and Sons. Philadelphia EUA.
- Mocelin, A.R., Zilles, R., Morante, F., 2007. Resultados Operacionais da Implantação de Sistema Fotovoltaicos Domiciliares. I CBENS - I Congresso Brasileiro de Energia Solar, Fortaleza - CE.
- Norma NBR 6581 (1989): Bateria Chumbo-ácido de partida – Verificação das características elétricas e mecânicas.
- Oliveira, L.G.M., 2005. Estrategia de Controle de Carga e Descarga em Sistemas Fotovoltaicos Domiciliares. Dissertação de Mestrado, Universidade de São Paulo, Brasil.
- Ross, J. N., Markvart, T., He, W., 2000. Modelling battery charge regulation for a stand-alone photovoltaic system. Solar Energy, 69(3), pp 181-190.
- Santos, R. R.; Zilles, R., 2000. Eletrificação de localidades isoladas: centros fotovoltaicos de carga de bateria e sistemas fotovoltaicos domiciliares. AGRENER, Encontro de Energia no Meio Rural
- Vera, L.H., 2004. Programa para Dimensionamento e Simulação de Sistemas Fotovoltaicos Autônomos. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Brasil.
- Vinal. G.W., 1955, Storage Batteries John Wiley & Sons. New York (USA).
- Zilles R.; Morante F.; Fedrizzi M.C, 2000. Avaliação dos sistemas fotovoltaicos instalados nas residências dos moradores da Ilha do Cardoso. AGRENER, Encontro de Energia no Medio Rural. Campinas-SP.

### **BEHAVIOR OF AUTOMOTIVE SEALED BATTERIES UNDER DIFFERENT OPERATION CONDITIONS**

**ABSTRACT:** Stand-alone photovoltaic systems in general use batteries as storage energy device. An incorrect determination of the actual capacity of the batteries causes mistaken provisions of the reliability of the system and an incorrect management of load leads to a premature loss of capacity. That are some of the main causes of energy failure in these installations (loss of load). With the purpose of studying and predicting these situations it has been developed, at the Solar Energy Laboratory of the UFRGS, a batteries testing system. This system allows to achieve several test specified by the standards, with controlled temperature and load in order to determine battery capacity, lifetime among other parameters. The measurements and the control of charge/discharge have been done automatically through a software that administrate the process. This work presents the development of the system and an analysis of the data acquired from capacity and efficiency tests.

**Keywords:** Lead-acid batteries, Stand-alone photovoltaic systems, Solar energy.