3
Procedimento Experimental

O presente procedimento tem por finalidade estabelecer os requisitos básicos para simulação da utilização de baterias chumbo-ácido em um Sistema Fotovoltaico, conforme descrito no Anexo B.

A bateria deve ser mantida em condições estáveis de temperatura, razão pela qual se utilizou no laboratório um recipiente onde a bateria permaneceu em um banho termostatizado durante os ensaios.

Para os ensaios foi utilizada uma (1) bateria por fornecedor, num total de dois (2) fornecedores. Nas duas baterias foram realizados os ensaios: Tratamento Prévio e Capacidade Obtida. O ensaio de Durabilidade foi realizado somente na bateria B.

O Tratamento Prévio, como sugerido pelo nome, é um tratamento para trazer a bateria a sua condição inicial nominal; somente após este tratamento pode-se iniciar o ensaio de Capacidade Obtida. No ensaio de Durabilidade as amostras já devem ter sido previamente submetidas ao ensaio de capacidade e seu objetivo é avaliar a capacidade da bateria de suportar ciclos de carga/descarga.

Todos os cálculos, inclusive os de incerteza de medição, foram processados em uma plataforma MATLAB.

Para o cálculo da incerteza as variáveis foram consideradas como estatisticamente independentes.

3.1.
Processamento dos sinais

O método teórico e o experimental para resolução de problemas na área de desenvolvimento de produto, são complementares.

No método teórico os resultados são generalizados e, algumas vezes, utilizam-se simplificações matemáticas para os modelos adotados. Em relação ao tempo necessário para resolução do problema, o método teórico é mais rápido, pois os modelos já foram elaborados.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

No método experimental geralmente os resultados são referentes somente à experiência que está sendo realizada em tempo real, não é necessária simplificação de modelos matemáticos adotados, requer procedimentos de testes e medidas exatas para retratação fiel do fenômeno. O tempo para sua realização é normalmente longo.

Este capítulo visa a edificar uma base de conhecimento para análise de sinais discretos nos domínios tempo/espaço e freqüência, através do processamento digital dos sinais, diminuindo o tempo de realização e aumentando a confiabilidade do método experimental.

3.1.1. O programa

Todos os cálculos descritos, bem como o procedimento seguido, foram incluídos em um programa que é processado na plataforma MATLAB, que permite um ambiente gráfico muito conveniente.

Apesar de ser uma linguagem interpretada, a velocidade de execução é suficiente para se avaliar um conjunto de milhares de realizações em poucos segundos em um microcomputador do tipo PC convencional.

Além disso, o programa é bastante interativo com o usuário, que pode facilmente avaliar a influência, sobre a capacidade calculada, do uso de instrumentos com melhor ou pior exatidão. Em sendo assim, a presente ferramenta, que surgiu como subproduto do procedimento de cálculo de capacidade e sua incerteza associada, passam a ser útil para o procedimento do PBE.

3.1.2. Simulação de sinais em MATLAB usando a função PSD

Existe uma função chamada PSD no MATLAB que tem o objetivo de estimar a densidade espectral de potência do sinal.

A densidade espectral de potência (PSD) é geralmente estimada dividindo-se o sinal em grupos de amostras. São calculadas as Transformadas de Fourier de cada grupo. A PSD é a média aritmética dos resultados obtidos para cada grupo após elevação do módulo das transformadas ao quadrado e da realização da normalização para tornar a grandeza em potência [15].

Se o sinal de interesse tem variação muito lenta e a taxa de amostragem é muito maior que o mínimo necessário, aplica-se uma decimação. Se, após

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

decimação, a quantidade de informações sobre o sinal original for suficiente para processamento posterior, pode-se reduzir a freqüência de aquisição. A quantidade de dados coletados após redução da freqüência de aquisição é menor e produz resultados semelhantes ao do sinal original.

3.1.3.
Modelagem da curva de descarga por uma função matemática.

O comportamento da tensão nos terminais da bateria no processo de descarga será modelado através da linha de tendência que apresentar menor margem de erro. Esta modelagem da curva de descarga é válida para uma tensão nominal de 12 V, tensão de corte de 10,5V e regime de descarga C_{20}.

O conhecimento da linha de tendência da curva de descarga permite fazer uma estimativa do tempo de carga que resta à bateria de acordo com o consumo. Desta forma o usuário pode prever quanto lhe resta de energia com um erro mínimo.

3.2.
Carga

A carga ou carregamento de uma bateria secundária é a passagem de corrente contínua através da bateria em processo inverso ao da descarga.

A carga é uma operação importante para a manutenção perfeita da bateria e tão importante quanto o processo de descarga. É no regime de carga que a bateria, após ter sido utilizada, recupera sua condição inicial, ou seja, a bateria dever ser plenamente recarregada dentro das suas condições nominais.

Para conseguir carregar uma bateria de 12 volts de tensão nominal, até 100%, a tensão de carga real máxima deve, no final da carga, atingir 14,4 V [16]. Acima de 14,4V pode ocorrer a estratificação do eletrólito (eletrólise) que separa o hidrogênio e o oxigênio da água. Todavia, se deixada sob essa tensão por muito tempo, mesmo com corrente muito baixa, a bateria perderá água aos poucos num fenômeno de mini-eletrólise.

A eletrólise deve ser evitada pelos seguintes motivos:

- Há um desperdício de eletrólito;
- Há a necessidade de substituição da água perdida na eletrólise;
- A segurança operacional fica prejudicada;
- Há a formação de bolhas de gás que danificam a estrutura do material ativo.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

Nesta dissertação foram utilizados dois regimes básicos de carga de bateria secundária:

- Carga com corrente constante;
- Carga com tensão constante.

3.2.1
Carga com Corrente Constante

Esta carga de corrente constante é uma carga realizada sem acompanhamento de um operador. O único problema é decidir o nível de corrente a ser usado. Se a corrente for pequena, o processo de carga é lento, e se a corrente for alta pode haver a formação de gases após a plena carga (Fig. 15). O ideal é que uma corrente alta seja empregada na 1ª metade ou um pouco mais do processo de carga, seguida por uma corrente menor posteriormente, até a plena carga (Fig. 16). Esta carga, seja qual for a modalidade, é um processo lento. A Fig. 17 mostra uma curva de carga com corrente constante obtida em um dos ensaios.

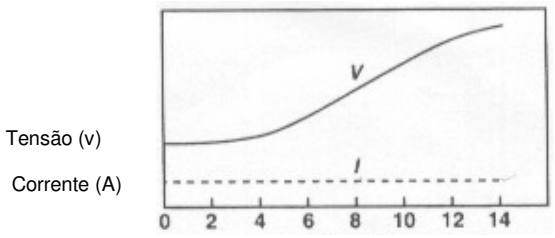

Figura 15-Carga com corrente constante-estágio único (adaptado) [17].

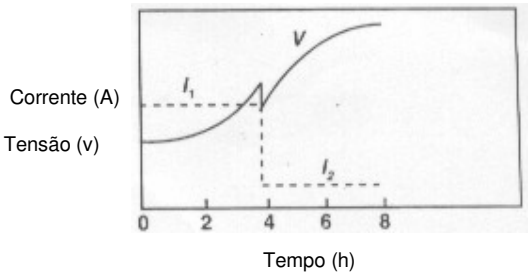

Figura 16-Carga com corrente constante-dois estágios (adaptado)[17].

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

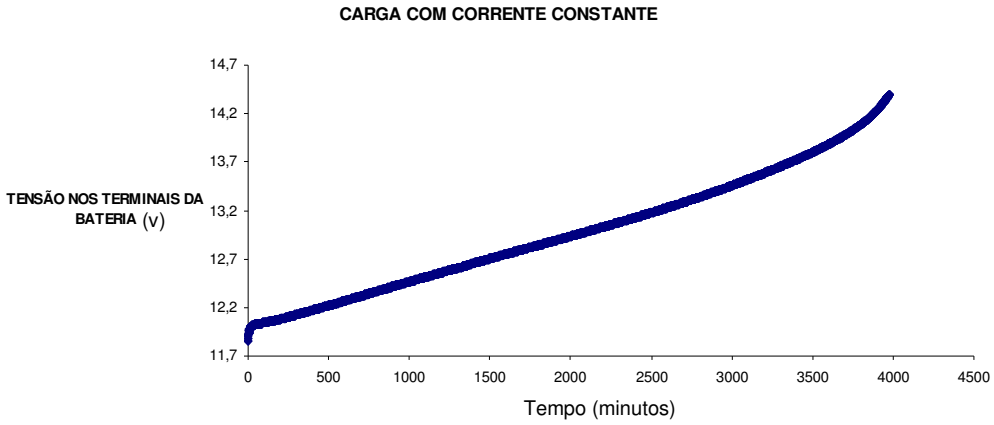

Figura 17-Carga com corrente constante – bateria A.

3.2.2. Carga com Tensão Constante

Independente do estado de carga da bateria, neste tipo de carga a tensão é mantida constante durante o processo. A corrente inicial é alta, devido à maior diferença de potencial entre a bateria e o carregador, e mínima no final da carga, diminuindo a gaseificação e o aumento de temperatura. Uma carga com tensão constante devolve aproximadamente 70% da carga à bateria nos primeiros 30 minutos, sendo útil em muitas aplicações que envolvem situações de múltiplas descargas.

Enquanto a bateria carrega, sua tensão aumenta rapidamente, provocando a diminuição rápida da corrente de carga, de forma exponencial. Em conseqüência, mesmo que a bateria obtenha boa percentagem de carga parcial rapidamente, a plena carga é um processo prolongado (Fig. 18).

Devido a este comportamento, a carga de tensão constante é encontrada, geralmente, em aplicações que permitem períodos prolongados para alcançar a plena carga. Este tipo de carga é usado em duas modalidades bem diferentes: uma carga rápida para restaurar uma percentagem de carga elevada em um tempo curto ou como carga de flutuação para minimizar os efeitos de sobrecargas nas baterias que possuem descargas não freqüentes.

A corrente final pode chegar a valores entre 1,5% e 2% da taxa de carga escolhida. O tempo real de carga depende do tempo de descarga ao qual a bateria foi submetida. A Fig. 19 mostra uma curva de carga com tensão constante obtida em um dos ensaios.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

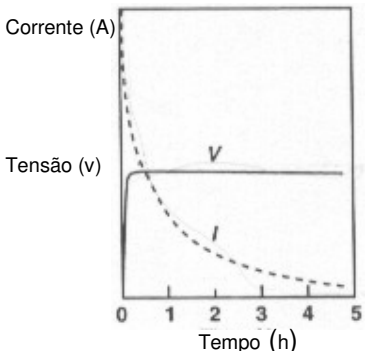

Figura 18-Carga com tensão constante [17].

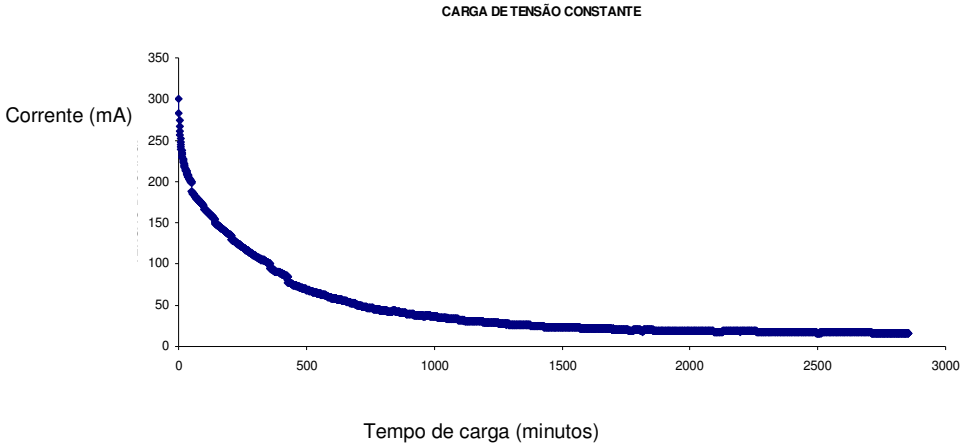

Figura 19-Carga com Tensão Constante – Bateria A.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

3.3.
Análise das fontes de incertezas da Capacidade Obtida (CO).

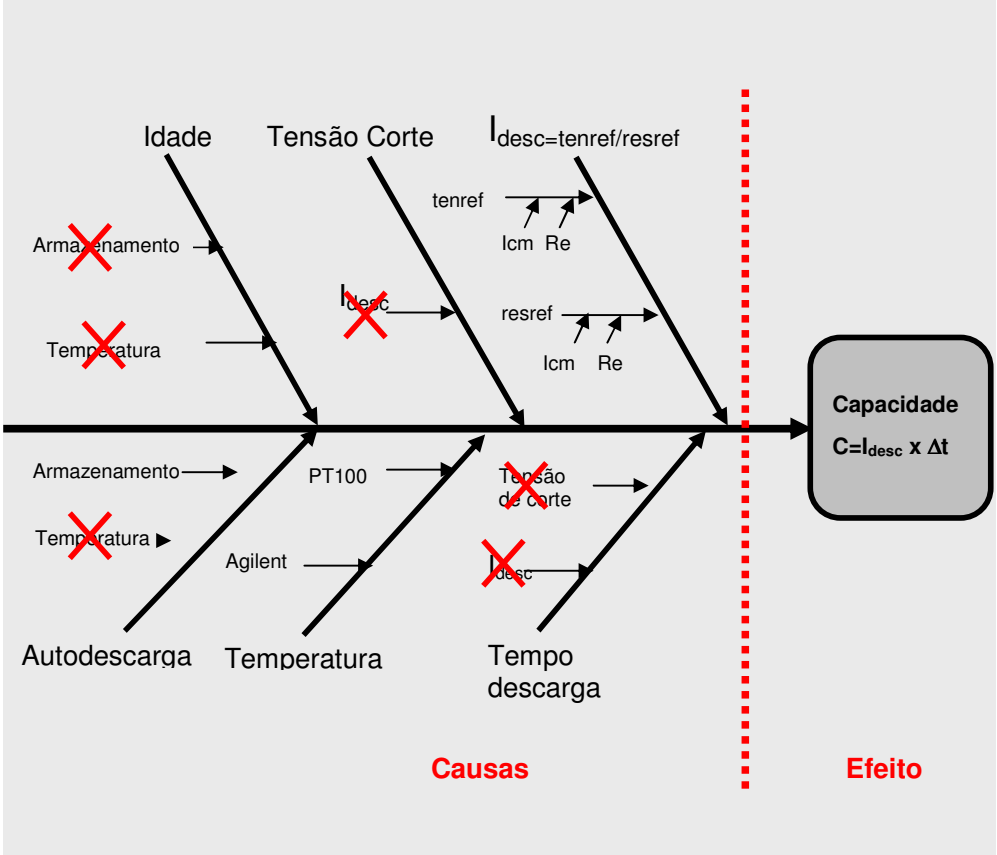

Figura 20-Diagrama de causa e efeito.

O diagrama da Fig. 20 permite uma análise qualitativa e quantitativa das componentes de incerteza do mensurando capacidade obtida (CO), de forma a melhorar os resultados experimentais associando aos mesmos uma margem de confiabilidade.

A visão do todo direcionada ao mensurando possibilita que interessados e tomadores de decisão cheguem a uma conclusão, baseada em dados específicos, e tomem consciência de que é preciso buscar mais explicações além daquelas que se pode ver, ou daquelas que são de difícil ou de impossível resolução.

Percebe-se que no diagrama de ISHIKAWA há uma interdependência entre algumas causas. Estas causas deverão ser reagrupadas de forma a garantir a máxima abrangência, evitando a duplicidade de fontes de incerteza, marcadas com um X no diagrama.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

As fontes de incertezas do mensurando Capacidade são:

- Corrente de descarga;
- Temperatura da bateria;
- Tensão de corte;
- Tempo de descarga;
- Autodescarga e;
- Idade da bateria.

3.3.1. Corrente de descarga.

O regime de descarga da bateria é diretamente proporcional à sua capacidade e inversamente proporcional à intensidade de corrente circulante no interior da mesma, ou seja, quanto maior o regime de descarga menor será a corrente de descarga e maior a capacidade da bateria.

A corrente de descarga é dependente da tensão de referência e da resistência de referência e seu modelo inclui um quociente, onde a tensão e a resistência de referência são suas componentes de incertezas.

I - Componente de incerteza resistência de referência (resref) sem redução da freqüência de aquisição (faq).

A resistência de referência tem como componentes de incertezas:

1-Repetitividade (Re) dos valores observados da resistência de referência: incerteza do tipo A;

Influencia aleatoriamente a incerteza. Resulta das medições repetidas do valor da resistência de referência no ensaio de capacidade. O desvio padrão experimental da resistência de referência (s($resref$)) e a média aritmética desta mesma resistência ($\overline{resref}$) são calculados com o auxílio do programa MATLAB e das eq. (8) e (9), respectivamente, para uma população de n medidas. O número de graus de liberdade envolvido é: $\nu = n - 1$.

2-Incerteza do multímetro Agilent 34970 A (em função do tempo decorrido após calibração);

Erros detectados em função do tempo decorrido após calibração: incerteza do tipo B.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

Resulta dos valores contidos no manual do multímetro Agilent 34970A. Os efeitos desta fonte são estimados tendo por base dados existentes no referido manual, admitindo-se tempo decorrido de 1 ano após calibração e com temperatura operacional normal de 23ºC ± 5ºC. Assume-se como uma **distribuição retangular**.

O erro de leitura compensa a inexatidão resultante da função e da seleção da escala, bem como do nível do sinal de entrada. Este erro varia de acordo com o nível de entrada sobre a escala selecionada. O erro é expresso como percentagem da leitura.

O erro de escala, assim como o erro de leitura, compensa a inexatidão resultante da função e da escala selecionada. O erro de escala contribui com um erro constante, expresso como uma porcentagem da escala, independente do sinal de entrada.

Para computar o erro total (% de leitura + % de escala) pode-se converter o erro total de medida como porcentagem da entrada.

O respectivo erro total de medida para a faixa de medição de resistência [18] a um determinado nível de sinal de entrada e de escala é calculado da seguinte forma:

$$ETM = \left(\frac{\%leitura\ x\ \text{sin}al\ de\ entrada}{100} + \frac{\%escala\ x\ valor\ \ fim\ escala}{100} \right) \qquad (19)$$

$$Icm = \frac{1}{2} ETM \qquad (20)$$

3-Incerteza do multímetro Agilent 34970A (em função da temperatura);

Erros detectados em função da temperatura do local da medição ser diferente da temperatura na qual a calibração foi realizada: incerteza do tipo B.

Como a temperatura no local da medição se manteve dentro do limite de estabilidade de temperatura do multímetro Agilent 34970A (23ºC ± 5ºC) após 1 ano da data de calibração, nenhuma componente de incerteza adicional é introduzida.

4-Cálculo da Incerteza combinada total da resistência de referência (resref);

Estimativa da incerteza combinada para a resistência de referência sem redução da freqüência de aquisição, calculada de acordo com a eq. (15), é:

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

$$u(resref) = \sqrt{(u(\mathrm{Re}))^2 + (u(Icm))^2} \quad (21)$$

É aconselhável calcular a incerteza expandida somente no final dos cálculos do mensurando.

II - Componente de incerteza da tensão de referência (tenref) sem redução da freqüência de aquisição (faq.).

À tensão de referência é acrescido o valor das seguintes fontes de incertezas:

1-Repetitividade (Re) dos valores observados da tensão de referência: incerteza do tipo A;

Influencia aleatoriamente a incerteza. Resulta das medições repetidas do valor da tensão elétrica contínua de referência no ensaio de capacidade. O desvio padrão experimental ($s(tenref)$) e a média aritmética ($\overline{tenref}$) são calculados com o auxílio do software MATLAB e das eq. (8) e (9), respectivamente, para uma população de n medidas. O número de graus de liberdade envolvido é: $\nu = n - 1$.

2-Incerteza do multímetro Agilent 34970A (em função do tempo decorrido após calibração);

Erro detectado em função do tempo decorrido após calibração. Incerteza do tipo B. O manual apresenta o respectivo erro total de medida para a faixa de medição de tensão elétrica contínua, a um determinado nível de sinal de entrada e de escala, calculado de acordo com as eq. (19) e (20).

3-Incerteza do multímetro Agilent 34970A (em função da temperatura);

Erros detectados em função da temperatura do local da medição ser diferente da temperatura na qual a calibração foi realizada: incerteza do tipo B.

Como a temperatura no local da medição se manteve dentro do limite de estabilidade de temperatura do multímetro Agilent 34970A (23ºC ± 5ºC) após 1 ano da data de calibração, nenhuma componente de incerteza adicional é introduzida.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

4-Cálculo da incerteza combinada total da tensão de referência (tenref.).

Estimativa da incerteza combinada para a tensão de referência sem redução da freqüência de aquisição, calculado de acordo com a eq. (15):

$$u(tenref) = \sqrt{(u(\mathrm{Re}))^2 + (u(Icm))^2} \tag{22}$$

É aconselhável calcular a incerteza expandida somente no final dos cálculos do mensurando.

III - Componente de incerteza I_{desc} sem redução da freqüência de aquisição (faq.).

Para cálculo da incerteza combinada da corrente de descarga (eq. 16) tem-se uma medição indireta através da lei de Ohm:

$$i_{desc} = \frac{tenref}{resref} \tag{23}$$

$$\frac{u(I_{desc})}{I_{desc}} = \sqrt{\left(\frac{u(tenref)}{tenref}\right)^2 + \left(\frac{u(resref)}{resref}\right)^2} \tag{24}$$

3.3.2. Temperatura da bateria.

Em um sistema de energia fotovoltaico as baterias normalmente são submetidas a baixos regimes de carga e descarga. A corrente é, conseqüentemente, pequena e o calor gerado por efeito joule também. Neste caso, a temperatura interna da bateria também é considerada pequena e igual à temperatura do banho termostatizado. Não há a necessidade, portanto, de controle da temperatura interna da bateria. É suficiente o controle exercido no banho termostatizado através do controlador de temperatura e do termômetro PT100.

O termômetro PT100 foi utilizado no experimento por ser baseado em um transdutor RTD de platina que funciona em uma larga faixa de utilização, possui alta exatidão e tem grande estabilidade. Esta estabilidade mantém e reproduz as características do termômetro, resistência e temperatura, dentro da faixa especificada de operação. Um outro fator é a repetibilidade deste transdutor, que caracteriza a confiabilidade da termoresistência.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

A relação entre a temperatura ambiente, o tempo de carga, a autonomia e a vida útil da bateria podem ser resumidos como: quanto menor a temperatura ambiente, menor será o tempo de carga e a autonomia das baterias e maior sua vida útil.

A capacidade da bateria cresce sensivelmente em temperaturas acima de 21,1ºC ou 70ºF, na razão de 0,5% por grau Fahrenheit [19].

O aumento da temperatura altera a velocidade das reações químicas envolvidas no processo de corrosão das placas, interferindo na vida da bateria. Geralmente, um aumento de 10ºC na temperatura eleva a taxa de reação em duas vezes, o que ocasiona uma redução por um fator de dois do tempo de vida da bateria, para condições normais de operação [20].

É aconselhável consulta ao manual do fabricante, antes de qualquer tomada de decisão.

À temperatura do banho é acrescido o valor das seguintes fontes de incerteza:

1-Repetitividade (Re) dos valores de resistências observados pelo termômetro PT100: incerteza do tipo A;

Influencia aleatoriamente a incerteza. Resulta das medições repetidas do valor da resistência de referência no ensaio de capacidade. O desvio padrão experimental (s($PT100$)) e a média aritmética ($\overline{PT100}$) são calculados com o auxílio do software MATLAB e das eq. (8) e (9), respectivamente, para uma população de n medidas. O número de graus de liberdade envolvido é: $\nu = n - 1$.

2-Incerteza do multímetro Agilent 34970A;

Erros detectados em função do tempo decorrido após calibração. Incerteza do tipo B. Resulta dos valores contidos no manual do multímetro Agilent 34970A que apresenta o respectivo erro total de medida para a faixa de medição de tensão elétrica contínua, a um determinado nível de sinal de entrada e de escala, calculado de acordo com as eq. (19) e (20).

3-Incerteza do multímetro Agilent 34970A (em função da temperatura);

Erros detectados em função da temperatura do local da medição ser diferente da temperatura na qual a calibração foi realizada: incerteza do tipo B.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

Como a temperatura no local da medição se manteve dentro do limite de estabilidade de temperatura do multímetro Agilent 34970A (23ºC ± 5ºC) após 1 ano da data de calibração, nenhuma componente de incerteza adicional é introduzida.

4-Incerteza da calibração do termômetro de platina PT100;

O efeito desta fonte é estimado tendo por base dados já existentes decorrentes de uma calibração previamente realizada e apresentada no certificado de calibração no anexo A. Neste certificado a incerteza padrão para a faixa de temperatura do banho é de 0,01ºC.

Esta fonte de incerteza é considerada como incerteza do tipo A.

I - Contribuição da componente temperatura para o mensurando.

Estimativa da incerteza combinada para a temperatura, calculada de acordo com a eq.(16):

$$u(\mathrm{Re};Icm) = \sqrt{(u(\mathrm{Re}))^2 + (u(Icm))^2} \qquad (25)$$

Depois de calcular $u(\mathrm{Re};Icm)$ em ohms, existe a necessidade de transformá-la em graus Celsius, da seguinte forma:

- Calcular o limite superior (RS) e limite inferior (RI) da temperatura média calculada para o banho termostatizado em ohm (Ω), ou seja, $\left(\overline{\mathrm{PT100}} \pm \mathrm{u}(\mathrm{Re};\mathrm{Icm})\right)$
- Através da eq. (28) [21] calculam-se as temp. (RS) e temp. (RI), substituindo RS e RI em R,
- Subtrair a temp. (RS) da temp. (RI) e dividir o resultado por dois.

O resultado será a incerteza combinada devido à repetitividade e ao medidor, em ºC.

RS = $\overline{PT100} + u(\mathrm{Re};Icm)$ (26)

RI = $\overline{PT100} - u(\mathrm{Re};Icm)$ (27)

$$\text{temp.} = \frac{\frac{R}{R0} - 1}{\alpha} = \ ^{\circ}\mathrm{C} \qquad (28)$$

R0 (indicação do PT100 a 0ºC) = 99,9982Ω

α = número que expressa a variação da resistência em função da temperatura

α = 0,00392 $^{\circ}\mathrm{C}^{-1}$

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

$$u(\mathrm{Re};Icm) = \frac{1}{2} \times \left(\frac{\frac{RS}{R0} - 1}{\alpha} - \frac{\frac{RI}{R0} - 1}{\alpha} \right) \quad (ºC) \qquad (29)$$

Combinar as incertezas $u(\mathrm{Re};Icm)$ e $u(Incalib)$ em ºC, da seguinte forma:

$$u(\text{temp.}) = \sqrt{\left(u(\mathrm{Re};Icm)^2\right) + \left(u\left(Incalib^2\right)\right)} \qquad (30)$$

3.3.3. Tensão de corte.

A tensão de corte é o valor da tensão que determina o momento em que a descarga deve ser interrompida.

As condições operacionais, como exemplo; utilização da bateria em um sistema fotovoltaico, é um dos parâmetros de especificação do valor da tensão de corte, assim como pode ser determinada pelo fabricante.

A tensão de corte depende da corrente de descarga, e não pode ultrapassar o valor especificado para ela, sob risco de danificar irreversivelmente a bateria ou diminuir sua vida útil.

Quanto menor o regime de descarga, menor o valor da tensão de corte.

3.3.4. Tempo de descarga.

O tempo de descarga depende da tensão de corte e da corrente de descarga.

3.3.5. Autodescarga.

É causada por reações indesejáveis nas placas positivas e negativas.

Quando uma bateria fica sem utilização por um determinado tempo, seja qual for o motivo, ocorre a autodescarga que é um processo natural de perda de capacidade. A temperatura, neste caso, é um acelerador do processo. Um ambiente com temperatura controlada pode amenizar o problema.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

A autodescarga é decorrente das características físicas da bateria, entretanto, dependendo dos materiais utilizados em sua fabricação a bateria pode ter uma autodescarga maior ou menor.

A recarga geralmente recupera a capacidade perdida por autodescarga, desde que a bateria não tenha ficado muito tempo sem receber carga. Este tempo é dependente do tipo da bateria e pode acelerar os processos de corrosão e de sulfatação, irreversível nas placas.

Com o tratamento prévio esta componente de incerteza adicional não é introduzida.

3.3.6.
Idade da bateria.

O envelhecimento da bateria reduz permanentemente a capacidade. Este envelhecimento está diretamente relacionado com a forma de armazenamento e temperatura de armazenamento ou operação.

Uma forma de evitar o envelhecimento da bateria é controlar sua temperatura de operação, evitar sobrecarga e sobredescargas, e manter o seu estado de carga, etc.

3.3.7.
Incerteza de medição do mensurando sem redução da freqüência de aquisição (faq.).

Para fins de combinação das fontes de incerteza do mensurando, o modelo matemático é o seguinte:

$$U(CO)=COx\sqrt{\frac{u(I_{desc})}{I_{desc}}+\frac{u(\Lambda t)}{\Lambda t}+u(temp)^2+u(autodesc)^2+u(idade)^2+u(tencorte)^2} \quad (31)$$

U(CO) = 2 * uc(CO) para um nível de confiabilidade 95,45%

3.3.7.
Correção da capacidade da bateria

Devido à grande influência da temperatura na capacidade da bateria, esta deverá ser corrigida algebricamente, para temperaturas acima de 21,1ºC, na razão de 1% para cada grau Celsius.

Temperatura de operação da bateria = Tb (ºC)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

Temperatura calculada do banho termostatizado (temp) = ($\overline{PT100}$ ± U (temp.))ºC

Limite superior da temperatura do banho termostatizado temp.(LS) = (temp. + U (temp.)) ºC

Limite inferior da temperatura do banho termostatizado temp.(LI) = (temp. – U (temp.)) ºC

Capacidade calculada no ensaio = (CO ± U (CO)) Ah

Variação da temperatura ($temp._{Corr}$) = ((Tb - (temp.(LS)) + (Tb - (temp.(LS)))))/2

Para cada ºC de variação da temperatura da bateria, a capacidade (100Ah) varia na ordem de 1Ah, logo, $temp._{Corr}$ Ah de variação na capacidade.

Capacidade corrigida = (CO + $temp._{Corr}$ ± U (CO)) Ah (32)

3.3.8. Circuito equivalente da bateria

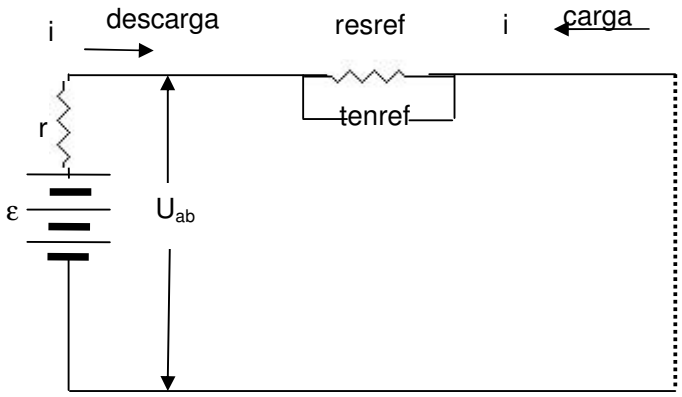

Figura 21-Circuito equivalente da bateria

No circuito equivalente da bateria representado na Fig. 21, quando a bateria está carregando ela funciona como um receptor (eq. 4) e quando está descarregando (eq. 5) funciona como um gerador.

$U_{AB} = \varepsilon + ri_{carga}$ (motor)

$U_{AB} = \varepsilon - ri_{desc}$ (gerador)

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

3.4.

Procedimentos preliminares

Ao receber a bateria no laboratório, para ensaio, seguiu-se o seguinte roteiro:

I. Montou-se, conforme Fig. (22) e (23), uma bancada de ensaio de acordo com os procedimentos de etiquetagem de bateria do Programa Brasileiro de Etiquetagem.

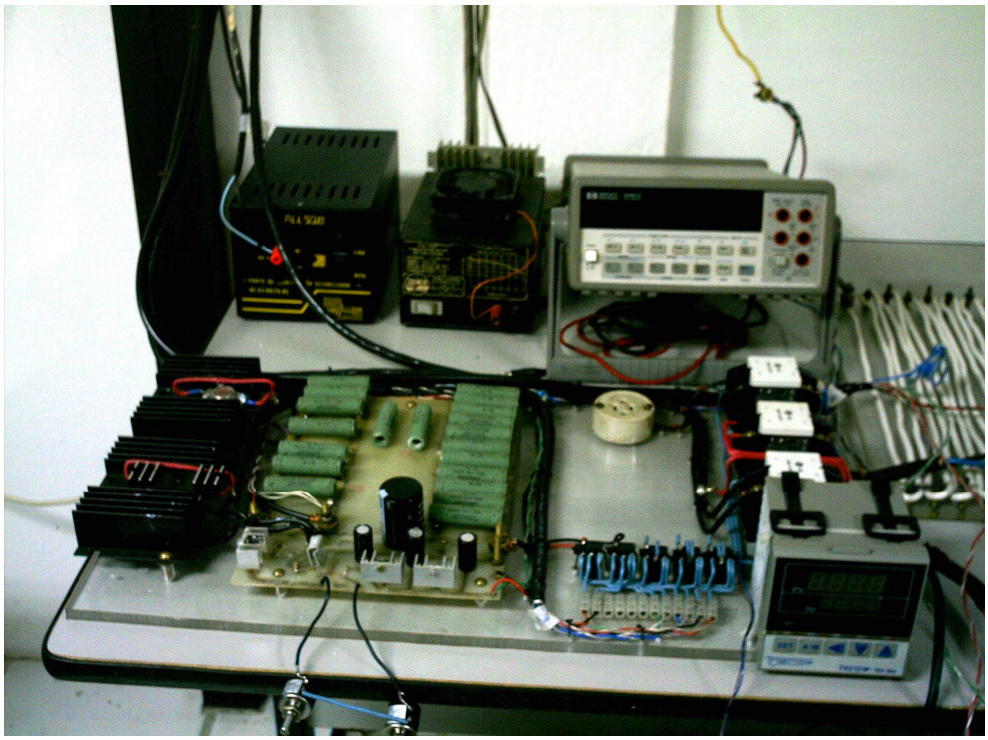

Figura 22-Foto da bancada.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

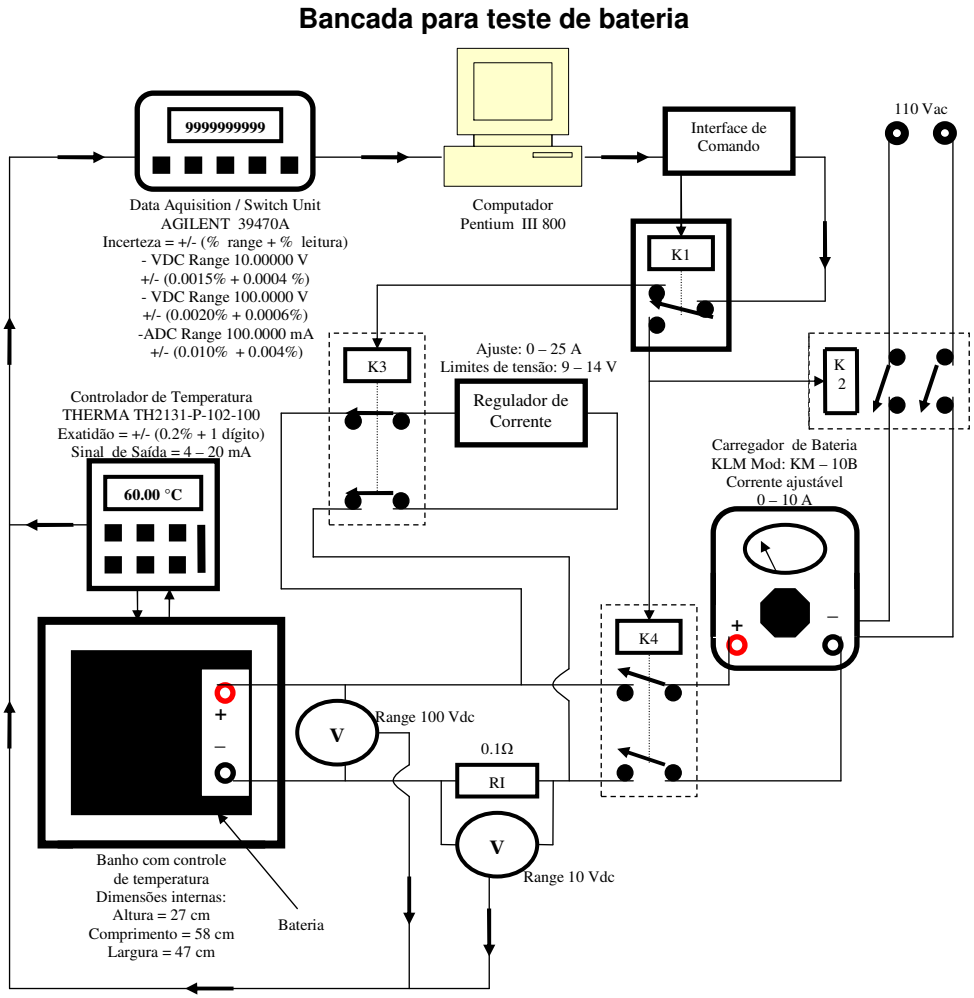

Figura 13- Esquema da bancada

II. Verificou-se a existência da etiqueta de identificação da bateria (fig. 24);

III. Conferiu-se se todas as informações necessárias ao ensaio se encontram na etiqueta;

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

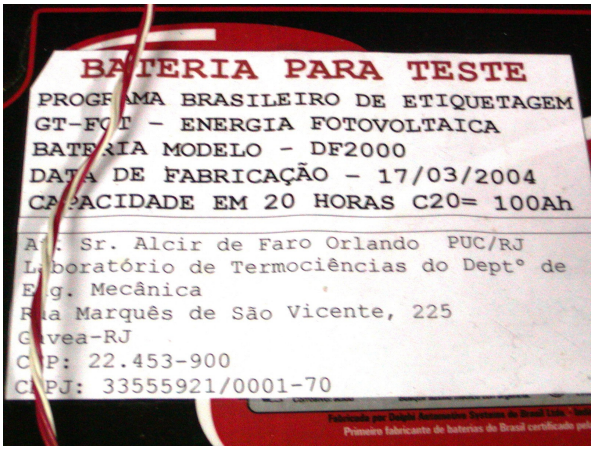

Figura 24-Etiqueta de identificação da bateria.

IV. Verificou-ser se a bateria está acompanhada de toda documentação;
V. Identificou-se visualmente a polaridade da bateria segundo a simbologia [+ -] impressa em baixo ou alto relevo sobre a caixa da bateria;
VI. Verificou-se a polaridade com um multímetro;
VII. Uniu-se o terminal com um fio, conectou-se o terminal na bateria e fixou-se o parafuso com uma arruela e porca. O fio/parafuso/terminal devem ficar firmemente unidos;
VIII. Colocou-se a bateria dentro do banho termostatizado (Fig. 25);

Figura 25-Bateria dentro do banho termostatizado.

IX. Dentro do recipiente com banho termostatizado colocou-se um termômetro PT100 para registro da temperatura do banho, que por sua vez é controlada por um controlador de temperatura TH 2131P – THERMA (Fig. 26).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

Figura 26-Controlador de temperatura TH2131P – THERMA.

X. Montou-se uma resistência de referência para descarga (Fig. 27).

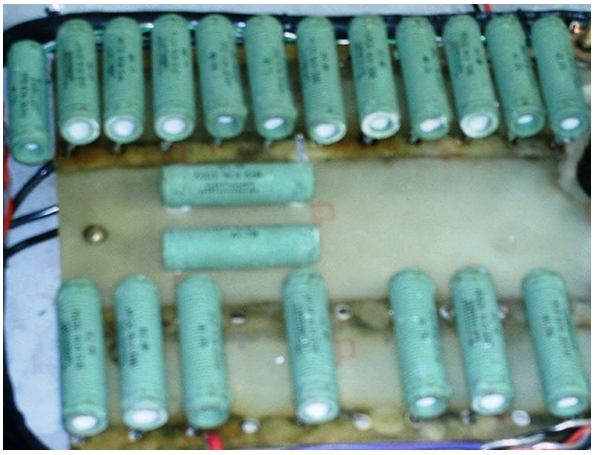

Figura 27-Resistência de referência compatível com o regime de descarga do ensaio.

XI. Montou-se uma resistência de referência para carga (Fig. 28).

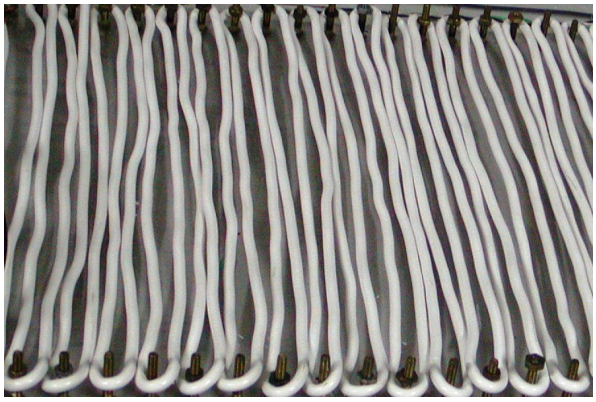

Figura 28-Resistência de referência compatível com o regime de carga do ensaio.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

XII. Conectou-se à bancada um sistema de aquisição de dados: um multímetro AGILENT 34970 A (unidade de aquisição de dados, Fig. 29), e um computador com programa LABVIEW;

Figura 29-Multímetro AGILENT 34970A -Data Acquisition/Switch Unit.

3.5. Ensaio da bateria A.

A bateria A foi ensaiada conforme procedimento do anexo C, vigente à época do ensaio.

3.5.1. Tratamento Prévio.

3.5.1.1. Procedimentos da descarga.

I. Colocou-se a bateria em um banho termostatizado, conforme esquema do procedimento do anexo C. Não há, no procedimento, nenhuma referência quanto ao valor da temperatura do banho termostatizado neste item, apenas citam uma faixa de estabilidade de ±2ºC.
II. Calculou-se a corrente para uma taxa de descarga de C_{20};
III. Mediu-se a resistência de referência para descarga;
IV. Ligou-se a fonte de tensão;
V. Todas as medidas do multímetro AGILENT 34970 A, foram ajustadas para 6 1/2 dígitos;
VI. Os canais e as portas da interface de comando para automação (5 canais) foram configurados;
VII. Iniciou-se a descarga;
VIII. Quando a tensão da bateria atingiu o valor de 1,75 x número de elementos, ou seja, 10,5V, a descarga foi automaticamente interrompida.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

IX. Mediu-se novamente a resistência de referência para descarga.

3.5.1.2. Procedimento de carga.

I. Após término da descarga, mediu-se a resistência de referência para carga;
II. Usou-se a mesma corrente usada na descarga;
III. Ligou-se a fonte de tensão;
IV. Todas as medidas do multímetro AGILENT 34970A, foram ajustadas para 6 1/2 dígitos;
V. Os canais e as portas da interface de comando para automação (5 canais) foram configurados;
VI. Iniciou-se a carga;
VII. Após atingir a tensão 2,4 x número de elementos, ou seja, 14,4V manteve-se a carga por pelo menos mais 24h e observou-se se a corrente final de carga manteve-se estável (dentro de $\approx \pm$ 2%) por três leituras consecutivas, tomadas em intervalos de 1h. Somente após este procedimento desligou-se a carga.

3.5.2. Ensaio de Capacidade.

I. Ajustou-se a temperatura do banho para 25ºC $\pm$ 2ºC, colocou-se a bateria neste banho com as respectivas distâncias que constam do procedimento do anexo C;
II. Manteve-se a bateria por no mínimo 12 horas em repouso;
III. Verificou-se o estado de carga da bateria (não estando à plena carga deve-se recarregar seguindo o procedimento do tratamento prévio);
IV. Ajustou-se a corrente de carga igual a I_{20};
V. Descarregou-se a bateria até que atingiu a tensão de corte estipulada em 1,75 x número de elementos;
VI. Todos os dados foram ser registrados;
VII. Calculou-se a capacidade obtida de acordo com o item 2.6.2.

Os resultados experimentais dos ensaios estão descritos no capítulo 4.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

3.5.3.
Ensaio de Durabilidade

Preparação

I. Ajustar a temperatura do banho para 60ºC ± 2ºC, colocar a bateria neste banho com as respectivas distâncias que constam do procedimento do anexo C;
II. Manter a bateria por no mínimo 12 horas em repouso;
III. Ajustar a corrente de descarga igual a I_{10} , caso o fabricante não forneça a capacidade nominal em C_{10}, assumir a corrente de descarga como C_{20} x 0,09;
IV. Descarregar, com esta corrente, por 5h, ou até que a bateria atinja 1,5V por elemento, quando a descarga deve ser interrompida por motivo de segurança;
V. Promover a recarga da bateria com corrente constante e igual à corrente de descarga por 6h e 15minutos, sem limite de tensão;
VI. Deixar a bateria em repouso e sem carga;
VII. Reiniciar o ciclo e repetir o procedimento por 40 vezes;
VIII. Após 40 ciclos, colocar o banho à temperatura ambiente (25 ± 2)ºC por 24 horas e, somente quando a bateria estiver à plena carga, avaliar sua capacidade, que deverá ser maior ou igual a 80% da nominal.

Ensaio de descarga de longa duração

I. Recarregar plenamente a bateria;
II. Ajustar a corrente de descarga igual a (C_{20} x 1,1)/120;
III. Descarregar, com esta corrente, por 120h, ou até que a bateria atinja 1,5V por elemento, quando a descarga deve ser interrompida por motivo de segurança;
IV. Caso a bateria venha a atingir o valor de 1,75V por elemento antes das 120 h, finalizar o ensaio.
V. Recarregar a bateria com tensão ou corrente constante até a plena carga.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

3.6.
Ensaio da bateria B.

3.6.1.
Tratamento prévio.

A bateria B foi ensaiada conforme procedimento do PBE, constante do anexo D.

Neste novo procedimento a temperatura e o nível da água do banho termostatizado passam a ser controlados já no tratamento prévio e 16 horas de repouso foram acrescentado a este teste preliminar.

O período de repouso é necessário para homogeneização do eletrólito, evitando assim que a temperatura tenha uma evolução contínua durante a operação de carga e descarga.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

3.6.1.1.
Procedimentos da descarga.

I. Ajustou-se a temperatura do banho para 25ºC ± 2ºC, colocou-se a bateria neste banho com as respectivas distâncias que constam do procedimento do anexo D;
II. Manteve-se a bateria nestas condições por 16 horas;
III. Calculou-se a corrente de descarga para uma taxa de C_{20};
IV. Mediu-se a resistência de referência para descarga;
V. Ligou-se a fonte de tensão;
VI. Todas as medidas do multímetro AGILENT 34970A, foram ajustadas para 6 1/2 dígitos;
VII. Os canais e as portas da interface de comando para automação (5 canais) foram configurados;
VIII. Iniciou-se a descarga;
IX. Quando a tensão da bateria atingiu o valor de 1,75 x número de elementos, ou seja, 10,5V, a descarga foi automaticamente interrompida.
X. Mediu-se novamente a resistência de referência para descarga;

3.6.1.2.
Procedimento de carga.

I. Após término da descarga, mediu-se a resistência de referência para carga;
II. Usou-se a mesma corrente da descarga;
III. Ligou-se a fonte de tensão;
IV. Todas as medidas do multímetro AGILENT 34970A, foram ajustadas para 6 1/2 dígitos;
V. Os canais e as portas da interface de comando para automação (5 canais) foram configurados;
VI. Iniciou-se a carga;
VII. Após atingir a tensão 2,4 x número de elementos, ou seja, 14,4V, a carga foi mantida em tensão constante por 24h.

Após os três (3) primeiros ciclos do tratamento prévio a bateria apresentava uma capacidade bem abaixo da nominal. Diante da baixa capacidade apresentada, o procedimento para o 4º ciclo foi modificado de forma a deixar que a bateria ficasse o tempo que fosse necessário para chegar à plena carga de acordo com o procedimento do anexo C, calculando-se a capacidade obtida a seguir. A bateria continuou com baixa capacidade. O procedimento do anexo D, o qual a bateria B foi submetida inclui, no subitem relativo à carga da bateria, a opção de se consultar o fabricante quanto à tensão a ser adotada por elemento. Acrescentou-se, por sugestão do representante do fabricante um 5º ciclo, cujo procedimento é carregar a bateria com 2,6V por elemento, mantendo a corrente constante. Estes resultados encontram-se no capítulo 4.

3.6.2.
Ensaio de Capacidade.

I. Manteve-se a bateria por 4 horas em repouso, após a realização do tratamento prévio;
II. Conectou-se a carga pré-ajustada em I_{20}, todos os parâmetros de início do ensaio foram anotados e registrou-se, continuamente, todos os dados de interesse durante todo o procedimento, até que a bateria atingiu 10,5V ou 1,75V por elemento;
III. Calculou-se a capacidade obtida de acordo com o item 2.6.2. (como requisito a bateria deverá apresentar capacidade igual ou maior que 95% da capacidade fornecida pelo fabricante).

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

Os resultados experimentais dos ensaios estão descritos no capítulo 4.

3.6.3.
Ensaio de Durabilidade

Preparação

I. Ajustar a temperatura do banho para 40ºC ± 3ºC, colocar a bateria neste banho com as respectivas distâncias que constam do procedimento do anexo C;
II. Inicialmente carregar a bateria plenamente e depois condicioná-la nesta temperatura por no mínimo 16 horas;
III. Descarregar a bateria com uma corrente I_{10} e, caso o fabricante não forneça a capacidade C_{10}, assumir a corrente de descarga como numericamente igual a C_{20} x 0,09 mantendo-a por 7h e 30m ou até que a bateria atinja 1,5V por elemento, quando a descarga deve ser interrompida por motivo de segurança;

Fase A

I. Promover a recarga da bateria com corrente constante e igual a 1,03 x I_{10} por 3h;
II. Descarregar a bateria com uma corrente igual a I_{10} durante 3h;
III. Reiniciar o ciclo e repetir o procedimento por 40 vezes;
IV. Repetir os ciclos descritos no item I e II, desta fase, 49 vezes. Depois dos 49 ciclos, recarregar totalmente a bateria.

Fase B

I. Descarregar a bateria durante 2 h com corrente constante de 1,25 × I_{10} A;
II. Após o período de descarga promover a recarga da bateria com corrente constante de I_{10} e limite de tensão em 2,40V durante 6h, a menos que o fabricante apresente uma especificação diferente;
III. Repetir os ciclos descritos nos itens I e II, desta fase, 100 vezes;
IV. Após a realização dos ciclos descritos nas Fases A e B acima, deixar a bateria em repouso à temperatura ambiente (25± 2ºC) por 24 horas;

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA

V. Carregar a bateria com uma corrente igual a I20 até que a tensão em seus terminais atinja 2,40 V por elemento, a menos que o fabricante apresente uma especificação diferente;
VI. Após atingir a tensão mencionada no item V, manter a carga em tensão constante durante 24h.
VII. Deixar a bateria em repouso durante 4 horas.
VIII. Conectar então a carga (pré-ajustada em $C_{20}/20$)/ I20, anotar o dia e a hora (hhmmss) de início do ensaio e, deste momento em diante, registrar, durante todo o procedimento, os parâmetros de corrente, tensão, tempo e temperatura até que a bateria atinja a tensão de final de descarga (1,75 V vezes o número de elementos).
IX. Anotar o dia e a hora (hhmmss) de término do ensaio.
X. Como requisito, a capacidade obtida deverá ser igual ou superior a 80% da Capacidade Nominal.

PUC-Rio - Certificação Digital Nº 0321296/CA