



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

GMI 16
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

**GRUPO XII
GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO EM INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS – GMI**

**METODOLOGIAS DE BAIXO RISCO PARA AVALIAÇÃO DE BATERIAS CHUMBO-ÁCIDAS
ESTACIONÁRIAS REGULADAS POR VÁLVULAS INSTALADAS EM SUBESTAÇÕES DA CHESF**

**Miguel C. Medina Pena Carlos A. Trajano
CHESF – COMPANHIA HIDROELÉTRICA DE SÃO FRANCISCO**

**M. Fátima N. C. Rosolem * Raul F. Beck Luiz A. Soares Paulo E. dos Reis Cardoso
CPqD – CENTRO DE PESQUISA E DESINVOLVIMENTO EM TELECOMUNICAÇÕES**

RESUMO

As baterias são elementos vitais na confiabilidade de uma Subestação, pois é através da mesma que todo o comando, proteção, controle, telecomunicação e supervisão são alimentados numa falha de energia. Para tanto, a bateria deve estar sempre em condição de operação adequada, sendo imprescindível conhecer o seu estado de degradação

O CPqD e a Chesf desenvolveu um projeto de P&D para estudo de metodologias baseadas na medição resistência ôhmica interna da bateria para serem empregadas na avaliação do estado de degradação das baterias chumbo-ácidas estacionárias instaladas nas subestações da Chesf. Este trabalho apresenta os resultados obtidos neste estudo.

PALAVRAS-CHAVE

Baterias Chumbo-ácidas Estacionárias; Medições de Resistência Interna de Baterias, condutância, impedância, confiabilidade

1.0 - INTRODUÇÃO

A bateria chumbo-ácida foi descoberta por Planté em 1860 e, até o momento, continua sendo a solução dominante em aplicações estacionárias, do ponto de vista técnico e financeiro, na utilização como reserva de energia para ocasiões de falha ou transitório no suprimento da energia em corrente alternada, tornando-se elemento vital na confiabilidade e disponibilidade dos sistemas de supervisão e controle e demais equipamentos eletroeletrônicos dos serviços auxiliares existentes nas subestações das empresas de energia elétrica.

Até o início da década de 90 o mercado brasileiro era dominado exclusivamente pelas baterias chumbo-ácidas ventiladas. Entre 1995 e 1998 começou a ser introduzida em algumas empresas do setor elétrico a bateria chumbo-ácida regulada por válvula (VRLA - Valve Regulated Lead Acid), a qual possui patente desde 1973 e cuja fabricação comercial iniciou-se em 1980 nos EUA.

A bateria chumbo-ácida ventilada é composta por placas positivas de peróxido de chumbo e placas negativas de chumbo metálico, tendo como eletrólito uma solução aquosa de ácido sulfúrico. A bateria chumbo-ácida regulada por válvula (VRLA) possui a mesma composição da bateria ventilada, no entanto o ácido sulfúrico é mantido

imobilizado por uma matriz gelificante (tipo gel) ou utilizando entre as placas um separador a base de micro fibra de vidro (tipo absorvido).

A manutenção da bateria ventilada é efetuada através da leitura de tensão, temperatura do eletrólito, densidade do ácido e reposição de água. Seu vaso é fabricado com acrílico transparente, possibilitando fácil inspeção visual interna e a imediata identificação de eventuais degradações.

O vaso da bateria VRLA é de plástico ABS não transparente e sua tampa incorpora uma válvula reguladora de pressão que abre para permitir o alívio quando uma determinada pressão interna é atingida. Para evitar a entrada de ar (no interior da bateria) que acarreta o desequilíbrio interno do ciclo do oxigênio, podendo levar à oxidação da placa negativa da bateria, não é permitido a retirada desta válvula. Desta forma, na sua manutenção só podem ser efetuadas as leituras de tensão e temperatura externa do vaso, informações estas que não relatam com precisão o verdadeiro estado da bateria.

O método tradicional para avaliação de bancos de baterias ventiladas ou reguladas por válvula é o ensaio de capacidade, o qual revela o quanto de reserva energética a bateria possui. O mesmo é conduzido através de uma descarga da bateria durante um tempo não inferior a 3 horas. Durante este período é necessária a desconexão da bateria do sistema de energia, o que, além de deixar todo o sistema de operação e supervisão da subestação sem reserva de energia durante cerca de 24 hs, também contribui para a diminuição da vida útil da bateria. Toda a condução deste ensaio requer o acompanhamento de um técnico. Nos últimos 10 anos, tem-se observado um esforço mundial na busca por outras metodologias que possam avaliar o estado de degradação das baterias num curto período de tempo, sem a necessidade de desconectá-las dos equipamentos consumidores, e também que não contribua para seu envelhecimento precoce. Uma das metodologias que vem sendo muito pesquisada é a avaliação da medição ôhmica interna da bateria.

O CPqD e a Chesf desenvolveu um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) para estudo de metodologias baseadas na medição resistência ôhmica interna da bateria (condutância e impedância) para serem empregadas na avaliação do estado de degradação das baterias chumbo-ácidas ventiladas e reguladas por válvula instaladas nas subestações da Chesf. A nova metodologia busca também reduzir substancialmente os recursos logísticos, não provocar o aceleramento da perda de vida útil da bateria, obter maior confiabilidade e reduzir significativamente os custos da manutenção quando comparado com as metodologias tradicionais.

Para o desenvolvimento deste estudo, foram selecionadas sete subestações, sendo 02 de classe 500kV e 05 de 230kV, compostas por baterias de cinco diferentes fabricantes, onde medições periódicas foram realizadas ao longo de um ano. Em cada banco foram efetuadas, com a bateria em operação, medidas de impedância e condutância, sendo que em alguns bancos foram realizados testes de capacidade em regime de descarga de 5 horas.

2.0 - SISTEMÁTICA DE DESENVOLVIMENTO DA PESQUISA

Para o desenvolvimento deste estudo, foram selecionadas sete subestações, sendo 02 de classe 500kV e 05 de 230kV, contendo baterias de cinco diferentes fabricantes, onde medições periódicas foram realizadas ao longo de um ano. Em cada banco foram efetuadas, com a bateria em operação, medidas de impedância e condutância, sendo que em alguns bancos foram realizados testes de capacidade em regime de descarga de 5 horas. Em cada banco de bateria foram realizadas duas avaliações num intervalo de 6 meses. A localização das Subestações e características das baterias avaliadas estão relacionadas na Tabela 1.

TABELA 1- Localização das Subestações

Subestação	Fabricante da Bateria	Tipo da Bateria	Data de Fabricação (mês e ano)
Bongi (Recife)	A	VRLA	03/04
Bongi (Recife) GGE	B	Ventilada	02/04
Recife II (Jaboatão) - CS	A	Ventilada	02/04
Recife II (Jaboatão) - 500kV	A	VRLA	05/01
Pau Ferro (Recife)	C	VRLA	04/01
Luiz Gonzaga (Itaparica)	D	VRLA	11/98
Campina Grande	A	VRLA	01/01
COS (Recife) Telecom	A	VRLA	04/04
Mussuré (João Pessoa)	E	VRLA	03/03
Mussuré (João Pessoa)	E	VRLA	03/03

2.1 – Condutância

Com a bateria em flutuação, através do equipamento de condutância aplicou-se em cada elemento uma corrente com frequência de 22Hz e amplitude de 1A, obtendo-se a condutância de cada elemento.

Na primeira avaliação é calculado o Valor de Referência de Condutância (VRC) para cada modelo de bateria. Este valor é obtido a partir da média das maiores medidas iniciais correspondente à cerca de 40% do tamanho do banco. A partir desta avaliação este valor deve ser considerado como sendo o Valor de Referência de Condutância (VRC).

Elementos apresentando valores de condutância no intervalo de 60% a 80% do VRC representam sinal de alerta (faixa amarela), indicando que a bateria está com algum problema. Neste caso é recomendado efetuar medições com menor periodicidade, para acompanhar a evolução deste parâmetro. Elementos que apresentam valores de condutância abaixo de 60% do VRC (faixa vermelha) devem ser substituídos imediatamente. Elementos com valores de condutância acima de 80% do VRC indicam que os mesmos se encontram em estado de operação adequada (faixa verde). A homogeneidade das medidas de condutância de cada banco é observada conforme a seguinte regra: para baterias com até três anos de idade os valores obtidos podem variar, no máximo, $\pm 5\%$ do VRC. Para baterias com mais de três anos os valores obtidos podem variar, no máximo, $\pm 10\%$ do VRC.

2.2 - Impedância

Com a bateria em flutuação, através do equipamento de impedância aplicou-se uma corrente alternada superior a 4A @ 60Hz no banco e mediu-se a impedância de cada elemento.

Na primeira avaliação foi calculado o valor médio de impedância para cada modelo de bateria. A partir desta avaliação este valor foi considerado como sendo o Valor de Referência de Impedância (VRI). Cabe ressaltar que, caso um ou mais elementos apresente valor de impedância cerca de 20% superior aos demais, estes valores não devem ser considerados no cálculo do valor de impedância médio do banco. Elementos apresentando valores de impedância no intervalo de 120% a 150% do VRI representam sinal de alerta (faixa amarela), indicando que a bateria está com algum problema. Neste caso é recomendado efetuar medições com menor periodicidade, para acompanhar a evolução deste parâmetro. Elementos que apresentam valores de impedância superior a 150% (faixa vermelha) do VRI devem ser substituídos imediatamente. Elementos apresentando valores de impedância abaixo de 120% do VRI (faixa verde) indicam que os mesmos se encontram em estado de operação adequada. A homogeneidade das medidas de impedância de cada banco é observada conforme a seguinte regra: os valores obtidos podem variar $\pm 20\%$ do VRI

2.3 - Capacidade

O teste de capacidade foi realizado e no banco 1 de Bongí e no banco 1 de Pau Ferro. A descarga foi efetuada no regime de 5 horas, até a tensão final de 1,75 Volts por elemento (Vpe). Este ensaio foi conduzido conforme procedimento descrito na Norma SDT 240-500-509.

3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÕES

Devido ao grande volume de dados nesta parte serão apresentados alguns resultados mais representativos desta pesquisa.

3.1 - Subestação Bongí

Na segunda avaliação desta subestação foi realizado em um dos bancos um teste de capacidade. Durante a execução deste teste foram realizadas medições de tensão e condutância. A medição de impedância foi realizada no final da descarga.

No teste de capacidade realizado no Banco 1 e a bateria apresentou uma capacidade de 123% em relação ao valor nominal. Este valor de capacidade é condizente com o seu tempo de fabricação (Figura 1).

Como pode ser observada na Figura 2, a condutância dos elementos diminui no decorrer da descarga (duante a descarga foi efetuada a medição de condutância de alguns elementos), apresentando valores inferiores a 60% do VRC no final da descarga, fato este esperado uma vez o processo de descarga da bateria provoca o aumento da sua resistência interna. Os elementos 10, 15, 20, 100 e 110 apresentaram valores de condutância na faixa alerta mostrando que os mesmos possuem uma capacidade um pouco maior que o demais, fato este esperado para um conjunto de elementos do mesmo banco.

A medição de impedância não foi efetuada no decorrer da descarga, só foi realizada no final deste ensaio. No final da descarga também foi observado um comportamento semelhante ao da condutância, a maioria dos elementos apresentaram valores de impedância superiores a 150% do VRI. Os mesmos elementos que apresentaram valores de condutância na faixa de alerta também apresentaram valores de impedância nesta faixa com exceção do elemento 110 que apresentou valor de impedância de 150,4% do VRI, bem no limite do início da faixa de alerta.

Em relação as medições de condutância e impedância, observou-se que na segunda avaliação os elementos apresentaram um aumento médio de condutância de 15% e uma diminuição da impedância média de 23%, em

relação à primeira avaliação. O fato da condutância e impedância apresentarem, respectivamente, valores menores e maiores na primeira medição, indica que provavelmente no momento desta medição a bateria não estava plenamente carregada. Na segunda medição, todos os elementos dos dois bancos apresentaram valores de condutância superiores a 80% do VRC (faixa boa), e impedância inferior a 120% do VRI (faixa boa) o que pode ser considerado compatível com a idade destes bancos, cerca de 1 ano.

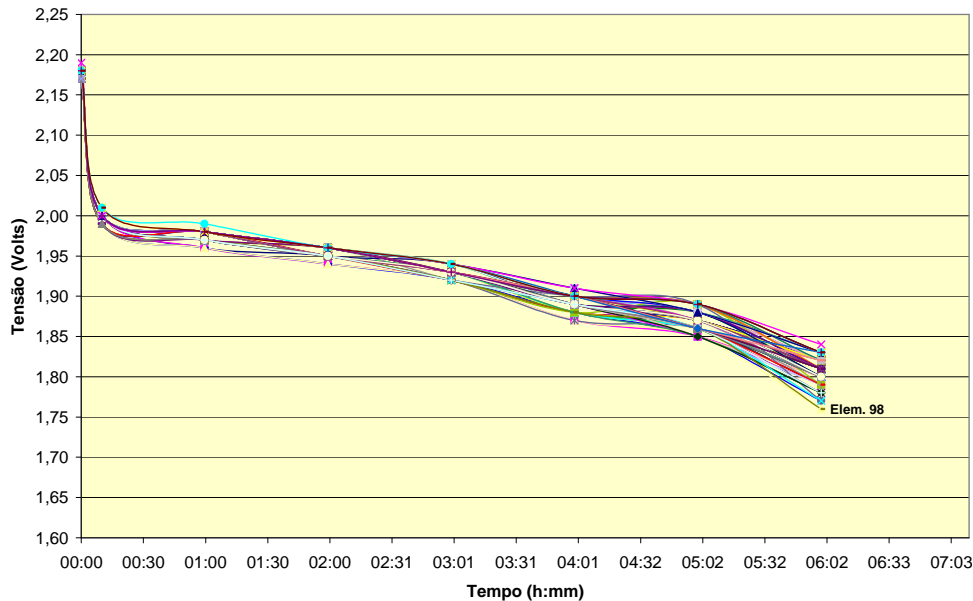


FIGURA 1: Teste de Capacidade - Subestação Bongü

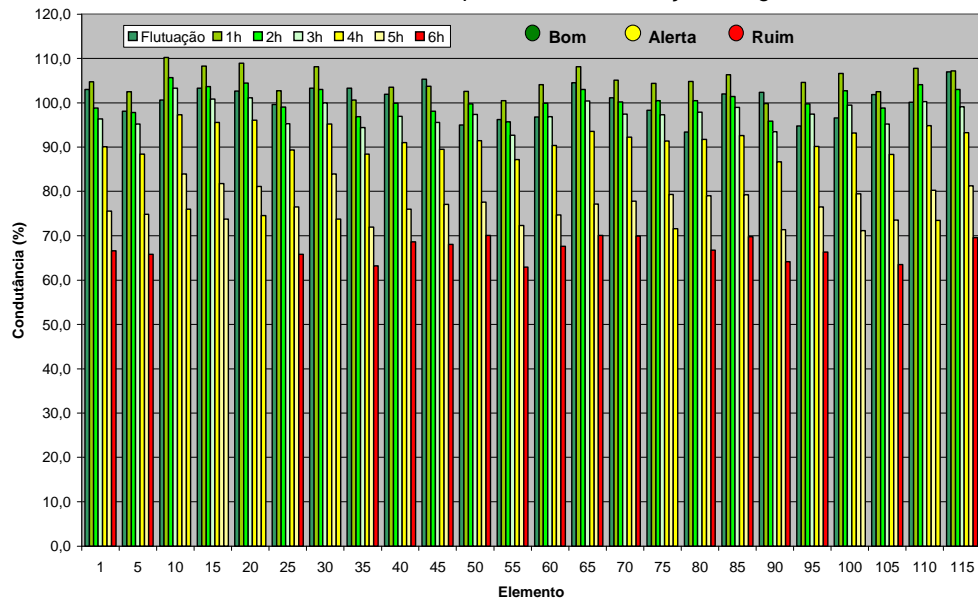


FIGURA 2: Condutância Durante a Descarga – Subestação Bongü

3.2 - Subestação Pau Ferro

Na segunda avaliação da Subestação Pau Ferro os elementos dos dois bancos apresentaram uma diminuição média de condutância de 2,2% e um aumento da impedância média de 2,4%, em relação a primeira avaliação. Na primeira avaliação os elementos 3, 8, 16 e 44 do banco 1 apresentaram valores de condutância próximos de 80%. Na segunda avaliação estes elementos acrescidos dos elementos 5, 6, 13, 14, 40, 44, 48 e 56 apresentaram valores de condutância na faixa de alerta (entre 80 a 60% do VRC) (Figura 3). Nas duas avaliações os elementos dos dois bancos apresentaram valores de impedância inferior a 120% do VRI (faixa boa). O elemento 40 em seis meses teve uma diminuição da condutância de 15,2% atingindo o valor de 76% do VRC, variação esta bem superior ao observado, indicando assim que este elemento está mais degradado que os demais merece maior atenção. Neste caso, a periodicidade das medições devem ser diminuídas. No teste de capacidade realizado no Banco 1, a bateria apresentou capacidade de 126% em relação ao valor nominal. Este valor de capacidade é condizente com o seu tempo de fabricação (cerca de 4 anos). No entanto, o valor de capacidade obtida não reflete os valores de condutância medidos em flutuação, o elemento 10 que foi o primeiro a atingir a tensão final de

descarga não foi o elemento que apresentou o menor valor de condutância (elemento 5) e nem o que apresentou a maior variação de condutância da primeira para a segunda medição (elemento 40). Este fato indica nitidamente que a causa da degradação dos elementos que estão apresentando valores de condutância na faixa de alerta não é somente o envelhecimento das placas e sim algum outro tipo de degradação que pode estar associado aos pólos, barras conectoras ou separadores. Estes testes ilustram também que somente o teste de capacidade não é suficiente para detectar outros eventos de degradação e que o valor de condutância não é diretamente proporcional ao valor da capacidade da bateria.

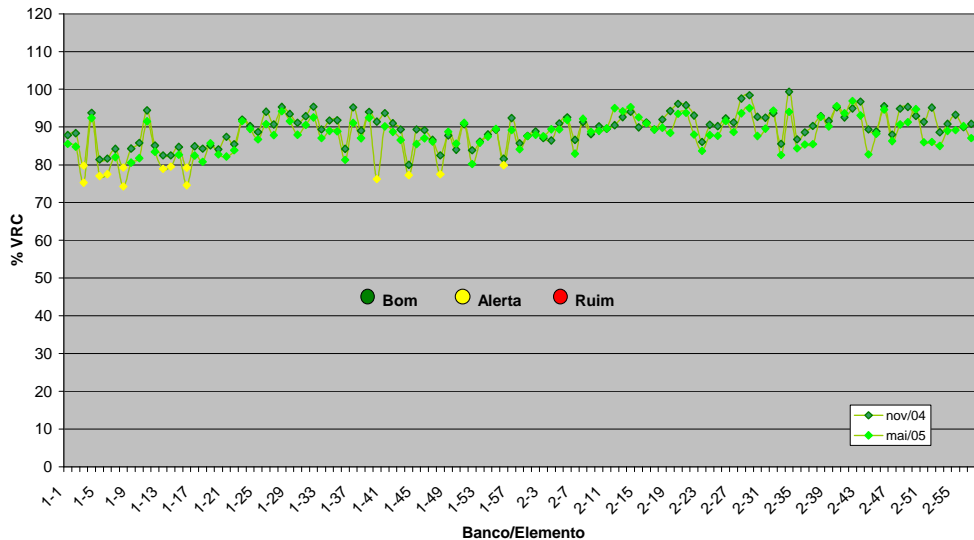


FIGURA 3: Medidas de Condutância – Subestação Pau Ferro

3.2 - Subestação Luiz Gonzaga

Como pode ser observado na Figura 4, na segunda avaliação os elementos apresentaram uma diminuição média de condutância de 4,7% e um aumento da impedância média de 3,0%, em relação à primeira avaliação. Na primeira avaliação 19% dos elementos apresentaram valores de condutância na faixa de alerta. Na segunda avaliação este percentual aumentou para 65%. Em relação à impedância. Na primeira avaliação somente 4% dos elementos apresentaram valores na faixa de alerta, já na segunda avaliação este percentual aumentou para 29% (Figura 5). Estas avaliações mostram que os elementos deste banco estão sofrendo um processo de degradação e ou envelhecimento uniforme, que é considerado compatível com a idade deste banco, cerca de 7 anos.

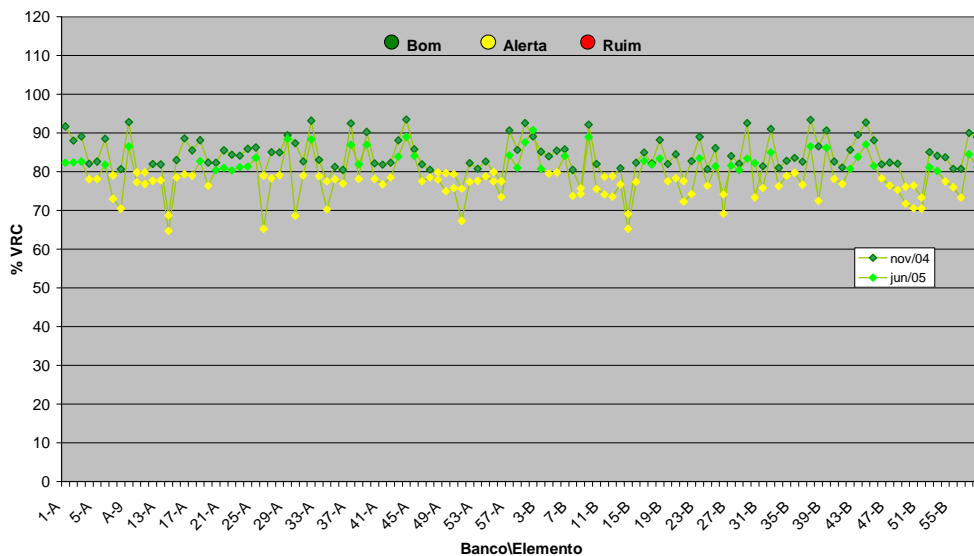


FIGURA 4: Medidas de Condutância – Subestação Luiz Gonzaga

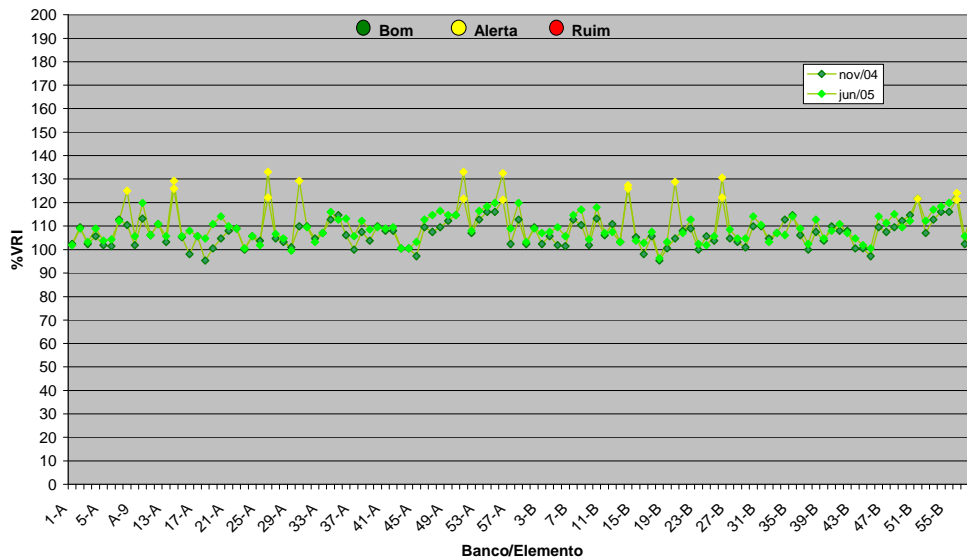


FIGURA 5: Medidas de Impedância – Subestação Luiz Gonzaga

4.0 - CONCLUSÃO

Em relação ao observado nos andamento desta pesquisa conclui-se que:

- Os valores de condutância e impedância não apresentam uma relação linear com a capacidade da bateria. À medida que a bateria é descarregada a condutância diminui e a impedância aumenta. A bateria totalmente descarregada apresenta valores de condutância e impedância na faixa de alerta.
- Elementos que apresentaram valores de condutância e ou impedância na faixa de alerta ou ruim e no teste de capacidade apresentaram valores superiores a 100% do valor nominal, isto significa que os mesmos estão com outro processo de degradação, não relacionado com a perda de capacidade das placas.
- O ensaio de capacidade avalia a energia armazenada nas placas, as medições de condutância e impedância avaliam o estado de degradação interna da bateria, os quais não necessariamente são detectados no teste de capacidade.
- As medidas de condutância e de impedância não são equivalentes. Por esta razão um elemento pode estar fora da faixa admissível de condutância e estar dentro da faixa admissível para a impedância, ou vice-versa. Isto se deve ao fato dos equipamentos de condutância e impedância utilizarem metodologias diferentes para a medição da resistência interna da bateria, cada um focando no estado de degradação de diferentes componentes internos da bateria. Em relação aos equipamentos utilizados na avaliação, o equipamento de condutância comparado com o equipamento de impedância, mostrou-se mais eficiente para a detecção de anormalias em baterias de grande capacidade.
- As técnicas de condutância e impedância demonstraram ser ferramentas eficientes para a manutenção preditiva e corretiva de baterias chumbo-ácidas estacionárias ventiladas ou reguladas por válvulas.
- As metodologias de avaliação da resistência interna da bateria são de baixo risco pois as medições são efetuadas com a bateria em operação. Deste modo, não ocorre a diminuição temporária da autonomia do sistema DC, pois não é necessário efetuar a descarga das baterias requerida na metodologia tradicional (ensaio de capacidade).
- O tempo médio para a realização da medição de condutância ou impedância para um banco com 60 elementos é em torno de 20 minutos, o que acarreta na redução substancial dos recursos logísticos e homem-hora necessários para a manutenção das baterias.
- As metodologias de condutância e impedância não provocam o aceleração da perda de vida útil durante o ensaio e possuem confiabilidade equivalente ou superior quando comparado com as metodologias tradicionais.

Os resultados obtidos indicaram que é totalmente viável estabelecer um procedimento de manutenção preditiva e corretiva das baterias ventiladas ou reguladas por válvula baseados nas medições de condutância ou impedância,

5.0 - BENEFÍCIOS PARA A CHESF

Desde o final do P&D a Chesf adotou a metodologia de medição de condutância como uma de suas ferramentas utilizada nas manutenção de baterias chumbo-ácidas ventiladas e reguladas por válvula. A implantação desta metodologia proporcionou para a Chesf os seguintes benefícios:

- Redução significativa dos custos, tendo em vista que o tempo médio para a realização da medição de condutância ou impedância para um banco com 60 elementos é em torno de 20 minutos, o que acarreta na redução substancial dos recursos logísticos e homem-hora necessários para a manutenção das baterias pelo método tradicional com ensaio de descarga e posterior recarga.
- As metodologias de avaliação da resistência interna da bateria são de baixo risco, pois as medições são efetuadas com a bateria em operação. Deste modo, não ocorre a diminuição temporária da autonomia do sistema DC, através das baterias, pois não é necessário efetuar a descarga requerida na metodologia tradicional (ensaio de capacidade).
- A metodologia de condutância não provoca o aceleramento da perda de vida útil durante o ensaio e possui confiabilidade equivalente ou superior quando comparado com as metodologias tradicionais, tendo em vista que foram identificados vários casos de corrosão precoce pelo método de condutância que não foi detectado com o ensaio de capacidade.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Souza, F.S.; Silva, J.R.A. e Rosolem, M.F.N.C. - "Medidas de Impedância como Método de Avaliação de Baterias Chumbo-Ácidas Reguladas por Válvulas"; CININTEL '97 – Fortaleza
- (2) Souza, F.S.; Silva, J.R.A. e Rosolem, M.F.N.C. - "Avaliação de Desempenho de Baterias VRLA das Estações Experimentais da Telesp"; CININTEL '98 – Fortaleza
- (3) Rosolem, M.F.N.C.; Beck, R.F. and Júnior, M.G.R. - "Evaluation Tools for Batteries Employed in Outdoor Cabinets - An Experience of a Brazilian Telecom Company"; INTELEC 2000 - Phoenix/EUA
- (4) Rosolem, M.F.N.C.; Beck, R.F and Soares, L.A. - "Failure Detection of Stationary Lead-acid Batteries in Service in Various Regions of Brazil", INTELEC 2002 - Montreal/Canadá
- (5) Rosolem, M.F.N.C.; Beck, R.F.; Tenório Junior, J.; Roza, P.M. - Metodologias Alternativas para Avaliação de Baterias: Uma Experiência na Light; SNPTEE 2003 - Uberlândia, MG;
- (6) Rosolem, M.F.N.C.; Beck, R.F.; Cardoso, P.E.; Soares, L.A.; Yamaguti, F. - Stationary VRLA Battery Evaluations: Internal Measurements and Capacity Test - an the Claro Celular Mobile Company; BATTCON 2004 - Florida, USA;
- (7) Rosolem, M.F.N.C.; Beck, R.F.; Cardoso, P.E.; Soares, L.A.; Nascimento, V.V.; Urso, J.E.; Soares, R.F.; Tenório Junior, J.; Roza, P. M.; Penseti, G.R. - Gerenciamento de Baterias Chumbo-ácidas Ventiladas Utilizadas nas Subestações da Light através de Banco de Dados de Medições de Condutância; T&D 2004 - São Paulo, SP;
- (8) Rosolem, M.F.N.C.; Beck, R.F.; Cardoso, P.E.; Soares, L.A. - Evaluation of the Relationship Between Conductance and Capacity Measurements of VRLA Batteries in Brazil; INTELEC 2004 - Chicago, USA;
- (9) NBR 14197 - Acumulador Chumbo-Ácido Ventilado Estacionário - Especificação, em. setembro 2002;
- (10) NBR 14199 - Acumulador Chumbo-Ácido Ventilado Estacionário - Ensaio, em. setembro 2002.
- (11) SDT 240-500-509 – Procedimentos para Ensaio de Tipo para Acumuladores Ácidos Estacionários Regulados por Válvula
- (12) -NBR 14204 – Acumulador Chumbo-Ácido Estacionário Regulado por Válvula – Especificação.

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Maria de Fátima N. C. Rosolem

Nascido em Tanabi em 02 de julho de 1965.

MBA (2005): ESAMC, Mestrado (1990): USP S. Carlos e Graduação (1987) em Bacharelado em Química: UFSCAR

Empresa: CPqD desde 1989

Pesquisadora da Gerencia de Infra-estrutura de Redes

Secretária do Comitê de Estudos da ABNT CB 03.21 – Bateria Chumbo-ácida Estacionária

Miguel Carlos Medina Pena

Nascido em Porto/Portugal em 07 de maio de 1954

2003 - Mestre em Enga. Elétrica - Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

1997:- Pós-graduação em Engenharia da Qualidade - Universidade Federal de Pernambuco – UFPE.

1987- Pós-graduação em Engenharia de Manutenção - Escola Federal de Engenharia de Itajubá -EFEI

1978 - Engenheiro Eletricista - Universidade de Pernambuco – UPE

Carlos Alberto Trajano de Arruda

Nascido em Jaboatão dos Guararapes-PE/Brasil em 08 de março de 1956

1982 – Engenheiro Eletricista - Universidade de Pernambuco – UPE

Raul Fernando Beck

Nascido em Campinas em 30 de outubro de 1955.

Engenheiro Eletrônico (1980) Unicamp e Química Industrial (1973) Etecap

Empresa: CPqD desde 1980

Engenheiro da Gerência de Infra-estrutura de Redes

Paulo Eduardo dos Reis Cardoso

Nascido em Pedreira – SP em 06 de junho de 1978 -

Mestrado em Engenharia Elétrica - Unicamp (2005) e Graduação em Engenharia Elétrica - Unicamp (2002)

Empresa que atuou: ASE - DLIR - Fundação CPqD

Empresa que atua: Anatel - CMPRR - SCM

Especialista em Regulação

Luiz Antonio Soares

Nascido em Campinas – SP em 30 de outubro de 1963

Tecnólogo em Saneamento Ambiental – Unicamp (2006) e Técnico em Eletrônica – Cotuca (1984)

Empresa: CPqD desde 1986

Técnico da Área de Sistema de Energia do CPqD