

# Análise da Vida Útil de Bancos de Capacitores Submetidos a Tensões Não Senoidais

M. D. Teixeira, *Arteche EDC*, R. A. Peniche, *COPEL*, G. Paulillo e A. R. Aoki, *LACTEC*, O. O. Pereira e R. B. Biazon, *CLFSC*

**Resumo**—Dentre os diversos equipamentos que compõe o sistema elétrico, os bancos de capacitores são aqueles mais susceptíveis a falhas devido às distorções harmônicas. Neste sentido, o presente estudo vislumbra estimar a vida útil de bancos de capacitores conectados em redes elétricas com forte presença de componentes harmônicas. Para tanto, foram realizados testes laboratoriais em diferentes tipos de capacitores para a síntese de uma equação matemática indicativa da vida útil destes equipamentos.

**Palavras-chaves**—Distorções harmônicas, capacitores, vida-útil, modelos probabilísticos.

## I. INTRODUÇÃO

A estimação e quantificação da vida útil de equipamentos elétricos têm ganhado relevância crescente nos últimos anos, em função da enorme quantidade de recursos financeiros empregados na substituição ou reparo destes por parte das concessionárias do setor elétrico. Esta preocupação tornou-se mais acentuada na medida em que equipamentos elétricos, projetados para operar em sistemas com condições de alimentação próximas do considerado ideal, passaram a perfazer sistemas substancialmente poluídos, no tocante aos fenômenos associados à qualidade da energia elétrica, principalmente às distorções harmônicas.

Dentre os diversos equipamentos sujeitos as perdas de vida útil, devido à conexão em sistemas de energia com qualidade aquém da considerada nominal, destacam-se, sobremaneira, os bancos de capacitores. Estes dispositivos, largamente utilizados em indústrias e concessionárias de energia para a correção do fator de potência e suporte de tensão, têm sua operação fortemente afetada quando da presença de distorções harmônicas na tensão de suprimento [1, 2, 3, 4 e 5].

O tempo de vida operacional de bancos de capacitores, ou qualquer equipamento elétrico está intimamente associado à durabilidade do seu material isolante. Quando submetidos a determinados esforços, dielétricos ou térmicos, a composição química e as propriedades físicas do sistema de isolamento podem sofrer alterações irreversíveis traduzidas na forma de

falhas operacionais precoces, reduzindo, sobremaneira, a confiabilidade de sistemas de energia. A presença de harmônicos em um sistema elétrico pode representar alteração nos valores de pico e eficaz da tensão de alimentação, sujeitando os capacitores a esforços dielétricos e térmicos acima das condições previstas em projeto.

Diante do fato apresentado, urge a necessidade do prévio conhecimento da expectativa de vida de bancos de capacitores, quando alimentados por sistemas de suprimento fora dos padrões considerados ideais, visando a otimização dos recursos destinados à manutenção das redes elétricas. Dentro desta premissa, o presente trabalho visa quantificar a vida operacional do referido equipamento perante distorções na forma de onda da tensão. Mais precisamente, esta investigação sustenta-se na obtenção de modelos matemáticos que traduzam o tempo de vida destes equipamentos sob ação de algum tipo de esforço, qual seja: dielétrico, térmico ou ambos, face às distorções harmônicas impostas.

## II. ENVELHECIMENTO DO MATERIAL ISOLANTE DE BANCOS DE CAPACITORES SUBMETIDOS A REDES DISTORCIDAS

A definição dos esforços, que podem imputar falhas em bancos de capacitores, torna-se imperativo para adoção de medidas mitigadoras que possam reduzir os danos em seus sistemas de isolamento, e também na síntese de modelos matemáticos que retratem o perfil da vida operacional daqueles.

Assim, a seguir, serão apresentados os principais fatores, esforços, associados a distorções harmônicas, que influenciam diretamente na degradação do material isolante e, por conseguinte, na falha operacional de banco de capacitores.

### A. Esforços Dielétricos

Conforme foi abordado anteriormente, os bancos de capacitores submetidos a redes com forte poluição harmônica, estão sujeitos ao envelhecimento de seu material isolante e conseqüente falhas operacionais precoces. Um dos fatores que contribui para essa degradação é conhecido como esforço ou solitação dielétrica.

A solitação dielétrica do material isolante está associada ao valor de pico da tensão de alimentação imposta ao equipamento. A maioria dos equipamentos elétricos possui um valor limite de suportabilidade dielétrica, acima do qual, ocorre à aceleração da degradação do sistema de isolamento. Esta situação agrava-se, sobremaneira, para os bancos de capacitores, devido os problemas de ressonâncias paralelas passíveis de ocorrer conforme a configuração do sistema, e que podem causar substanciais sobretensões.

Este trabalho foi patrocinado pelo Programa de P&D da Companhia Luz e Força Santa Cruz.

Mateus D. Teixeira pertence ao Departamento Comercial da Artech EDC, Curitiba, Brasil (e-mail: [mdt@artech.com.br](mailto:mdt@artech.com.br)).

Rodrigo A. Peniche trabalha atualmente na COPEL, Curitiba, Brasil.

Gilson Paulillo e Alexandre R. Aoki pertencem ao Departamento de Eletromecânica do LACTEC, Curitiba, Brasil (e-mail: [peniche@lactec.org.br](mailto:peniche@lactec.org.br)).

Rodolfo B. Biazon e Osvaldo O. Pereira pertencem à Companhia Luz e Força Santa Cruz, Piraju, Brasil (e-mail: [opereira@santacruz.srv.br](mailto:opereira@santacruz.srv.br)).

Matematicamente, a solicitação dielétrica do material isolante dos bancos de capacitores pode ser calculada pela expressão:

$$\Delta V = \frac{V_H}{V_1} \quad (1)$$

Sendo que:

$V_H$  – Tensão de alimentação considerando a poluição harmônica;

$V_1$  – Tensão de alimentação considerando somente a componente em 60 Hz.

### B. Esforços Térmicos

Quando um banco de capacitores opera sob elevadas temperaturas, como ocorre normalmente, seu material isolante fica sujeito à deterioração térmica, reduzindo o seu tempo de vida operacional. De maneira semelhante ao que acontece com a solicitação dielétrica, o material isolante dos bancos de capacitores possui um limiar de suportabilidade térmica, acima do qual a degradação do sistema de isolamento é gradativamente acelerada, dependendo do valor da temperatura. Este limite térmico, via de regra, está associado com a temperatura ambiente.

Isto posto, o esforço térmico do material isolante dos bancos de capacitores pode ser representado conforme a equação a seguir:

$$T = \frac{1}{\theta_0} - \frac{1}{\theta} \quad (2)$$

Sendo que:

$\theta_0$  – Temperatura de referência (ambiente);

$\theta$  – Temperatura de trabalho.

### III. MODELOS DE VIDA ÚTIL

Um modelo de vida útil de um sistema ou material isolante consiste da relação matemática entre um determinado esforço – elétrico, térmico ou ambos – e o seu tempo de falha. O desenvolvimento de modelos matemáticos de vida útil e respectivas implementações computacionais têm sido amplamente reportados na literatura internacional afeta ao tema, nos últimos anos. Conforme abordada anteriormente, a preocupação de concessionários, fabricantes e consumidores, do setor de energia elétrica, proporcionou um aumento considerável na exploração deste tópico devido as grandes perdas financeiras decorrentes da falha precoce de equipamentos.

Na seqüência, após uma ampla pesquisa, será apresentado um resumo dos principais modelos de vida útil propostos para ilustrar o comportamento operacional de banco de capacitores submetidos aos esforços anteriormente definidos.

#### A. Modelos Térmicos

As primeiras investigações sobre a degradação de materiais isolantes aconteceram na primeira metade do século passado,

e recaíram sobre os efeitos de esforços térmicos na composição química destes materiais. Segundo abordado por [2], o efeito da temperatura sobre os equipamentos elétricos está associado, principalmente, ao aumento das reações químicas dos materiais isolantes e, por conseguinte, sua deterioração precoce. A velocidade das reações químicas é tratada pela conhecida equação de Arrhenius, apresentada a seguir.

$$R_C = R'_C \cdot e^{\left[-\frac{\Delta W}{k\Theta}\right]} \quad (3)$$

Onde:

$R_C$ , velocidade de reação química do material, sob ação de esforços térmicos;

$R'_C$ , velocidade de reação química do material, sob condições normais;

$\Delta W$ , energia de ativação da reação química;

$k$ , constante de Boltzman;

$\Theta$ , temperatura absoluta em K.

Fazendo  $B = \Delta W/k$ , a equação anterior pode ser reescrita como:

$$R_C = R'_C \cdot e^{\left[-\frac{B}{\Theta}\right]} \quad (4)$$

Partindo, pois, da equação (4), pode-se afirmar que o tempo para um determinado material isolante alcançar o seu limite de vida é inversamente proporcional à velocidade de reação química deste material. Matematicamente, tem-se que:

$$L_T = L_{T0} \cdot e^{\left[\frac{B}{\theta}\right]} \quad (5)$$

Onde:

$L_T$ , vida útil do material isolante, sob ação de esforços térmicos;

$L_{T0}$ , vida útil do material, sob condições de temperatura ambiente;

Introduzindo o esforço térmico T apresentado na equação (2), a equação (5) torna-se:

$$L_T = L_{T0} \cdot e^{(-BT)} \quad (6)$$

A partir deste modelo pode-se correlacionar a expectativa e vida útil de bancos de capacitores, ou qualquer outro equipamento, com a sua respectiva temperatura de trabalho.

#### B. Modelos Elétricos

No tocante aos esforços dielétricos, a vida operacional pode ser representada pela formulação abaixo [2].

$$L_D = L_{D0} \cdot [\Delta V]^n \quad (7)$$

Onde:

$\Delta V$  – Esforço dielétrico do material isolante, eq. (1);

$L_D$  e  $L_{D0}$  – Vida útil do equipamento sob a ação de esforços e em condições normais de operação, respectivamente;

$n$  – Constante dependente das condições ambientais.

O valor da constante  $n$  é obtido através de ensaios experimentais de vida útil. A influência da solitação dielétrica sobre a vida operacional dos bancos de capacitores pode ser representada pela figura 1.

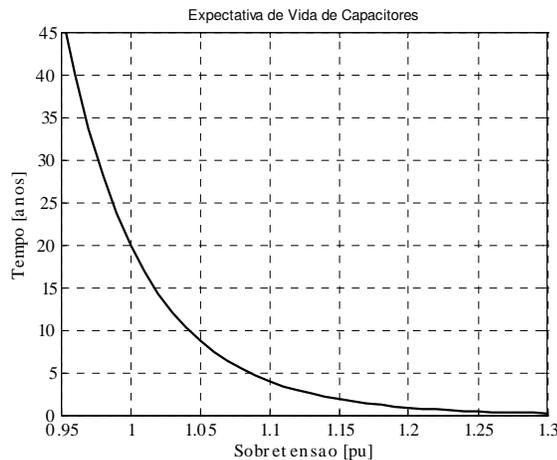


Fig. 1. Curva da Vida Útil de Bancos de Capacitores submetidos a esforços dielétricos, segundo [4]

### C. Modelos Multi-Esforços

A influência simultânea dos esforços térmico e elétrico na degradação de banco de capacitores tem sido motivo de profundas investigações.

Em [2] o autor reporta que quando um determinado material isolante é submetido a um esforço elétrico a uma elevada temperatura, este está sujeito à ação combinada destes fenômenos.

A síntese de modelos de vida útil deve então considerar a sinergia entre estes fenômenos, ou seja,  $G(V,T)$ . Por conseguinte, a partir dos modelos de vida útil térmico e elétrico apresentados nas seções anteriores, pode-se, inicialmente, concluir que:

$$L_C = L_T \cdot L_D \cdot G(V,T) \quad (8)$$

Sendo que:

$L_C$  – representa a vida útil do material isolante submetido a múltiplos esforços;

$G(V,T)$  – representa a sinergia entre os modelos térmico e elétrico.

Partindo da equação (8) algumas importantes considerações podem ser extraídas para a composição do modelo multi-esforços.

Quando o equipamento não se encontra submetido a um esforço térmico ( $T = 0$ ), sua vida útil será definida pela parcela correspondente ao esforço elétrico;

$$L_C = L_D = L_{D0} \cdot \Delta V \quad (9)$$

Analogamente, quando existe apenas solitação térmica, o modelo que define o perfil da vida operacional do equipamento deve considerar somente o efeito correspondente;

$$L_C = L_T = L_{T0} \cdot e^{(-BT)} \quad (10)$$

A expressão de  $G(E,T)$  que satisfaz as condições acima apresentadas, pode ser definida por:

$$G(V,T) = \Delta V^{bT} \quad (11)$$

Onde:

$b$ , coeficiente obtido através de ensaios laboratoriais.

Finalmente, conforme [2], fazendo as devidas substituições, chega-se ao modelo de vida útil genérico que considera a ação dos esforços térmicos e elétricos.

$$L = L_0 \cdot [\Delta V]^{-(n-bT)} \cdot e^{(-BT)} \quad (12)$$

Sendo que  $L_0$  considerada a vida útil do banco sem as ações dos esforços térmicos e dielétricos.

Graficamente, o comportamento da vida útil considerando a ação de vários esforços encontra-se representado pela figura 2.

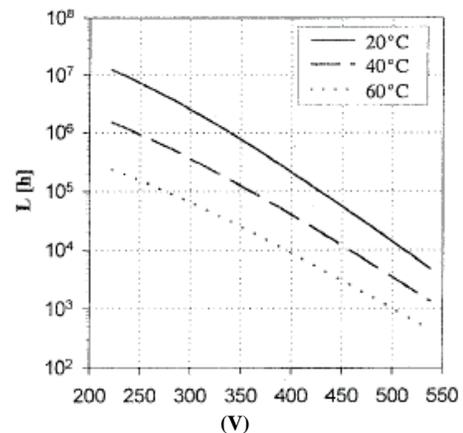


Fig. 2. Perfil da vida útil considerando a ação simultânea dos esforços térmico e elétrico, conforme as equações (12) e (13)

### IV. MODELO DE VIDA PROBABILÍSTICO

O tratamento estatístico de dados sobre o envelhecimento tornou-se uma vereda importante na avaliação da durabilidade de materiais isolantes submetidos a esforços contínuos [3], [4]. Atualmente, o envelhecimento do material isolante de bancos de capacitores e outros equipamentos, submetidos a esforços dielétricos e/ou térmicos, são representados estatisticamente pela distribuição de Weibull bi-paramétrica, cuja formulação encontra-se descrita na seqüência.

$$F(t) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{\alpha}\right)^\beta} \quad (13)$$

Onde:

$F(t)$  – Probabilidade de falha;

$\alpha$  - Parâmetro associado à vida útil;

$\beta$  - Parâmetro associado aos esforços aplicados.

A partir do modelo de vida dielétrico é possível sintetizar uma expressão genérica probabilística para representar o perfil da vida operacional de bancos de capacitores. Por exemplo, tomando-se o modelo representado em (7) e substituindo na expressão (13), tem-se o modelo de vida probabilístico para materiais isolantes de bancos de capacitores:

$$F(t, V) = 1 - e^{-\left(\frac{t}{L_{D0}} \left(\frac{1}{\Delta V}\right)^n\right)^{\beta(V)}} \quad (14)$$

Desta forma, a expressão (14) fornece a probabilidade de ocorrer uma falha operacional de bancos de capacitores em um determinado tempo  $t$ . A figura 3 apresenta o perfil da vida operacional de bancos de capacitores, para diferentes probabilidades de falha.

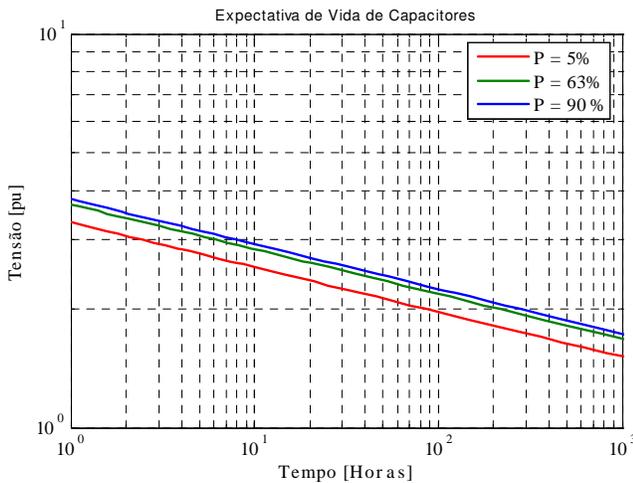


Fig. 3. Curvas de vida útil de bancos de capacitores para diferentes probabilidades

Outra grande funcionalidade dos modelos de vida probabilísticos diz respeito ao índice de confiabilidade do sistema de isolamento perante estes esforços. Este indicador é obtido através da seguinte manipulação:

$$R(t, V) = 1 - F(t, V) = e^{-\left(\frac{t}{L_{D0}} \left(\frac{1}{\Delta V}\right)^n\right)^{\beta(V)}} \quad (15)$$

Semelhantemente ao resultado apresentado anteriormente, a curva de vida pode ser expressa para diferentes valores de confiabilidade  $R(t, V)$ , conforme apresentado pela figura 4.

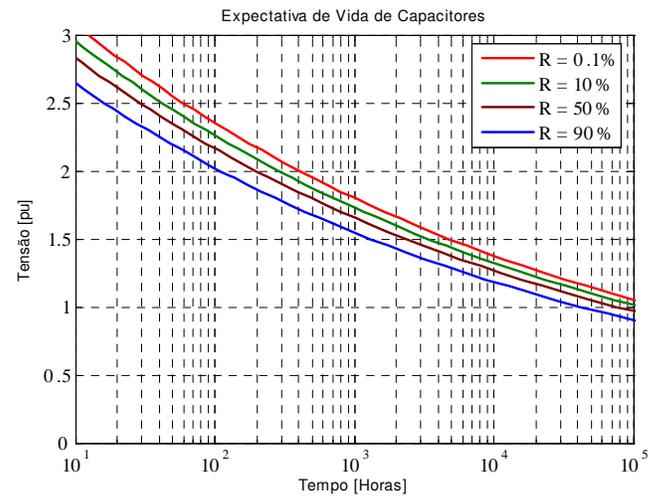


Fig. 4. Curvas de vida útil de bancos de capacitores para diferentes percentagens de confiabilidade

## V. ESTUDOS EXPERIMENTAIS DE ENVELHECIMENTO

O objetivo principal dos testes laboratoriais foi submeter os bancos de capacitores a níveis de distorção harmônica que representassem situações de ressonância. Tais ensaios foram realizados em células capacitivas monofásicas de MT, em escala reduzida, fabricadas especificamente para estes fins. Também foram utilizadas células tipo PPM (Polipropileno Metalizado) compradas diretamente no mercado.



Fig. 5. Capacitor MT fabricado em escala reduzida especialmente para os testes.

As tensões de suprimento foram providas por uma fonte de alimentação programável HP6834A, trifásica, com potência de 4,5kVA. O nível de tensão adotado para o funcionamento do dispositivo foi 127 V. É importante destacar que a fonte programável permite, quando for o caso, a aplicação dos diversos itens de qualidade, de forma controlada, à tensão de alimentação. O arranjo experimental utilizado para a realização dos trabalhos encontra-se ilustrado na figura 6.

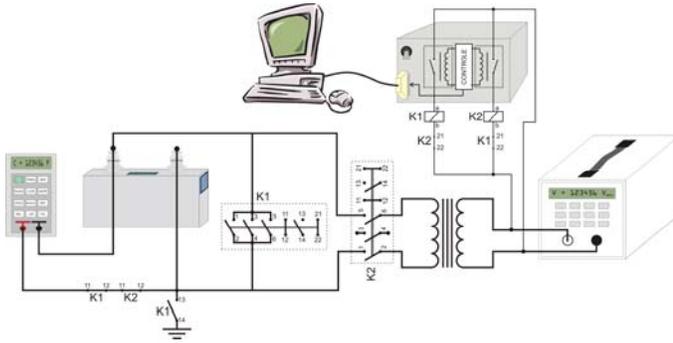


Fig. 6. Arranjo laboratorial utilizado para os testes

Este arranjo permitiu a automação do ensaio através de software específico e configurado para possibilitar a leitura da capacitância remanescente a cada determinado período de tempo.

Vale mencionar que nem todos os ensaios, inicialmente especificados puderam ser realizados com emprego da fonte geradora de harmônicos, pois a mesma é limitada ao nível de 400 V. A tabela 1 mostra os sinais impostos aos capacitores. As linhas grifadas representam os níveis em que a fonte de tensão não suportou a sobrecarga. Deve-se comentar também que as componentes harmônicas foram sobrepostas à tensão fundamental com ângulo zero, a fim de se representar o pior caso.

TABELA I  
COMPOSIÇÕES HARMÔNICAS EMPREGADAS NOS ENSAIOS

Amostra	Composição Harmônica
1	1,5V <sub>1</sub>
2	1V <sub>1</sub> + 0,3V <sub>3</sub>
3	1V <sub>1</sub> + 0,6V <sub>3</sub>
4	1V <sub>1</sub> + 0,9V <sub>3</sub>
5	1V <sub>1</sub> + 0,3V <sub>5</sub>
6	1V <sub>1</sub> + 0,6V <sub>5</sub>
7	1V <sub>1</sub> + 0,9V <sub>5</sub>
8	1V <sub>1</sub> + 0,3V <sub>7</sub>
9	1V <sub>1</sub> + 0,6V <sub>7</sub>
10	1V <sub>1</sub> + 0,9V <sub>7</sub>

Deve ser dito que em todos os casos foram feitos ensaios tanto com células de MT em escala reduzida, quanto para células tipo PPM (BT). A figura 7 apresenta os resultados para os testes com as células de MT.

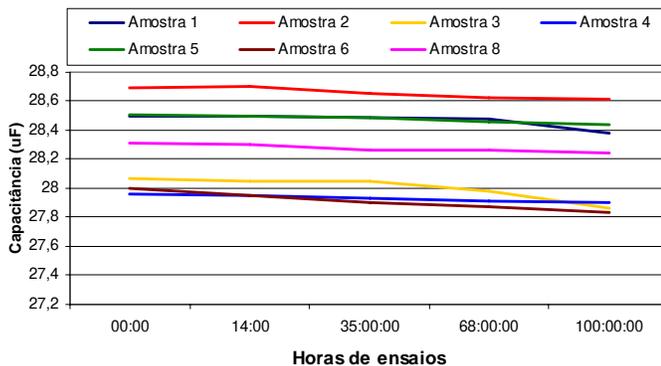


Fig. 7. Resultados dos testes para composições harmônicas

Pode-se notar pelos resultados, que apesar da pequena queda nos valores da capacitância, após 100 horas de ensaio, há uma tendência de redução contínua nestes valores de capacitância. Acreditasse que esta redução poderia ser maior com o aumento das amplitudes das harmônicas, bem como o tempo de ensaio.

A figura 8 mostra o comportamento da corrente em capacitores PPM para as amostras 2, 5 e 8, durante 24 horas de experimento.

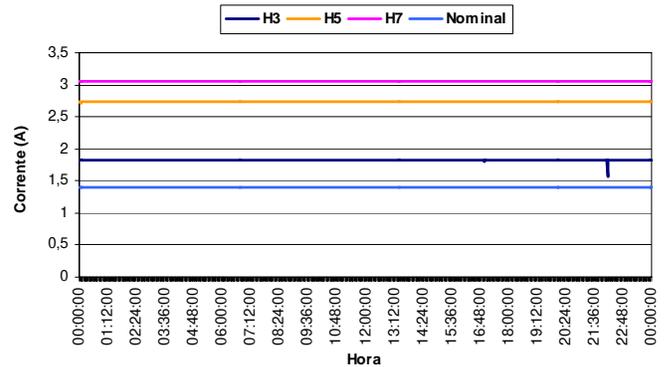


Fig. 8. Correntes RMS nos capacitores PPM

De forma a compensar a baixa potência da fonte geradora de harmônicas, tomou-se por verdadeiras as afirmações contidas em [4 e 5] de que no processo de degradação dos capacitores a frequência do sinal é pouco relevante, sendo a magnitude do sinal de tensão o principal agente depreciativo. Assim, utilizando um “varivolt” convencional para geração dos sinais de tensão, foram realizados alguns ensaios, contemplando somente níveis de tensão fundamental, os quais podem ser visualizados na tabela 2.

TABELA II  
NÍVEIS DE TENSÃO FUNDAMENTAL EMPREGADOS NOS ENSAIOS

Amostra	Nível de Tensão (V)
1	330
2	440
3	550
4	660

Para estes ensaios deve-se mencionar que praticamente não houve alterações dos níveis de capacitância e tgδ após 100 horas para as células de MT. Contudo, houve duas falhas permanentes das células PPM a 550 V e 660 V, após 98 horas e 66 horas, respectivamente. Em ambos os casos houve a fusão do material isolante devido a altas temperaturas no interior do capacitor, que podem ter sido causadas pela sobrecorrente circulante. A figura 2 resume o fato observado. As figuras 9 (a) e (b) mostram o dielétrico fundido da célula capacitiva e o raio-X do capacitor, respectivamente.

Comparando estas ocorrências com o modelo probabilístico para a confiabilidade de capacitores, verifica-se a grande proximidade das curvas geradas com as ocorrências de falha, apesar de certo conservadorismo do modelo proposto.

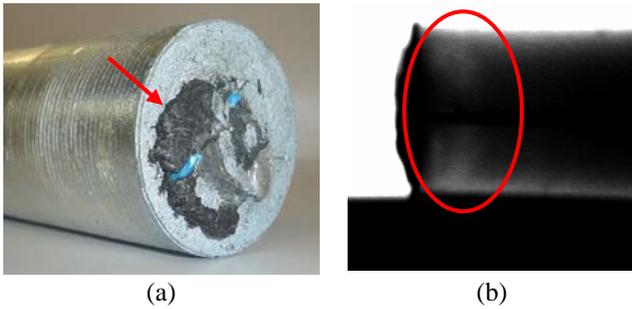


Fig. 9. Capacitor danificado a 660 V. (a) Material isolante fundido na base da célula capacitiva; (b) Raio-X mostrando a região afetada pela alta temperatura.

## VI. CONCLUSÃO

Os resultados e conceitos apresentados neste artigo, apesar de ainda bastante embrionários, revelam que o modelo de vida-útil probabilístico, apesar de conservador, pode ser empregado satisfatoriamente quando se deseja estimar a vida-útil de capacitores submetidos a tensões não senoidais.

Entretanto, diferentemente de outros trabalhos, nota-se que o pico de tensão, apesar de bastante prejudicial ao material dielétrico, não é o principal causador de falhas em capacitores. Pelas análises preliminares, a temperatura é o agente decisivo na depreciação do dielétrico. Neste sentido, a ação depreciativa das frequências harmônicas se faz notada, uma vez que aumenta sobremaneira o valor rms de corrente circulante pelo capacitor, elevando a temperatura do mesmo.

Além disso, os ensaios mostraram uma grande robustez dos capacitores impregnados a óleo comparados àqueles do tipo PPM.

Para trabalhos futuros, pretende-se utilizar uma fonte de sinais com maior capacidade de potência para a realização de novos ensaios, a fim de se obter maiores amplitudes das componentes harmônicas, bem como a ampliação da faixa de frequência.

## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] G. C. Montanari, L. Simoni, "Aging Phenomenology and Modeling", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 28, Nº 5, October 1993.
- [2] L. Simoni, G. Mazzanti, G. C. Montanari, L. Lefebvre, "A General Multi-stress Life Model for Insulating Materials with or without Evidence for Thresholds", IEEE Transactions on Electrical Insulation, Vol. 28, Nº 3, June 1993.
- [3] G. C. Montanari, M. Cacciari, "A Probabilistic Life Model for Insulating Materials Showing Electrical Thresholds", IEEE Transactions on electrical Insulation, Vol. 24, Nº 1, February 1989.
- [4] F. R. Garcia, A. C. Naves, "Cálculo da Perda de Vida Útil de Capacitores em Função da Distorção Harmônica Existente nas Redes de Distribuição de Energia Elétrica", IV SBQEE, Porto Alegre/RS – 2001
- [5] W. H. Bernadelli, "Avaliação da Degradação dos Capacitores Inseridos em Sistemas Elétricos com Tensão Não-senoidal", dissertação de mestrado – UNESP/Ilha Solteira, 2002.

## VIII. BIOGRAFIA



**Mateus Duarte Teixeira** nasceu em Viçosa, MG. Se graduou em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ) em Janeiro de 2001. Obteve seu título de mestre em Ciências pela Faculdade de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU) em Julho de 2003.

Sua experiência profissional inclui o Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento – LACTEC onde atuou como pesquisador de 2003 a 2007, e a Arteche EDC, onde é gerente de desenvolvimento de negócios na área de qualidade de energia. Suas áreas de interesse incluem qualidade de energia, compensação reativa, eficiência energética e geração distribuída.



**Rodrigo Antônio Peniche** é natural de Ijaci, MG. É Engenheiro Eletricista graduado pela Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ) em 2002 e mestre em ciências pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU) em 2004. Atuou, como pesquisador no Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC), em projetos de pesquisa e desenvolvimento relacionados à qualidade da energia, geração distribuída e operação de redes de energia elétrica. Atualmente trabalha na

Companhia Paranaense de Energia – COPEL – na área de planejamento do sistema de distribuição em 69/138 kV.



**Alexandre Rasi Aoki** nasceu em Bauru, São Paulo, em 13 de Novembro de 1974. Graduou-se pela Escola Federal de Engenharia de Itajubá, atual UNIFEI, em 1996. Obteve seus títulos de Mestrado e Doutorado por esta mesma escola em 1999 e 2003 respectivamente. Sua experiência profissional inclui a Universidade Federal de Itajubá e o Instituto de Pesquisa para o Desenvolvimento - LACTEC, onde atualmente é gerente da Divisão de Sistemas Elétricos.

Sua principal área de interesse envolve o desenvolvimento de sistemas inteligentes para aplicação em sistemas elétricos de potência.



**Osvanil Oliveira Pereira**, Mestre em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Santa Catarina (1999) na área de Eletrônica de Potência e Acionamento Elétrico, Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (1996), foi engenheiro na LEMAG Industrial - Itajaí/SC no período de 1999 à 2000 participando de projetos de subestações de transmissão e distribuição, transferindo-se em 2000 para o Grupo Votorantim, através da Companhia Luz e Força "Santa Cruz", na área de planejamento do sistema elétrico. Atualmente ocupa o cargo de Gerente Regional junto a Santa Cruz, a qual foi transferida no final de 2006 para a CPFL Energia.



**Rodolfo Belinato Biazon**, graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Uberlândia em 1.999, no mesmo ano ingressou como engenheiro eletricista no Grupo Votorantim, através da Companhia Luz e Força "Santa Cruz", na área de eficiência energética e pesquisa e desenvolvimento onde ocupa atualmente o cargo de gestor.