



**XXII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GTM/33
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – XIII

**GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES -
GTM**

**PREVENÇÃO DE FALHA EM TRANSFORMADOR TRIFÁSICO 525 KV PELA MONITORAÇÃO ON-LINE DE
TANGENTE DELTA DE BUCHAS**

Rev.: 2.00

Daniel C. P. Araujo*

**Treetech Sistemas
Digitais Ltda.**

Marcos E. G. Alves

**Treetech Sistemas
Digitais Ltda.**

Romulo M. Teixeira

**CEMIG - Companhia
Energética de Minas
Gerais**

Cairo R. N. Moreira

**CEMIG - Companhia
Energética de Minas
Gerais**

RESUMO

As buchas condensivas são parte fundamental no mecanismo de isolamento dos equipamentos de alta tensão. A monitoração deste componente auxilia na detecção precoce de falhas, possibilitando uma manutenção mais efetiva. Será apresentada a experiência da Cemig com a monitoração on-line da capacitância e da tangente delta em buchas de 550 kV e 245 kV de um transformador trifásico da SE Mesquita, além de um TC de pedestal. Poder-se-á verificar a eficácia da monitoração online de buchas na prevenção de uma falha incipiente e como a monitoração da tangente delta é um fator crucial para a antecipação de uma possível falha.

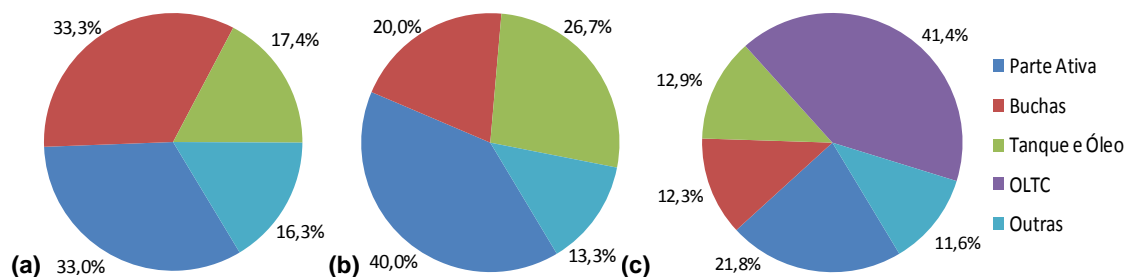
PALAVRAS-CHAVE: Buchas, capacitância, tangente delta, Transformadores, Monitoração.

1.0 - INTRODUÇÃO

Apesar do custo individual das buchas condensivas ser relativamente baixo comparado ao custo total do equipamento onde está aplicada, uma falha na isolação de uma bucha pode causar danos severos ao equipamento, como por exemplo, um transformador de potência, podendo iniciar um incêndio que leve à sua perda total, além do risco de danos a equipamentos vizinhos devido aos cacos de porcelana lançados ou quedas das estruturas dos barramentos associados. Ainda pior que isso, falhas desse tipo podem ser extremamente perigosas se houver pessoas próximas ao equipamento.

Um estudo do Cigré datado de 1983 [1] mostra que uma grande parcela das falhas em transformadores de potência tem origem nas buchas condensivas. Apesar de não haverem estatísticas atuais sobre o tema, o histórico recente de ocorrências com buchas [2], de certa forma, corrobora esta pesquisa. A figura 01 ilustra os dados obtidos nos estudos do Cigré [1]. As alterações nas práticas da manutenção dos ativos, em grande parcela reflexo das novas regras estabelecidas para o setor elétrico, têm levado em conta o paradigma da manutenção baseada no estado real do componente. Este paradigma estipula que o ponto de intervenção ótimo deve ser determinado por técnicas e meios precisos, onde uma parada desnecessária não deve ser realizada. De outra forma, o estado do componente precisa ser verificado continuamente para prevenir falhas abruptas, ocasionada por fatores não previstos.

Neste contexto, a monitoração online de buchas ganha um importante papel, que é o de prevenir possíveis falhas que possam ocorrer entre os intervalos regulares de manutenção e também postergar eventuais manutenções para uma oportunidade economicamente mais conveniente.



(*)Praça Claudino Alves, 141 – Centro – Atibaia – SP – CEP: 12.940-800.

Tel.: +55 (11) 4413-5787 x413 / Fax.: +55 (11) 4413-5991

E-mail: daniel.carrijo@treetech.com.br

Site: <http://www.treetech.com.br>

Figura 01: Estatística das causas para saída de serviço de transformadores. (a) transformadores de usinas, sem OLTC; (b) transformadores de subestações, sem OLTC; (c) transformadores de subestações, com OLTC [1].

Outro fator de ganho que a monitoração online traz é a obtenção de dados antes não conhecidos acerca do comportamento das buchas em condições reais de utilização, incluindo os momentos que antecedem uma falha. O avanço obtido com a análise destes dados é convertido em novas técnicas para a prevenção destas falhas, como mostrado em [03].

2.0 - CONTEXTUALIZAÇÃO DA INSTALAÇÃO DO SISTEMA DE MONITORAÇÃO NA SE MESQUITA

A Subestação Mesquita, objeto deste estudo, esta localizada no município de Santana do Paraíso – MG, próximo à cidade de Ipatinga na região leste de Minas Gerais. Esta subestação supre a carga de grandes consumidores do sistema elétrico de transmissão como a USIMINAS, ARCELOR MITTAL e CENIBRA. Entrou em operação comercial em junho de 1981. Atualmente a potencia de transformação instalada e de 1.200MVA, sendo composta por três autotransformadores de 500 / 230 kV com 400MVA cada, duas linhas de transmissão em 500kV e cinco em 230kV. A Figura 02 mostra a vista aérea da SE Mesquita.



Figura 02: Vista aérea da SE Mesquita, pertencente a Cemig, situada na região leste de Minas Gerais

Em meados de 2005 a Cemig, de forma pioneira, instalou o monitor de buchas condensivas BM da Treetech nas buchas de 550 kV e 245 kV do Autotransformador T-2 da SE Mesquita. Nesta oportunidade também foi instalado o sistema em um TC de pedestal de 550 kV que faz parte do mesmo barramento deste autotransformador. A escolha foi motivada pelas suspeitas em relação a uma determinada família de buchas com histórico de falhas no setor elétrico. Na figura 03 podemos observar detalhes da instalação física do monitor de buchas no autotransformador e no TC de pedestal.



Figura 03: Detalhe das instalações do Sistema de Monitoração realizadas na SE Mesquita, da Cemig

Adicionalmente a monitoração de buchas, foi instalada no T-2 da SE Mesquita a monitoração de umidade no óleo isolante e a integração da monitoração de temperatura do óleo e enrolamentos.

Foi utilizada uma rede sem fio para interligar os sensores no pátio da SE ao sistema de monitoração Sigma que havia sido instalado. A utilização da rede sem fio foi uma forma prática, de baixo custo e segura para a transmissão dos dados dos sensores para o sistema de monitoração.

Desta forma a Cemig tinha fácil acesso a todos os dados e diagnósticos emitidos por estes sensores. Estes dados são utilizados pela manutenção da Cemig para aprimorar o uso do ativo e antever possíveis falhas entre as manutenções e verificações rotineiras.

3.0 - METODOLOGIA PARA MONITORAÇÃO ON-LINE DE CAPACITÂNCIA E TANGENTE DELTA

A capacitância e a tangente delta são reconhecidos como alguns dos principais parâmetros para diagnóstico da condição da isolamento de buchas, pois estes parâmetros são diretamente afetados pela deterioração da isolamento. Por exemplo, camadas de isolamento em curto-circuito causam aumento da capacitância, enquanto o ingresso de umidade por falha na estanqueidade causa aumento na tangente delta.

A norma IEEE C57.19.100-1995 [4] que foi publicada anteriormente à popularização do monitoramento on-line, sugere intervalos típicos de 3 a 6 anos para a realização de ensaios off-line de capacitância e tangente delta.

Um estudo comparativo [5] correlacionando os valores obtidos nas medições off-line de capacitância e tangente delta com as análises de gases dissolvidos no óleo de buchas com suspeita de defeitos em evolução comprova a eficácia das medições de capacitância e tangente delta para o diagnóstico de defeitos em buchas.

A monitoração online é a resposta à necessidade de verificação contínua destes parâmetros, assegurando o estado operacional da bucha e antevendo defeitos na isolamento em estágio inicial. Mas para que a monitoração online das buchas possa ocorrer com segurança, precisão e confiabilidade, alguns pontos críticos precisam ser observados, conforme será descrito nos próximos itens:

3.1 A Medição das correntes de fuga das buchas:

Para que a medição das correntes de fuga provenientes do tap de teste ou do tap de tensão seja realizada de forma segura e eficaz, são necessários adaptadores que servirão de interface elétrica e mecânica entre o tap e os circuitos elétricos que conduzirão a corrente até o local de medição. Os adaptadores de tap utilizados na aplicação da Cemig possuem todos os requisitos para atender a esta aplicação com desempenho e segurança. Na figura 04 são mostrados alguns detalhes desta instalação.



Figura 04: Detalhe dos adaptadores de tap utilizados no sistema de monitoração de buchas BM na SE Mesquita.

Realizando-se uma análise simplificada poder-se-ia considerar que o adaptador de tap é apenas uma tomada para permitir o contato elétrico entre o tap da bucha e a entrada de medição do monitor de buchas. Esta simplificação mostra-se tanto errônea quanto perigosa, já que devemos levar em consideração que o tap da bucha nunca deve permanecer aberto. Dentre as características elétricas que o adaptador deve possuir, para atender aos requisitos de segurança e desempenho da monitoração, destacam-se o seu desenho mecânico diferenciado e a proteção contra falha na conexão elétrica do circuito de medição ou caso de ocorrer uma desconexão acidental.

O adaptador de tap utilizado possui em seu interior um circuito de proteção com dupla função. A primeira é a proteção redundante contra abertura do tap em caso de desconexão acidental dos cabos de ligação entre o adaptador e o módulo de medição do monitor de buchas. Esta proteção tem efeito instantâneo, entrando em ação e limitando a tensão em qualquer parte do circuito secundário do adaptador de tap em ≈ 15 Vac. As proteções utilizadas podem conduzir por tempo indeterminado e são dimensionadas para ensaio de impulso (BIL) 2.050 kV - bucha 765kV. Além disto, cada adaptador possui dupla proteção, que atuando paralelamente, provê proteção redundante.

Estas características são asseguradas por um desenho mecânico que torna estas proteções inacessíveis durante o manuseio e instalação do adaptador. A segunda função é a proteção primária contra sobrecorrentes (vários kA) e sobretensões associadas, que ocorrem no tap da bucha em caso de sobretensões causadas por manobras de chaveamento ou impulsos atmosféricos. Essa função é complementada pela proteção secundária existente no interior do próprio BM, de tal forma que as proteções primária e secundária atuam em conjunto, de forma coordenada, para evitar danos ao BM e ao adaptador.

3.2 O tratamento matemático e estatístico das medições para extrair as informações de capacitância e tangente delta da isolamento:

A medição de grandezas elétricas da ordem de mA e μ A em ambientes eletromagneticamente agressivos, como o de uma subestação de alta tensão, tem sido um desafio constante na elaboração de sistemas precisos e confiáveis para a monitoração de equipamentos elétricos. No caso específico da monitoração de buchas, algumas técnicas são empregadas para abordar este desafio.

A Treetech adotou em seu monitor de buchas condensivas a técnica da soma vetorial das correntes de fuga das buchas de um conjunto trifásico. Esta técnica apresenta algumas vantagens, como a monitoração on-line de alterações tanto da capacitância quanto da tangente delta, além de não demandar a medição das tensões fase-terra aplicadas às buchas. Algumas técnicas não são capazes de monitorar a tangente delta. Outras têm como requisito a medição das tensões fase-terra aplicadas às buchas, sendo que muitas vezes não existem transformadores de potencial disponíveis na instalação para prover esta informação.

Em cada uma das buchas a corrente de fuga flui através da capacitância C1 para terra, passando pelo tap capacitivo, sendo esta corrente função da tensão fase-terra e da impedância da isolamento. Uma alteração nesta corrente refletiria uma alteração na impedância da bucha. Em princípio, esta corrente poderia ser utilizada para mensurar esta alteração. Não obstante, a característica predominantemente capacitiva da corrente de fuga e a ordem de grandeza das alterações que se deseja medir levam ao desafio de se medir alterações da ordem de grandeza de 0,6% no fator de dissipação – que pode ser a diferença entre uma bucha nova e uma bucha em risco – sendo que esta alteração praticamente não altera a corrente de fuga total que flui de uma bucha.

A técnica da soma vetorial das correntes de fuga, utilizada para contornar esta dificuldade, tira proveito do fato das três correntes de fuga estarem defasadas entre si em aproximadamente 120° , e normalmente tem a mesma ordem de magnitude. Com isso, a somatória vetorial tende a um valor bastante menor que cada uma das correntes de fuga tomadas individualmente, como ilustrado na Figura 05(a) para uma dada condição inicial de capacitâncias e tangentes deltas.

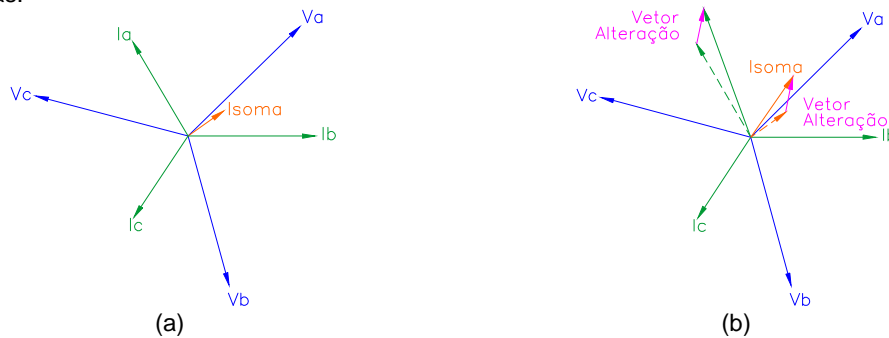


Figura05: Correntes de fuga de três buchas em um sistema trifásico e sua somatória; (a) Para uma dada condição inicial; (b) Com alteração na capacitância e fator de dissipação da bucha da fase A.

Supondo agora uma alteração na capacitância e no fator de dissipação da bucha da fase A, como mostrado na Figura 5(b), o vetor alteração que expressa o deslocamento da corrente I_a de seu valor inicial até seu valor final se reflete também na corrente somatória, que é alterada em relação a seu valor inicial segundo o mesmo vetor alteração.

Este vetor alteração tem peso praticamente insignificante quando comparado à magnitude da corrente de fuga da fase A. Porém o mesmo não ocorre quando este vetor é comparado à corrente somatória, o que permite sua detecção e, por conseguinte, a detecção da alteração ocorrida na impedância da bucha em questão. Dessa forma, a técnica da soma vetorial das correntes de fuga proporciona um aumento de sensibilidade que viabiliza a monitoração das alterações ocorridas tanto na capacitância quanto na tangente delta da isolamento.

No entanto, as correntes de fuga das buchas são função não apenas das suas capacitâncias e tangentes deltas, mas também das tensões fase-terra do sistema. Uma vez que essas últimas frequentemente não estão disponíveis para medição pelo sistema de monitoramento, como explanado anteriormente, a possível influência de variações nas tensões fase-terra sobre as medições de variações na capacitância e tangente delta é eliminada por técnicas proprietárias avançadas de processamento de sinais, que incluem também tratamentos estatísticos dos dados.

Esses tratamentos estatísticos pressupõem o uso de uma massa de dados, acumulada ao longo do tempo de operação do sistema, a qual é atualizada continuamente com as medições de correntes de fuga e corrente somatória mais recentes. Por esse motivo, o sistema de monitoramento on-line possui um tempo de resposta às variações ocorridas na capacitância e na tangente delta que pode variar de várias horas a alguns dias, a fim de confirmar que a alteração de capacitância e/ou tangente delta é real, e não causada por oscilações nas tensões do sistema elétrico.

As alterações de capacitância e tangente delta são utilizadas para incrementar os valores iniciais programados no BM. Desta forma, com o valor inicial e as alterações ocorridas posteriormente, o BM indica o valor atual da capacitância e tangente delta correspondente ao obtido em um ensaio off-line da bucha.

4.0 - ESTUDO DE CASO: OCORRÊNCIA NA SE MESQUITA – CEMIG

Durante o período de 2005 a 2010 o sistema de monitoração esteve em operação contínua. Não foi registrado nenhum alarme sobre o estado da bucha, indicando que até então a bucha apresentara funcionamento normal. A tabela 01 apresenta os parâmetros iniciais da monitoração de buchas do T-2 e do TC de pedestal.

Tabela 01: Valores iniciais da monitoração de buchas do T-2 e TC de Pedestal

Fase	550 kV		245 kV		TC 550 kV	
	Capacitância	Tangente Delta	Capacitância	Tangente Delta	Capacitância	Tangente Delta
A	583,0 pF	0,180 %	511,0 pF	0,360 %	472,0 pF	0,300 %
B	583,0 pF	0,180 %	519,0 pF	0,360 %	470,0 pF	0,300 %
C	583,0 pF	0,180 %	511,0 pF	0,360 %	475,0 pF	0,300 %

Os valores dos alarmes de capacitância alta e muito alta foram parametrizados para uma variação de 3% e 5% do valor inicial. Os valores dos alarmes de tangente delta alto e muito alto foram parametrizados para uma variação de 100% e 200% do valor inicial. A tabela 02 mostra estes valores em pF e %.

Tabela 02: Parametrização dos alarmes da monitoração de buchas do T-2 e TC de Pedestal

Fase	550 kV				245 kV				TC 550 kV			
	Capacitância (pF)		Tangente Delta (%)		Capacitância (pF)		Tangente Delta (%)		Capacitância (pF)		Tangente Delta (%)	
	Alto	Muito Alto	Alto	Muito Alto	Alto	Muito Alto	Alto	Muito Alto	Alto	Muito Alto	Alto	Muito Alto
A	600,49	612,1	0,360	0,540	526,3	536,5	0,720	1,080	486,2	495,6	0,600	0,900
B	600,49	612,1	0,360	0,540	534,5	544,9	0,720	1,080	484,1	493,5	0,600	0,900
C	600,49	612,1	0,360	0,540	526,3	536,5	0,720	1,080	489,3	498,8	0,600	0,900

No dia 20/02/2011, domingo, o monitor de buchas indicou um alarme de tendência de capacitância alta na bucha de 230 kV, fase B. Os operadores da SE Mesquita notificaram a Engenharia de Manutenção da Cemig sobre a ocorrência deste alarme [6].

No dia 22/02/2011, terça-feira, a Engenharia de Manutenção da Cemig entrou em contato com a Treetech para que este alarme fosse verificado. Nesta data, o alarme por tendência de crescimento da capacitância indicava 9 dias restantes para atingir o valor programado de alarme de capacitância alta. O BM também indicava que o tempo restante para que a medição alcançasse o valor de alarme da tangente delta alto eram de 63 dias. Na tabela 03 são apresentados os valores mensurados pelo monitor de buchas no momento da análise.

Tabela 03: Valores da monitoração de buchas no dia 22/02/2011, no momento da análise

Fase	550 kV		245 kV		TC 550 kV	
	Capacitância	Tangente Delta	Capacitância	Tangente Delta	Capacitância	Tangente Delta
A	583,0 pF	0,202 %	511,0 pF	0,360 %	472,0 pF	0,300 %
B	583,0 pF	0,180 %	529,8 pF	0,454 %	470,0 pF	0,300 %
C	583,0 pF	0,180 %	511,0 pF	0,360 %	475,0 pF	0,300 %

Podemos verificar que houve uma variação de 2,08% na capacitância e 26,11% na tangente delta da bucha de 245 kV fase B. Todas as análises pertinentes foram realizadas e a tendência de crescimento tanto da capacitância quanto da tangente delta foram confirmadas. Após esta confirmação, a equipe de engenharia da Cemig programou um desligamento para o dia 27/02/2011, domingo, para a realização de ensaios off-line que pudessem comprovar a situação da bucha. A Cemig também já se preparou para substituir a bucha, caso se confirmasse o problema.

A partir deste ponto, tanto a Cemig quanto a Treetech mobilizaram corpo técnico para acompanhar a evolução das medições apontadas pelo sistema com o objetivo de manter a segurança operacional.

No gráfico 01 são apresentadas as medições até o dia 22/02/2011.

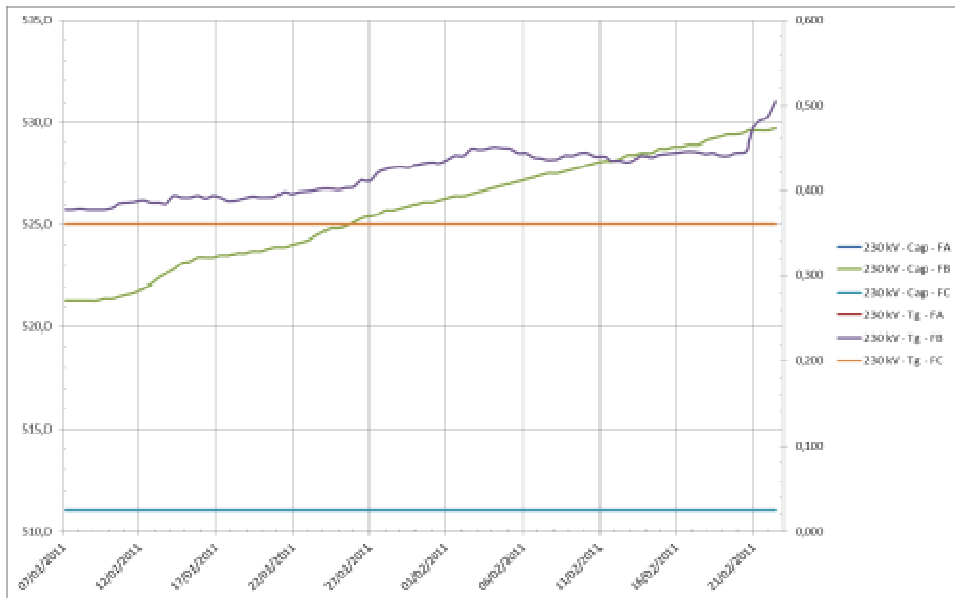


Gráfico 01 – Evolução dos valores de capacitância e tangente delta do conjunto de 245 kV

Até o sábado anterior ao desligamento programado, os valores de capacitância e tangente delta evoluíram conforme o previsto pela monitoração, não havendo necessidade de reprogramação.

Ainda no sábado dia 26/02/2011, às 11:55, o monitor de buchas BM acusou um aumento súbito do valor de tangente delta da fase B do conjunto de 245 kV. O monitor variou a indicação de tangente delta, em um intervalo de tempo muito curto, de 0,490% para 1,263%, superando os limites do alarme muito alto, enquanto que a capacitância medida variou pouco, com o valor de 530,1 pF. A equipe Cemig e Treotech que estavam de plantão no local realizaram análises baseadas nas indicações do sistema e verificaram a consistência da indicação.

A equipe Operação e de Engenharia de Manutenção da Cemig em um trabalho conjunto, tomaram ações imediatas e iniciaram as negociações para um desligamento emergencial do transformador. Como se trata de um equipamento pertencente à Rede Básica do Sistema Interligado Nacional, o desligamento foi negociado junto ao ONS que autorizou a retirada de operação do autotransformador T-2 às 15:13 pelo CLM 748/201, já que a manobra ocorreu em tempo real.

A Cemig imediatamente enviou uma equipe para realizar as primeiras medições off-line na bucha suspeita, tão logo o transformador fosse desligado, para verificar a validade das indicações da monitoração online. Durante esta espera, equipes de ambas as empresas acompanhavam online a evolução da tangente delta, que passou a crescer de forma agressiva até o momento do desligamento, atingindo 3,331 % em seu momento mais crítico. O gráfico 02 mostra a evolução crítica ocorrida nos momentos que antecederam o desligamento.

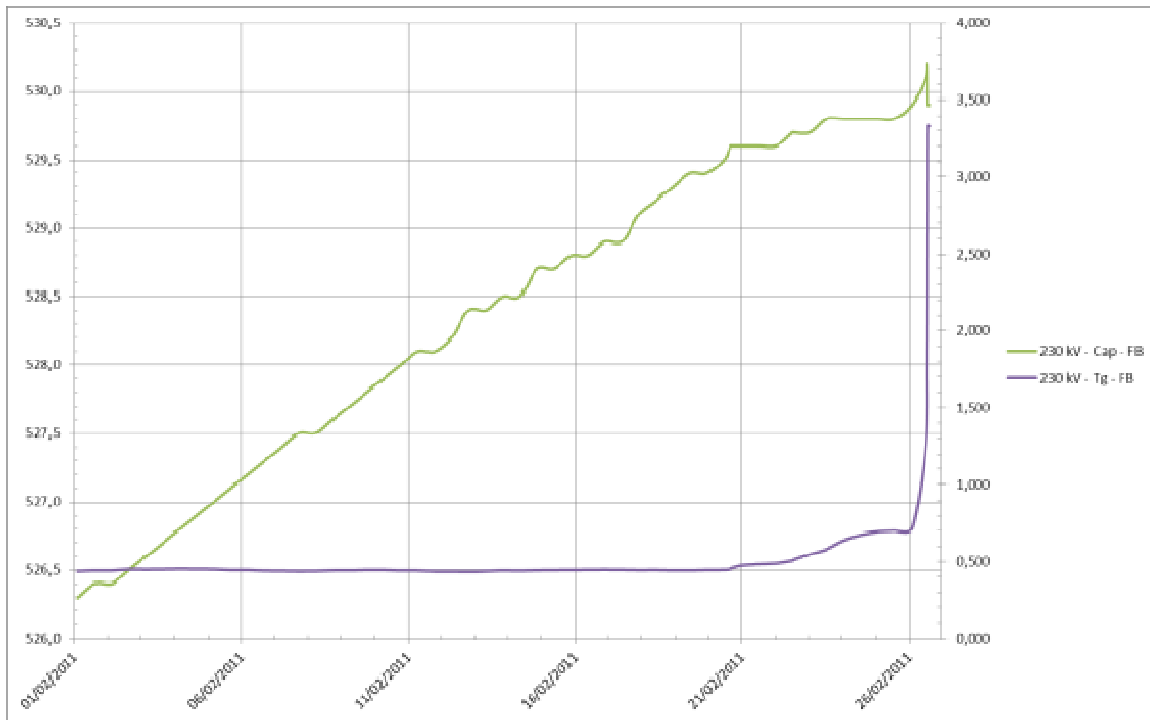


Gráfico 02 – Detalhe da evolução dos valores monitorados nos momentos que antecederam o desligamento.

Por volta das 15:40 as manobras necessárias para o desligamento foram encerradas e o transformador, devidamente isolado teve a bucha suspeita submetida ao ensaio off-line. Seguindo a recomendação da equipe Treotech presente, a equipe da Cemig mensurou os valores de tangente delta tão logo fosse possível, devido ao fato da tangente delta variar com a temperatura. O comportamento típico é que os valores de tangente delta diminuam com a temperatura para uma mesma condição de deterioração da isolação. Por isso a importância desta medição ser feita tão logo fosse possível. No momento do desligamento, o monitor de buchas indicava um valor de capacitância de 529,9 pF e 3,329% para a tangente delta. A tabela 04 mostra os dados obtidos pelas medições off-line e pelo sistema de monitoração online.

Tabela 04: Valores das medições off-line e online na bucha suspeita

Fonte	245 kV		
	Capacitância (pF)	Tangente Delta (%)	Observações
Monitor online BM	529,90	3,329	-
Medição Off-line	517,28	2,600	Temperatura ambiente: 34 °C Temperatura de Topo do Óleo: 61,3 °C
Contraprova da Medição Off-line	517,60	2,440	Temperatura ambiente: 32 °C Temperatura de Topo do Óleo: 56,4 °C

Após as medições off-line confirmarem as indicações da monitoração online, a Cemig decidiu manter o transformador desligado até a troca da bucha defeituosa. A troca foi agendada para a segunda-feira, dia 28/02/2011.

No domingo, dia 27/02/2011, com a chegada da equipe Cemig que realizaria a troca da bucha no dia seguinte, foram realizadas novas medições off-line com um instrumento de fabricante diferente do utilizado no dia anterior, com a intenção de corroborar os dados anteriormente obtidos. A Tabela 05 mostra os dados desta nova medição.

Tabela 05: Valores da nova verificação off-line realizada.

Fonte	245 kV		
	Capacitância (pF)	Tangente Delta (%)	Observações
Medição Off-line	515,00	0,780	Temperatura ambiente: 31 °C Temperatura de Topo do Óleo: 34,8 °C
Contraprova da Medição Off-line	514,10	0,910	Temperatura ambiente: 31 °C Temperatura de Topo do Óleo: 34,8 °C

Com estas novas medições, verificou-se que a bucha apresentava significativa alteração na tangente delta mesmo nas condições mais favoráveis de temperatura. As variações nas medições foram as esperadas e optou-se por manter o planejamento de troca da bucha.

Nesta oportunidade também foi realizada uma inspeção visual na bucha a fim de tentar determinar uma possível causa para o defeito apresentado. A equipe de manutenção da Cemig detectou um local onde havia um pequeno vazamento de óleo na parte inferior da bucha, próximo a flange. Este vazamento poderia ser a causa do sintoma apresentado. Na figura 06 é mostrado o ponto de vazamento detectado.



Figura 06: Equipe Cemig realizando a troca da bucha defeituosa.

No dia 28/02/2011 foi realizada a manutenção para a troca da bucha defeituosa. A Figura 07 mostra algumas etapas da operação realizada pela equipe da Cemig.



Figura 07: Equipe Cemig realizando a troca da bucha defeituosa.

Para compreender melhor o tipo de falta que ocorreu na bucha e causou a alteração dos seus parâmetros dielétricos, foi coletada amostra do óleo isolante para análise gás-cromatográfica no laboratório da Cemig. Os resultados da análise são mostrados na Tabela 06.

Tabela 06: Resultados da análise gás-cromatográfica no óleo da bucha defeituosa.

Gases Dissolvidos	H ₂	O ₂	N ₂	CH ₄	CO	CO ₂	C ₂ H ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₂	Total de Gases Combustíveis
Concentração em PPM	5.446,0	18.750,0	82.987,0	869,0	130,0	550,0	3,7	325,0	0,0	6.773,0

Os valores destacados em vermelho são os que ultrapassaram os valores típicos indicados na norma IEC 60599 ed2.1– *Mineral oil-impregnated electrical equipment in service - Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis* tabela A.9 [7], reproduzida na Tabela 06.

Tabela 06: Valores de referência, conforme IEC 60599 ed2.1

Table A.9 – 95 % typical concentration values in bushings						
Values in microlitres per litre						
H ₂	CO	CO ₂	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₂ H ₄	C ₂ H ₂
140	1 000	3 400	40	70	30	2

Pode-se notar que o resultado desta análise gás-cromatográfica apresentou valores elevados de H₂, confirmando a existência de um defeito. A correlação dos outros gases pelo método de do Triângulo de Duval, apresentado na Figura 08, mostra que este defeito encontra-se em estado inicial, podendo ser tipificado como descargas parciais de baixa energia, com indícios de evolução para descargas parciais de média energia. Não foram encontrados gases combustíveis indicadores de arco e elevado sobreaquecimento, como o C₂H₄ e C₂H₂, o que se mostra coerente com o fato de não ter havido alteração significativa da capacitância.

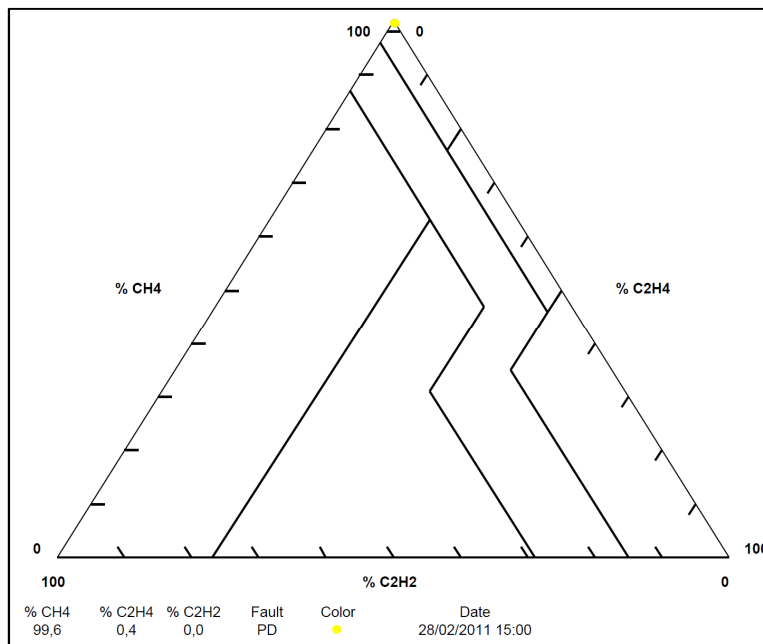


Figura 08: Triângulo de Duval e suas zonas de diagnóstico

Isso mostra que a decisão de desligamento foi acertada e que o sistema de monitoramento funcionou corretamente, evitando uma provável explosão de bucha e sérios danos ao transformador.

5.0 - CONCLUSÃO

Em meio a crescente exigência por melhores índices de qualidade, disponibilidade e confiabilidade a Cemig, motivada pelas suspeitas em relação a uma determinada família de buchas com histórico de falhas no setor elétrico, instalou na SE Mesquita o monitor de buchas condensivas BM da Tretech nas buchas de 550 kV e 245 kV do autotransformador T-2 e também em um TC de pedestal de 550 kV.

Além deste fator motivador, sabe-se que o monitoramento on-line de buchas pode contribuir para a redução dos custos de manutenção através de melhorias no processo de planejamento da manutenção e na utilização intensiva do paradigma da manutenção sob condição, reduzindo os desligamentos para ensaios de rotina.

Adicionalmente, a monitoração on-line têm fornecido dados valiosos sobre a forma e tempo de evolução dos defeitos neste componente. A instalação do sistema de monitoração de buchas condensivas BM proporcionou diversas vantagens, sendo que os objetivos primordiais abaixo listados foram plenamente atendidos:

- A redução de risco de falhas com o diagnóstico das buchas em tempo real;
- O aumento de disponibilidade por meio da realização de manutenção preditiva ao invés da manutenção preventiva (redução de desligamentos para manutenção);
- A redução dos custos de manutenção ao se evitarem manutenções desnecessárias;
- A preservação e melhora da imagem corporativa com a redução de desligamentos e de falhas catastróficas.

O artigo demonstrou a importância e efetividade da monitoração on-line de capacitância e tangente delta de buchas, salientando a importância da monitoração da tangente delta para detecção de defeitos em fase inicial, uma vez que na experiência descrita não houve alteração significativa de capacitância, embora a tangente delta tenha aumentado em dez vezes seu valor em relação aos valores iniciais dos ensaios off-line.

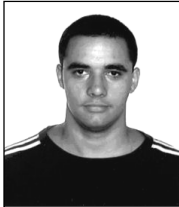
Foi demonstrado que, dessa maneira, as falhas em buchas podem ser detectadas em tempo real, evitando assim danos severos ao equipamento devido à explosão e possível incêndio reduzindo os prejuízos originados por falhas intempestivas de buchas condensivas.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ELECTRA, "An International Survey on Failures in Large Power Transformers in Service", Paris, CIGRE, Ref. no. 88, 1983.
- [2] Melo, Marcos A. C., Alves, Marcos, "Experiência com Monitoração On-Line de capacitância e tangente delta de Buchas Condensivas", XIX SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Rio de Janeiro, Brasil, 2007.
- [3] Alves, Marcos, Pena, Miguel C Medina, Severino, Cláudio "DEFEITOS DE EVOLUÇÃO RÁPIDA E MUITO RÁPIDA EM BUCHAS DETECTADOS POR MONITORAMENTO ON-LINE", XXI SNPTEE – Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. Florianópolis, Brasil, 20011.

- [4] The Institute of Electrical and Electronic Engineers, ANSI/IEEE Std C57.19.100-1995, "IEEE Guide for Application of Power Apparatus Bushings", Março/1995
- [5] Melo, Marcos A. C., "Investigação de Ocorrências em Buchas de Transformadores e Reatores Utilizando o Doble M-4000", IV Conferência da Doble Brasil – Cemig. Belo Horizonte, Brasil, 2003.
- [6] Relatório Técnico de Ocorrência – SE Mesquita – 04/2011
- [7] IEC 60599 ed2.1– Mineral oil-impregnated electrical equipment in service - Guide to the interpretation of dissolved and free gases analysis

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Daniel Carrizo Polonio Araujo recebeu Diploma de Graduação em Engenharia Industrial Elétrica no ano de 2005 pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG, com ênfase em Sistemas Elétricos Industriais e Sistemas Elétricos de Telecomunicações. Recebeu o Diploma de Mestre em Engenharia Elétrica no ano de 2009 pela UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais, na área de concentração de Sinais e Sistemas com a linha de pesquisa em Sistemas de Controle e Automação de Processos. Atualmente é doutorando na UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. Sua área de concentração é em Engenharia de Potência e sua linha de pesquisa é em Sistemas de Energia Elétrica. Trabalha na Treotech Sistemas Digitais Ltda. desde 2007. Atualmente colabora simultaneamente com a Engenharia de PD&I e a Engenharia de Produto. Áreas de atuação e interesse: Sistemas de monitoração para equipamentos de alta tensão, pesquisa de métodos preditivos para a manutenção, ensaios e diagnósticos em equipamentos elétricos, engenharia de manutenção e métodos de melhoria do processo de manutenção.



Marcos E. G. Alves (M'2007) Nascido no Rio de Janeiro, RJ, em 15 de Julho de 1975, trabalha com a Treotech desde 1992. Especializado em sistemas de controle e monitoramento de transformadores de potência, coordena o departamento de PD&I. Formou-se engenheiro elétrico em 2001 pela Universidade São Judas Tadeu, SP, e em 2005 concluiu o Mestrado na área de Energia e Automação da Universidade de São Paulo (USP). Está cursando atualmente o doutorado em Energia pela mesma universidade.



Romulo M. Teixeira recebeu o diploma de Graduação em Engenharia Elétrica em 2006 pela Universidade Federal de Minas Gerais. Em 2010 concluiu a pós-graduação em Engenharia de Sistemas Elétricos de Potência, pela Universidade Federal de Minas Gerais. Trabalha na Cemig desde julho de 2006 e atualmente trabalha na Gerência de Planejamento e Engenharia de Manutenção da Transmissão, na área de equipamentos de Transformação e Manobra.



Cairo R. N. Moreira, nascido na cidade de Governador Valadares, 17 de Janeiro de 1969, trabalha na CEMIG desde 1987, é especializado em subestações de extra-alta tensão. Formado em eletrotécnica em 1997, supervisiona as atividades de operação e manutenção na subestação Mesquita.