



GSE/021

21 a 26 de Outubro de 2001  
Campinas - São Paulo - Brasil

## GRUPO VIII

### GRUPO DE ESTUDOS DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS – GSE

#### CRITÉRIOS PARA APLICAÇÃO DE SISTEMAS ESPECIALISTAS PARA DIAGNÓSTICOS DE FALHAS EM EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÕES

Antonio Carlos Teixeira Diogo    Eduardo Moreira Carneiro\*    Gilberto Stelzer  
Jayme de O. B. Nunes    José Flavio Silva    Takayuti Kobayashi

#### COMPANHIA DE TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA PAULISTA – CTEEP

##### RESUMO

O informe enfoca a definição de critérios para instalação de sistemas de monitoramento em equipamentos de subestações, que poderão servir como uma poderosa ferramenta para redução de custos de manutenção e de índices de indisponibilidade.

Extrai-se as falhas com saída forçada, ocorridas de 1996 a 2000 em disjuntores instalados em tensão igual ou superior a 230 KV e em transformadores instalados em tensão igual ou superior a 138 KV, permitindo visualizar o custo atualizado das falhas, que teriam sido identificadas pelo sistema de monitoramento, quando ainda incipientes.

Estes números, confrontados com a eficiência dos sensores para monitoramento, contribuirão para definir critérios de implantação.

##### PALAVRAS CHAVES

Sistemas de Monitoramento “On Line”, Sistemas Especialistas, Diagnósticos de Falhas Incipientes

##### 1. INTRODUÇÃO

A CTEEP, juntamente com outras concessionárias de energia elétrica vem trabalhando no desenvolvimento de um sistema especialista para detecção e diagnóstico de falhas incipientes, para aplicação em transformadores de potência e disjuntores. Este sistema, foi desenvolvido em conjunto com O Instituto de Energia Elétrica da Universidade de São Paulo – IEE - USP e se assemelha com alguns sistemas recentemente ofertados no mercado, e ainda

apresentam custo importante de investimento inicial, para uma tecnologia com eficiência ainda a comprovar.

Na aplicação destes sistemas, existem, pelo menos, dois pontos de vista diametralmente opostos com relação a eficiência dos mesmos e o retorno esperado. Um mais agressivo que defende a implantação de tais sistemas em todos os equipamentos vitais e outro, mais conservador, que defende aplicação dos mesmos, em equipamentos vitais para o sistema elétrico de potência e com tempo de operação acima da média, seguindo uma tendência mundial de se comprovar a eficiência desses sistemas.

##### 2. – UNIVERSO DE DISJUNTORES DA CTEEP

O universo de disjuntores instalados nas subestações da CTEEP, em classe de tensão superior a 69 KV, atinge 890 unidades, das quais 261 unidades (29 %) estão instaladas em sistemas com tensão igual ou superior a 230 KV, assim distribuídas:

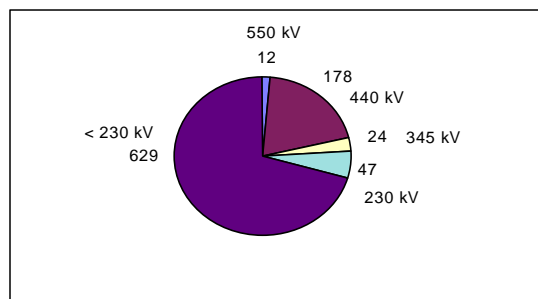


Figura 1 - Distribuição de disjuntores por nível de tensão

Este universo abrange diversos tipos de acionamentos, (mola, ar comprimido, hidráulico) e diversos tipos de meio de extinção ( SF<sub>6</sub>, PVO , GVO e ar comprimido). Não obstante a idade média dos disjuntores seja superior a 26 anos, a Figura 2 mostra a taxa de falha acumulada deste universo, nos últimos 10 anos, praticamente estável e com valores inferiores ao patamar estabelecidos pelo CIGRÈ (0,024 PU).

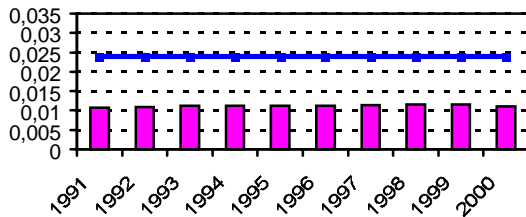


Figura 2- Taxa de Falha p/ Saída Forçada Acumulada (PU)

A Figura 3 demonstra que a maior contribuição para esta taxa de falha, é devida aos disjuntores com sistema de extinção a ar comprimido 213 unidades, entre os quais encontram-se 166 unidades, (78%), de disjuntores da família PK de diferentes modelos.

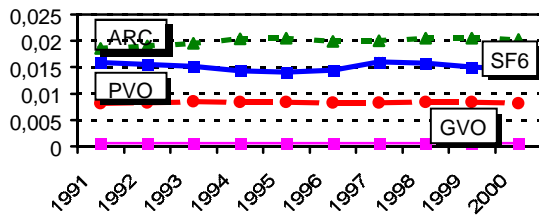


Figura 3 – Taxa de Falha p/ Saída Forçada x Meio de Extinção

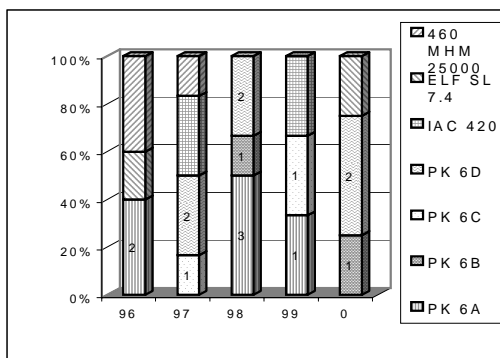


Figura 4 – Distribuição das Falhas por Saída Forçada- Tensão > 230 KV.

A Figura 4, mostra nos últimos 5 anos em números absolutos, falhas por ano, envolvendo os disjuntores instalados em tensão igual ou superior a 230 KV,

confirmando a contribuição do sistema de extinção a ar comprimido, para o acréscimo da taxa de falha acumulada.

## 2.1. - Custo da Indisponibilidade por Saída Forçada de Disjuntores

O custo atualizado das ocorrências, do período 1996 a 2000, em disjuntores instalados em tensão igual ou superior a 230 KV foi calculado, a título de exemplo, somente para os disjuntores PK, por ser o universo mais representativo, e com base em algumas premissas:

- Utilizou-se o tempo de desligamento efetivamente registrado, de cada ocorrência.
- O custo das falhas foi calculado pelo custo de indisponibilidade de cada circuito, fornecido pela ANEEL e para aquelas falhas passíveis de serem diagnosticadas previamente.
- Foi utilizado o critério para penalização de saída forçada, isto é para as primeiras 5 horas de desligamento, o fator K = 15, e a partir da sexta hora o fator K=1.

Voltando a Figura 4, dentre as 24 falhas ocorridas no período, 16 falhas (67%) ocorreram na família PK. Seguramente 12 delas teriam sido diagnosticadas previamente. O custo da indisponibilidade ocasionada por estas 12 falhas, calculado pelos critérios atuais, supera a cifra de R\$ 547.161,00 (somente o custo devido a desligamentos forçados), aos quais devem ser acrescidos os custos, para reparo ou substituição do equipamento. No caso as 3 falhas seguidas de explosões, que teriam sido evitadas, o custo para reposição do equipamento, supera a cifra de R\$ 450.000,00, totalizando em 5 anos um prejuízo de R\$ 1.000.000,00, aproximadamente.

## 2.2. Critério para Definição de Prioridade para Instalação de Monitoramento em Disjuntores

Pelo exposto, o critério para definição da prioridade para implantação de sistemas para monitoramento e diagnósticos de falhas incipientes em disjuntores, na CTEEP deve, sem sombra de dúvida, contemplar os disjuntores da família PK e focar também, outros aspectos, combinados:

- idade dos equipamentos
- penalização por saída forçada elevada;
- sistemas de extinção a ar comprimido;
- energia interrompida acumulada ( $I^2 t$ ) ou numero de aberturas em condição de curto circuito;
- quantidade de equipamentos instalados no sistema

Também deve ser considerado como fator importante na decisão para implantação de monitoramento e diagnóstico “On Line” em disjuntores, o fator idade dos equipamentos, posto que outro dado disponível nos relatórios anuais de desempenho de disjuntores, é a incidência de falhas igual a 0 (zero), para equipamentos com idade inferior a 10 anos e a ocorrência de maior número de falhas em equipamentos mais antigos, por fadiga natural do equipamento. A Figura 5 demonstra esta maior incidência de falhas em equipamentos mais antigos.

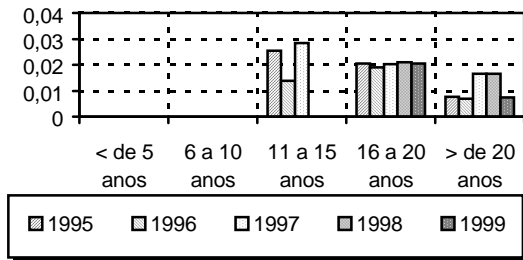


Figura 5 – Taxa de Falha por Saída Forçada em Função da Idade

### 2.3. - O Sistema de Monitoramento de Disjuntores

No projeto de monitoramento de disjuntores em aplicação na CTEEP, as grandezas monitoradas nos disjuntores são:

Grandezas analógicas: temperatura ambiente, pressão (ar comprimido, sistema hidráulico, SF<sub>6</sub>);

Grandezas digitais rápidas: - contatos auxiliares dos pólos A, B e V; contatos do comando de fechamento e de abertura principal e secundária; contatos auxiliares dos pressostatos do sistema de comando, pressão mínima, eletroválvula de recarga, discordância de polos e bloqueio de abertura

Oscilografia das correntes fases A, B, e V, das bobinas de abertura dos polos, das bobinas de fechamento dos polos, das bobinas de segurança, pressão dos polos e percurso dos contatos auxiliares dos pólos, ou principais se disponíveis.

## 3. - O UNIVERSO DE TRANSFORMADORES DE TRANSMISSÃO NA CTEEP

A capacidade de transformação do Sistema de Potência da CTEEP é de 18.118 MVA, sendo garantida por 284 transformadores de transmissão de tensão de 69 KV até 550 KV, das quais 250 unidades (88%) estão instaladas em sistemas com tensão igual

ou superior a 138 KV, assim distribuídas conforme a figura 6.

A idade média atual destes equipamentos é de 24 anos, e pode-se observar pela figura 7, que a taxa de falha com saída forçada de 1996 a 2000, apresenta um valor médio superior ao valor de referência da CIGRÉ, que é de 0,0152.

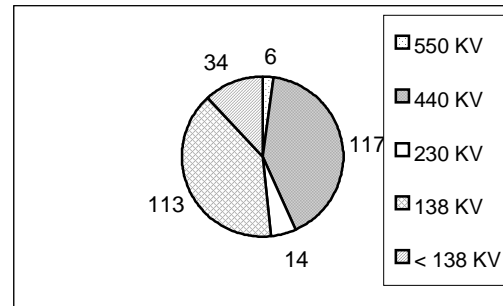


Figura 6 - Distribuição de transformadores por nível de tensão

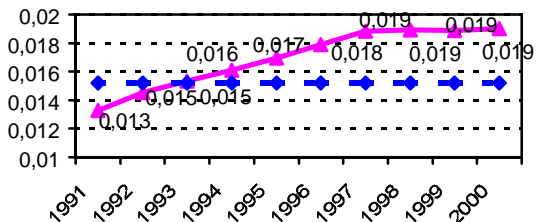


Figura 7 – Taxa de falha com saída forçada acumulada de Transformadores da CTEEP

### 3.1 Custo da Indisponibilidade por Saída Forçada de Transformadores

O custo atualizado das ocorrências, do período 1996 a 2000, em transformadores instalados em tensão igual ou superior a 138 KV foi calculado, a título de exemplo com base nas mesmas premissas utilizadas para os disjuntores:

Estudando as falhas relacionadas na Figura 8, dentre as 47 falhas ocorridas, seguramente 15 falhas (32%) teriam sido evitadas, pois pelo menos uma das grandezas monitoradas apresentaria alteração significativa em relação a um valor médio histórico.

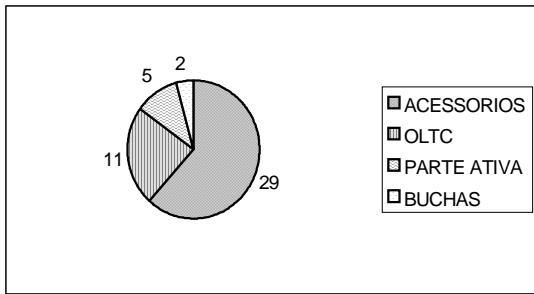


Figura 8 – Falhas com saídas forçadas de transformadores em classe de tensão 138 a 550 KV

O custo da indisponibilidade ocasionada por estas falhas, calculado pelos critérios atuais, monta a R\$ 35.027,70, em cinco anos, que não são representativos face ao custo de um sistema para monitoramento de um transformador. No entanto, o custo dispendido pela CTEEP para reparar os 5 transformadores que apresentaram falha elétrica na parte ativa, atingiu a cifra de R\$1.500.000,00, que é a parte preponderante do prejuízo.

### 3.2 Critério para Definição da Aplicação de Monitoramento em Transformadores

Fica evidente que a grande maioria das falhas (29 ou 62% do total), se originou nos acessórios dos transformadores (relé de gás, termômetros de óleo e enrolamento, válvula de alívio de pressão, etc.), com a particularidade de que praticamente todas os desligamentos foram ocasionados por atuação indevida desses dispositivos de proteção. Interessante também observar que apenas 5 falhas, ou 11% do total, foram em função de problemas elétricos na parte ativa do transformador, que todavia provocaram danos severos ao equipamento e com consequentes serviços especializados de reparo de elevado custo.

Contudo independentemente da gravidade da ocorrência, todas retiraram um equipamento prioritário de operação de maneira intempestiva, sem qualquer possibilidade de detecção prévia do problema.

Por essa ótica, um sistema de monitoramento associado a um software especialista, poderá diagnosticar previamente um problema interno ainda incipiente, permitindo a retirada de operação do equipamento de maneira programada; diminuindo não somente o risco para o Sistema Integrado como também evitando um dano maior na sua parte ativa, com sensível redução nos custos de reparo. Os recursos atuais disponíveis no mercado já estão sendo implantados em busca desta melhoria.

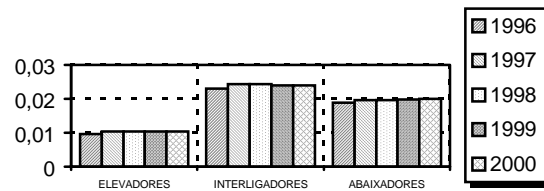


Figura 9 – Taxa de falha c/ saída forçada acumulada por função do transformador

A Figura 9 mostra a distribuição de falhas com saída forçada acumulada, de transformadores, por função no sistema: elevadores, interligadores e abaixadores, e deixa evidente que o critério para definição da prioridade para implantação de sistemas para monitoramento e diagnósticos de falhas incipiente em transformadores, na CTEEP, deve contemplar, prioritariamente, os transformadores interligadores e enfocar também, outros aspectos, combinados:

- grau de importância no sistema elétrico interligado;
- condição de envelhecimento da isolação sólida;
- transformadores mais solicitados em termos de carregamento;
- condição de umidade no óleo isolante

### 3.3 O Sistema de Monitoramento de Transformadores

No projeto de monitoramento, as grandezas monitoradas nos transformadores de transmissão são: correntes e tensão de fase, temperatura, nível de gases combustíveis dissolvidos no óleo, teor de umidade e saturação relativa de água no óleo isolante, posição do “tap” do comutador, diferença de temperatura entre comutador e transformador, correntes do motor do comutador, operação dos ventiladores, registros dos instantes de acionamento do motor do comutador. Sabemos que outros sensores estão sendo desenvolvidos e aperfeiçoados pelo mercado e que brevemente também poderemos monitorar outras variáveis como: descargas parciais (parte ativa e bucha), temperatura do ponto mais quente (tomada diretamente por fibra ótica), parâmetros mecânicos do OLTC, etc.

## 4. CONCLUSÃO

Os sistemas de monitoramento se aplicados com critérios objetivos podem ser uma valiosa ferramenta de apoio a manutenção, para redução de custos de

manutenção e redução de desligamentos forçados criando a oportunidade para se alterar gradativamente a filosofia de manutenção de base em tempo de operação para manutenção preditiva.

Para equipamentos novos, é interessante que sejam implantados com sistemas de monitoramento, tendo o cuidado de ponderar o custo total do equipamento, com o custo do sistema de monitoramento. No mínimo devem ser adquiridos somente os sensores já montados, visto que são a parte mais complexa e onerosa de se implantar com o equipamento em operação.

Durante a especificação de tais sistemas, especial atenção deve ser dispensada ao parâmetro vida útil, principalmente para o monitoramento de disjuntores, visto que as falhas se iniciam a partir do décimo ano de vida e portanto, o sistema eletrônico poderá estar obsoleto, isto exige sensores padronizados para que se possa eventualmente fazer substituição dos mesmos e da eletrônica periférica.

#### BIBLIOGRAFIA

- (1) Relatórios Estatísticos de Desempenho de Disjuntores da CTEEP no período de 1996 a 2000; CTEEP - Brasil
- (2) Relatórios Estatísticos de Desempenho de Transformadores da CTEEP no período de 1996 a 2000; CTEEP - Brasil