

## Capítulo IX

# Diagnóstico dos cabos subterrâneos de energia pelo método de descargas parciais

Por Edmilson José Dias\*

O objetivo primordial da aplicação de técnicas de gestão a redes de distribuição pela concessionária de energia elétrica é garantir, pela alocação ótima de recursos entre programas de manutenção preventiva e ações de manutenção corretiva, a eficiência operacional da distribuidora, por meio da redução de custos operacionais sob observação de requisitos mínimos de qualidade de serviço. As ações de manutenção preventiva afetam a condição dos ativos da rede de distribuição e, dessa forma, reduzem a probabilidade de ocorrência de contingências e/ou o tempo de restabelecimento de energia, resultando em uma maior disponibilidade da rede elétrica.

Assim, o foco da aplicação de técnicas de gestão de ativos deverá ser o planejamento dos processos de manutenção, determinando quais ações devem ser tomadas para reduzir a exposição da distribuidora aos riscos financeiros associados à ocorrência de contingências a um custo satisfatório de implementação de ações preventivas. Neste contexto, as técnicas de gestão de ativos oferecem suporte à decisão para o planejamento dos processos de manutenção, tanto em longo prazo (pela criação de políticas plurianuais) como a curto prazo (pela programação da manutenção e da seleção de alvos).

Baseado nestes conceitos, a Superintendência de Manutenção da Distribuição da Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) D, com foco

na aplicação das técnicas de gestão de ativos e planejamento da manutenção, viabilizou o projeto de diagnóstico dos cabos subterrâneos de energia em média tensão (13,8 kV) pelo novo método de descargas parciais. As técnicas de diagnóstico e avaliação utilizadas atualmente em cabos isolados, como termovisão, por exemplo, apesar de válidas para detecção de falhas (pontos quentes), não permitem uma avaliação preditiva precisa do colapso no interior do material isolante. Para a realização de um diagnóstico mais preciso das condições dos cabos de rede subterrânea, hoje se faz necessária a utilização de técnicas mais modernas, utilizando medição de Descargas Parciais (DPs) nos condutores.

O método de DPs utiliza técnicas inovadoras ainda não utilizadas no Brasil para este tipo de análise (cabos isolados em tensão 15 kV energizados), permitindo uma avaliação mais rigorosa da vida útil do ativo e subsidiando uma gerência de manutenção na elaboração de um planejamento físico financeiro preciso e conclusivo. Dentre os impactos relevantes causados ao sistema elétrico, no caso de falhas em circuitos subterrâneos de média tensão, destacam-se: constantes interrupções no fornecimento de energia elétrica devido a desligamentos em longos trechos, para intervenções corretivas no sistema elétrico; perda da qualidade, confiabilidade e disponibilidade do fornecimento de energia elétrica a importantes clientes em regiões

de grande concentração de cargas; aumento dos índices de controle de qualidade no fornecimento de energia como DEC, FEC, DIC e FIC; comprometimento da imagem da empresa e insatisfação dos consumidores; risco de acidentes com pessoal próprio, contratados e danos físicos a terceiros/equipamentos (Figura 1).

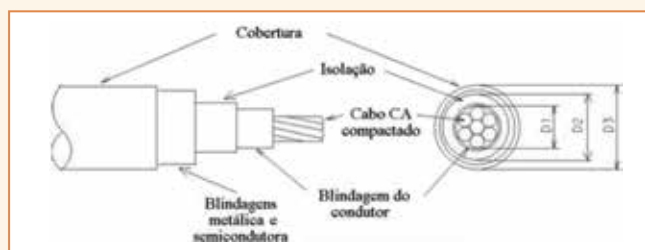


**Figura 1 – Exemplos de danos a equipamentos e utilidades por falhas de isolamento elétrica.**

### **O fenômeno descargas parciais e a metodologia de diagnóstico**

#### **O material isolante e o fenômeno “treeing”**

Um dos componentes mais importantes do cabo isolado de energia é a sua isolação. Com a necessidade crescente de maiores gradientes de serviços, melhor performance térmica e mecânica para os cabos atuais, resultam no desenvolvimento tecnológico e contínuo, objetivando o aprimoramento dos dielétricos, processos em uso e a criação de novos tipos.



**Figura 2 – Esquema de isolação do cabo isolado.**



**Figura 3 – Cabo isolado.**

Na escolha do material isolante a ser especificado, são determinantes algumas características, tais como: elevada rigidez dielétrica perante solicitações a 60 Hz e a impulso; baixas perdas dielétricas e, portanto, baixos valores para o produto fator de dissipação pela constante dielétrica; fácil dissipação de calor e, portanto, baixa resistividade térmica;

estabilidade térmica em regime permanente durante períodos de emergência e em condições transitórias de curto circuito; resistência ao envelhecimento nas condições de gradiente elétrico e temperatura de serviço, com vida útil média de 30 anos; estabilidade de suas propriedades elétricas quanto ao fenômeno de “treeing” (origina-se em falhas microscópicas do sistema dielétrico e segue a direção do campo elétrico).

Para uma rede subterrânea de energia de média e alta tensão em ambiente de intenso campo elétrico e umidade, a última característica citada se destaca pelo fenômeno “treeing”, devido sua presença obscura e imprevisibilidade de evolução no interior da isolamento do condutor. Existem duas modalidades de “treeing”: os “water trees” e os “electrical trees”. Considerado um “treeing” eletroquímico, os “water trees” se propagam mesmo sob baixo gradiente de potencial em imperfeições do sistema dielétrico contendo umidade, desenvolvendo-se em três estágios: incubação, propagação e perfuração do dielétrico. Os “electrical trees” desenvolvem-se em falhas do sistema dielétrico, sob campo elétrico intenso, e são acompanhados pelo processo de ionização e descargas parciais internas (Figura 4).



Figura 4 – Foto microscópica do fenômeno “electrical trees”.

#### **O fenômeno das descargas parciais em materiais isolantes**

O fenômeno das Descargas Parciais está baseado no princípio de que todos os materiais isolantes possuem microcavidades, seja por sua estrutura intrínseca, seja por sua manipulação durante o processo de fabricação. Quando esses materiais isolantes são submetidos a um campo elétrico de alto gradiente, podem ocorrer descargas internas nas microcavidades, que gradualmente provocam a “erosão” de suas paredes até que essa microcavidade tenha uma dimensão igual à espessura do material isolante, resultando então em uma descarga total para a terra e conseqüente falha do isolamento do cabo elétrico. As Descargas Parciais presentes em um isolante é o primeiro sintoma de que alguma anomalia está ocorrendo no material e, por conseqüência, a sua identificação permite prever possíveis falhas futuras.

#### **Classificação das descargas**

As descargas parciais podem ser classificadas em três categorias de acordo com a sua origem: descarga superficial, descarga corona e descarga interna.

Descargas superficiais ocorrem em gases ou líquidos na superfície de um material dielétrico, normalmente partindo do eletrodo para a superfície. Quando a componente de campo

elétrico que tangencia a superfície excede certo valor crítico, o processo de descarga superficial é iniciado. Descargas superficiais ocasionam alterações na superfície do dielétrico, iniciando caminhos condutores que se propagam ao longo da direção do campo elétrico. Este fenômeno conhecido como trilhamento pode levar à ruptura completa da isolamento. Este tipo de descarga normalmente ocorre em cabos protegidos, terminações de cabos isolados e em saias de isoladores.

Descargas corona ocorrem em gases a partir de pontas agudas em eletrodos metálicos. Estes pontos concentradores de estresse, ou seja, partes com pequenos raios de curvatura, formam regiões nas vizinhanças do condutor com campo elétrico elevado, o qual ultrapassa o valor de ruptura do gás, dando origem à ocorrência de descargas parciais. Descargas corona no ar geram ozônio, o qual pode causar o fissuramento da isolamento polimérica. Óxidos de nitrogênio combinados com vapor de água podem corroer metais e formar depósitos condutores na isolamento, promovendo o trilhamento do material.

Descargas internas ocorrem em inclusões de baixa rigidez dielétrica, geralmente vazias, preenchidas com gás presentes em materiais dielétricos sólidos, utilizados em sistemas de isolamento de média e alta tensão. A formação de vazios na estrutura de materiais poliméricos pode ser devida a causas distintas, dependendo da natureza do material e do processo de fabricação. No caso de materiais termoplásticos como, por exemplo, o polietileno, a falha pode ocorrer durante o processo de injeção do polímero devido à infiltração do ar atmosférico. Para polímeros termofixos, tais como as resinas epóxi, a formação dos vazios pode ocorrer durante o processo de cura do material, podendo ser devido à infiltração do ar atmosférico ou a formação de gases residuais provenientes de reações químicas.

Além dos fatores relativos ao processo de fabricação, os diversos estresses a que a isolamento é submetida ao longo de sua vida útil também podem causar o aparecimento de vazios. Descargas internas podem ocorrer numa região do material dielétrico em que o vazio está totalmente circundado pelo dielétrico ou na interface entre o dielétrico e um dos eletrodos. Tipos particulares de descargas internas são aquelas que ocorrem em arborescências elétricas. A arborescência elétrica é um fenômeno de pré-ruptura que ocorre no interior da isolamento de equipamentos elétricos, tais como cabos de potência isolados, tendo sua origem devido à ocorrência contínua de descargas parciais internas em vazios ou a partir de uma falha no eletrodo. Na Figura 5, ilustram-se os tipos de descargas citados:



Figura 5 – Imagem microscópica de descargas em arborescência elétrica.

As descargas internas são basicamente a que tratamos como efetivamente de “Descargas Parciais” nos cabos isolados de média e alta tensão.

#### **A metodologia de medição das descargas parciais nos condutores isolados de média tensão**

A metodologia de medição das descargas parciais se efetiva pela rejeição de ruídos (radiofusão, perturbações externas e outros tipos de DPs como corona, superficiais ou sistemas próximos) e separação das características dos pulsos das descargas. Após estes procedimentos, obtêm-se a identificação estatística dos pulsos por banco de dados, seguida de uma análise e diagnóstico das descargas por grau de intensidade.

Esta análise final permite o estabelecimento de parâmetros que indiquem ao gestor de ativos uma tomada segura de decisão para intervenção num determinado circuito (manutenção preventiva). Para uma rede subterrânea de cabos de média tensão, a medição das descargas parciais é feita pelo adequado posicionamento de sensores indutivos nos condutores isolados energizados e terminais de aterramento.






**Figura 6 – Sensores instalados em condutores de média tensão.**

Os sinais de descargas parciais são conduzidos por cabos coaxiais que interligam os sensores até o equipamento de detecção, que por sua vez é conectado a um notebook, permitindo assim a leitura dos resultados já isentos de ruídos e distúrbios por meio de um software específico. Este software possui um banco de dados estocásticos dos níveis de intensidades das descargas parciais em cabos isolantes de média tensão, determinando suas reais condições pelos critérios da seleção da gravidade e respectivas ações a serem tomadas. A sensibilidade dos sensores consente na identificação dos sinais de descargas originadas em pontos bastante distantes dos mesmos, e a sua adequada localização pode ser feita pelo reposicionamento desses sensores ao longo da linha (caixas de emendas).

Os critérios de seleção da gravidade das descargas parciais e respectivas ações a serem tomadas são identificados pelo software pela similaridade com “indicadores luminosos de semáforos de trânsito”, conforme Tabela 1 a seguir:

**TABELA 1 – RESULTADOS DAS MEDIÇÕES E AÇÕES A SEREM TOMADAS**

LUZES	DIAGNÓSTICO / AÇÃO
	Sem presença de descargas parciais ativas / Nenhuma ação corretiva
	Descargas parciais detectadas / Repetir as medições em até seis meses
	Descargas parciais ativas / Substituir imediatamente o condutor

Existe também a possibilidade de se manter o equipamento de detecção permanentemente conectado à rede de cabos, passando-se assim de medições pontuais ao monitoramento permanente. Quando na condição de monitoramento, os sinais detectados podem também ser transmitidos por cabos ópticos a uma sala de controle para uma avaliação remota, fundamentando uma manutenção preditiva eficiente.

#### **Desenvolvimento dos trabalhos de diagnóstico nos cabos subterrâneos (13,8 kV) em Belo Horizonte**

##### **Histórico**

As redes subterrâneas principais de Belo Horizonte encontram-se na região central, atendendo cerca de 70 mil consumidores e 113 MVA de demanda. Alguns clientes são estratégicos e importantes, tais como: Palácio do Governo do Estado, Shopping Centers, área hospitalar, grandes centros comerciais e de lazer, dentre outros.

As redes estão em operação no sistema elétrico da Cemig há cerca de 40 anos, com sinais claros de problemas estruturais graves de isolamento em alguns circuitos, verificados em manutenções corretivas.



**Figura 7 – Terminais e conexões de cabos subterrâneos com falhas estruturais de isolamento.**

Esta situação tem-se evidenciando nos últimos anos em inúmeras ocorrências, levando à necessidade de investimentos elevados em manutenções corretivas e a uma situação de risco técnico estrutural importante.

Nos últimos anos, os números de falhas aumentaram, apresentando, em alguns casos, reincidências de ocorrências (desligamentos por falhas de isolamentos) em diversos alimentadores, conforme a Tabela 2 a seguir:

**TABELA 2 – NÚMERO DE FALHAS EM ALIMENTADORES**

ALIMENTADOR	Nº DE FALHAS			TOTAL
	ANO			
	2007	2008	2009	
BHBP-08		2	2	4
BHBP-14			1	1
BHBP-17			1	1
BHBP-19			1	1
BHCN-07		1	1	2
BHCN-33		1	1	2
BHCN-16			1	1
BHCN-05	1			1
BHBP-23	1			1
BHBP-04	1			1

Segundo a maioria dos fabricantes de condutores isolados, a periodicidade média de falhas para cada circuito com rede isolada, trabalhando em condições normais e típicas subterrâneas é, em média, uma a cada 25 anos.

Somente em 2009, três ocorrências com bloqueios em alimentadores totalizaram aproximadamente R\$ 380 mil em despesas com manutenção corretiva. Em 2011, dois incidentes potenciais graves, envolvendo fadiga do condutor isolante devido arborescência do isolamento XLPE, causaram explosões em utilidades subterrâneas no centro de Belo Horizonte.



**Figura 8 – Ocorrência em utilidade e cabo subterrâneo com falha estrutural no isolamento.**

#### ***Evidências conclusivas para o diagnóstico***

Com este histórico de ocorrências, evidenciou-se a necessidade urgente de realização de um diagnóstico geral em todos os alimentadores da região central de Belo Horizonte, bem como outros fatores, tais como:

- a maioria dos cabos dos alimentadores já em fim de vida útil;
- é mais factível uma manutenção preditiva do que uma corretiva, a qual onera despesas elevadas e a uma situação de risco técnico estrutural importante;
- emprego único da termovisão como ferramenta de manutenção preventiva no diagnóstico interno de cabos, emendas, conexões e equipamentos;
- a utilização de técnicas de diagnóstico em cabos subterrâneos energizados, sem desligar circuitos estratégicos, é essencial e bem-vinda nos sistemas elétricos atuais das grandes concessionárias.

#### ***Especificação técnica***

Para estabelecer basicamente os critérios de medição e prazos de entrega do relatório conclusivo, tornou-se necessária a elaboração de uma especificação técnica interna, que também define:

- número de pontos de medição;
- características e especificação do sistema de monitoramento, diagnóstico de descargas parciais e descrição dos serviços;
- especificação do equipamento de monitoramento e diagnóstico de descargas parciais;
- prazo para execução dos serviços;
- relatório oficial dos ensaios.

### Realização das medições

A rede subterrânea de média tensão (13,8 kV) da área central de Belo Horizonte possui aproximadamente 170 km de cabos distribuídos em 33 alimentadores saindo de duas subestações estratégicas e exclusivas (Barro Preto e Centro). Os condutores nos troncos destes circuitos são de alumínio com bitola 400 mm<sup>2</sup> compostos de isolamentos em EPR/XLPE com capa externa de polietileno (PE). De acordo com diversos fabricantes, a vida útil média destes condutores, trabalhando em condições normais de operação é de aproximadamente 30 anos. A grande maioria dos circuitos destes alimentadores está em operação a mais de 35 anos, evidenciando-se assim o período de sua depreciação. Após vários estudos para definição da prioridade de intervenções preventivas nestes circuitos, decidiu-se por realizar o diagnóstico em todos os troncos destes alimentadores logo na saída das duas subestações, em duas fases:

#### 1ª fase: realizada no período de 07 a 09/06/2010

Na primeira fase foi priorizado o diagnóstico nos alimentadores que apresentaram maior taxa de falhas nos últimos anos. As medições concentraram-se nas utilidades mais próximas da saída das subestações, ou seja, no tronco dos 15 alimentadores selecionados. Os pontos de medição concentraram-se basicamente antes da 1ª derivação do alimentador, de modo que a maior corrente concentrada no circuito fosse presenciada.

Todos os alimentadores analisados estão mostrados na Tabela 3:

**TABELA 3 – ALIMENTADORES ANALISADOS NA 1ª FASE**

Testes em Cabos de MT - Método Descargas Parciais				
S.E.	Rede	Distância do pt de medição até a S.E. (KM)	Alimentador	Data
Barro Preto	Raul Soares	0.300	BHBP 19	9/6/10
		0.300	BHBP 23	9/6/10
	Rio Branco	0.450	BHBP 04	7/6/10
		0.550	BHBP 08	7/6/10
		0.450	BHBP 14	7/6/10
		0.450	BHBP 17	7/6/10
Centro	Afonso Aninos	0.070	BHCN 18	9/6/10
	Alfredo Balena	0.070	BHCN 05	8/6/10
		0.070	BHCN 16	8/6/10
		0.070	BHCN 23	8/6/10
	Praça Sete	0.050	BHCN 02	9/6/10
		0.800	BHCN 07	8/6/10
		0.850	BHCN 17	7/6/10
		0.050	BHCN 21	9/6/10
		0.800	BHCN 26	8/6/10

O resultado conclusivo das medições da 1ª fase está na Tabela 4.

De acordo com o software de critérios de seleção da gravidade das Descargas Parciais e dados da Tabela 1, verificou-se então a presença de descargas parciais em nove alimentadores dos 15 analisados. Após análise do relatório conclusivo, a gerência de manutenção optou por preparar o planejamento físico financeiro para substituição dos troncos destes nove alimentadores, bem como

**TABELA 4 – RESULTADO DAS MEDIÇÕES NOS 15 ALIMENTADORES NA REGIÃO CENTRAL DE BELO HORIZONTE**

Alimentadores medidos da SE Barro Preto (BP)			
	Fase A	Fase B	Fase C
BH-BP 04	●	●	●
BH-BP 08	●	●	●
BH-BP 14	●	●	●
BH-BP 17	●	●	●
BH-BP 19	●	●	●
BH-BP 23	●	●	●
Alimentadores medidos da SE Centro (CN)			
	Fase A	Fase B	Fase C
BH-CN 02	●	●	●
BH-CN 05	●	●	●
BH-CN 07	●	●	●
BH-CN 16	●	●	●
BH-CN 17	●	●	●
BH-CN 18	●	●	●
BH-CN 21	●	●	●
BH-CN 23	●	●	●
BH-CN 26	●	●	●

repetir seu diagnóstico na 2ª fase.

Os custos das medições, análise dos dados e relatório dos serviços nesta 1ª fase totalizaram R\$ 57.298,70.

#### 2ª fase: realizada no período de 10 a 14/01/2011

Também concentradas as medições de DPs nos condutores imediatamente após as saídas das duas subestações (Centro e Barro Preto), a 2ª fase priorizou a medição nos nove alimentadores que apresentaram presença de descargas parciais

**TABELA 5 – ALIMENTADORES NA REGIÃO CENTRAL DE BELO HORIZONTE ANALISADOS NA 1ª FASE**

Alimentadores diagnosticados com DP - 2ª fase				
S.E.	Rede	Distância até à S.E. em	Alimentador	Data
Barro Preto	Raul Soares	0.300	BHBP 19	10/1/11
		0.300	BH BP 10	14/1/11
		0.300	BH BP 12	14/1/11
		0.300	BH BP 28	14/1/11
		0.300	BHBP 23	10/1/11
		0.300	BHBP 23	10/1/11
	Rio Branco	0.450	BHBP 04	10/1/11
		0.55	BHBP 08	10/1/11
		0.450	BHBP 14	11/1/11
		0.450	BHBP 26	11/1/11
		0.450	BHBP 17	11/1/11
Centro	Afonso Aninos	0.300	BHCN 22	11/1/11
		0.300	BHCN 13	12/1/11
		0.300	BHCN 01	12/1/11
		0.300	BHCN 27	12/1/11
		0.300	BHCN 06	11/1/11
		0.300	BHCN 06	11/1/11
	Alfredo Balena	0.070	BHCN 05	10/1/11
		0.070	BHCN 16	10/1/11
	Praça sete	0.800	BHCN 07	11/1/11
		0.850	BHCN 12	14/1/11
	Savassi	0.050	BHCN 33	13/1/11
		0.800	BHCN 38	13/1/11
		0.850	BHCN 39	13/1/11
0.070		BHCN 32	12/1/11	
0.050		BHCN 40	13/1/11	
	0.070	BHCN 31	12/1/11	

na 1ª fase (BHBP 04, 08, 14, 17, 19, 23 e BHCN 05, 07 e 16) e, posteriormente, nos 16 restantes não analisados na 1ª fase, totalizando 25, conforme a Tabela 5.

O resultado conclusivo das medições da 1ª fase está mostrado na tabela 6:

**TABELA 6 – RESULTADO DAS MEDIÇÕES EM 25 ALIMENTADORES NA REGIÃO CENTRAL DE BELO HORIZONTE – 2ª FASE**

Alimentadores medidos da SE Barro Preto (BP)			
	Fase A	Fase B	Fase C
BH-BP 04	●	●	●
BH-BP 08	●	●	●
BH-BP 14	●	●	●
BH-BP 17	●	●	●
BH-BP 19	●	●	●
BH-BP 23	●	●	●
BH-BP 10	●	●	●
BH-BP 12	●	●	●
BH-BP 28	●	●	●
BH-BP 26	●	●	●
Alimentadores medidos da SE Centro (CN)			
	Fase A	Fase B	Fase C
BH-CN 01	●	●	●
BH-CN 05	●	●	●
BH-CN 07	●	●	●
BH-CN 16	●	●	●
BH-CN 12	●	●	●
BH-CN 13	●	●	●
BH-CN 22	●	●	●
BH-CN 27	●	●	●
BH-CN 31	●	●	●
BH-CN 32	●	●	●
BH-CN 33	●	●	●
BH-CN 38	●	●	●
BH-CN 39	●	●	●
BH-CN 40	●	●	●

Dos nove alimentadores que apresentaram presença de descargas parciais na 1ª fase, cinco deles (BHBP 17, 19 e 23 e BHCN 05 e 07) e mais um medido na 2ª fase (BH-CN 33) evoluíram no diagnóstico para descargas parciais ativas após os seis meses da última medição, totalizando seis em situação crítica (de acordo com o software de critérios de seleção da gravidade das descargas parciais). Após análise do relatório conclusivo da 2ª fase, a gerência de manutenção ratificou o planejamento físico financeiro para substituição imediata dos troncos destes seis alimentadores, bem como elaborar o plano de manutenção preventiva de substituição gradual dos demais que apresentaram presença de DP. Os custos totais das medições, análise dos dados e relatório dos serviços da 2ª fase foram de R\$ 115.000,00.

#### **Avaliação técnico-econômica**

Considerando apenas três ocorrências com desligamentos durante o ano de 2009 nos alimentadores BHBP 08 e 19, os custos com manutenção corretiva totalizaram aproximadamente R\$

380.000,00, desconsiderando todas as despesas com homem hora (846 HH). Os custos totais, somando as duas fases do diagnóstico de todos os alimentadores, ficaram em R\$ 173.000, ou seja, 45% dos custos totais de somente três ocorrências em 2009. Evidencia-se então o ótimo resultado do projeto, que sinalizou investimentos em manutenção preventiva, ao invés de custos adicionais de emergência na corretiva, além da consolidação do diagnóstico dos circuitos dos alimentadores servindo de referência para o plano de manutenção.

### Conclusões

Antes do desenvolvimento do projeto de diagnóstico dos cabos subterrâneos em média tensão (13,8 KV), pelo método de presença de descargas parciais na região central de Belo Horizonte, a única menção que a gerência de manutenção dispunha para priorização do orçamento financeiro em preventiva era o histórico de ocorrência nos alimentadores e, em alguns casos pontuais, as falhas registradas em atendimentos emergenciais.

Para qualquer gerência de manutenção, quanto menor o investimento em manutenção corretiva maior será a eficiência e retorno de seus ativos para a empresa. O investimento preciso e eficiente em manutenção preventiva mitiga riscos de falhas em ativos, os quais oneram mais custos na corretiva. No caso do diagnóstico realizado nos alimentadores utilizando o método de DP, podemos concluir que o seu custo final, somando as duas fases, é irrelevante se comparado a um custo com uma manutenção corretiva de emergência em qualquer alimentador.

Todos os alimentadores que possuem histórico de falhas nos últimos três anos (Tabela 1) foram diagnosticados com presença de descargas parciais, o que comprova a eficácia do método realizado. O planejamento financeiro de substituição dos condutores dos troncos dos alimentadores em situação crítica diagnosticados na faixa vermelha, de acordo com o relatório final, foi finalizado e proposto conforme mostrado a seguir na Tabela 7.

**TABELA 7 – CUSTOS DAS SUBSTITUIÇÕES DOS ALIMENTADORES DIAGNOSTICADOS COM DESCARGAS PARCIAIS ATIVAS**

Alimentador	Custos das substituições dos cabos (R\$)
BP 19	574.511,50
BP 23	510.023,70
CN 05	580.390,22
CN 07	872.544,90
CN 33	570.770,49
BP 17	515.189,85
<b>Total:</b>	<b>3.048.919,16</b>

Os custos destas substituições são alocados em contas de investimentos de manutenção preventiva, com posterior capitalização e reconhecimento na base de ativos da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Estão incluídos neste levantamento os custos de mão de obra e materiais, os quais estão em fase final de aquisição e respectivas obras previstas para iniciarem no início de maio de 2012. Com relação aos troncos dos alimentadores restantes que não

apresentaram presença de descargas nas duas fases deste projeto, será elaborado um plano de diagnóstico em longo prazo (de seis em seis meses), utilizando a mesma metodologia de medição. Este plano de medição subsidiará a priorização das próximas substituições em manutenção preventiva.

Expectativas de ganhos para o processo manutenção nos próximos anos com o projeto:

- maior confiabilidade no desempenho do sistema elétrico;
- renovação eficiente dos ativos e aumento de receita;
- maior disponibilidade de outras equipes para outros tipos de manutenções corretivas;
- elevada moral das equipes de inspeção com os ativos renovados;
- redução dos custos de manutenção e melhora dos índices DEC/FEC/DIC/FIC com a redução de desligamentos não programados em RDS;
- maior satisfação dos clientes.

Providências futuras imediatas:

- expansão do projeto para os demais municípios de Minas Gerais que possuem redes subterrâneas;
- estudo e aplicação em outros ativos da rede subterrânea (transformadores, chaves submersíveis, terminações, isoladores, protetores de reticulados etc.) que necessitam de diagnóstico de presença de outras modalidades de descargas parciais, como corona e superficiais;
- estudar e avaliar a aplicação do projeto para ativos de subestações de energia elétrica.

### Referências

- CEMIG: *Serviços de Medições de Descargas Parciais em Cabos Isolados da Rede Subterrânea de Média tensão. 02.111-TD/AT006a. Belo Horizonte/MG, setembro/2009.*
- CEMIG: *Manual de Distribuição – Instalações Básicas de Redes de Distribuição Subterrânea. ND-2.3. Belo Horizonte/MG, novembro/2006.*
- CEMIG: *Tecnologia de Materiais de RDS. 01000 RH/FA 0246a. Sete Lagoas, março/2010.*
- TEIXEIRA JUNIOR, M. D. R. *Cabos de energia. 2. ed., 2004.*
- AGORIS, D. P.; HATZIARGYRIOU, N. D. *Approach to Partial Discharge Development in Closely Coupled Cavities Embedded in Solid Dielectrics by the Lumped Capacitance Model. IEE Proceedings-A, v. 140, n. 2, p. 131-134, March 1993.*
- AHMED, N. H.; SRINIVAS, N. N. *On-line Partial Discharge Detection in Cables. IEEE TDEI, v. 5, n. 2, p. 181-187, April 1998.*

\*Edmilson José Dias é engenheiro eletricista, pós-graduado em Gestão de Projetos de Engenharia e mestrando em Engenharia de Energia. Atualmente, é gerente de projeto de requalificação da RDS na Cemig e executa outras atividades, como coordenação de projetos de engenharia e de consultoria interna e externa e atuação no planejamento da manutenção da rede subterrânea de energia da Cemig.

### Continua na próxima edição

Confira todos os artigos deste fascículo em [www.osetoreletrico.com.br](http://www.osetoreletrico.com.br)  
Dúvidas, sugestões e comentários podem ser encaminhados para o e-mail [redacao@atitudeeditorial.com.br](mailto:redacao@atitudeeditorial.com.br)