



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

BR/GMI/27  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO - XII**

**GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DE MANUTENÇÃO - GMI**

**MANUTENÇÃO CORRETIVA EM MECANISMOS DE ACIONAMENTOS HIDRÁULICOS DE DISJUNTORES  
550KV DE UMA SIG SF6, REALIZADA COM EQUIPE PRÓPRIA**

**Júlio Cezar Oliveira Castioni (\*)**  
**COPEL GET**

**Carlos Augusto do Amaral Fontanella**  
**COPEL GET**

**Edevilson de Faveri**  
**COPEL GET**

**RESUMO**

O presente trabalho se propôs a descrever o defeito de vazamento interno de óleo apresentado no sistema hidráulico dos 7 disjuntores com acionamento monopolar 550 kV instalados em uma Subestação Isolada a Gás (SIG) SF6 550 kV, bem como as consequências deste vazamento, as dificuldades encontradas para localização do defeito, a aquisição e substituição das peças defeituosas, a causa fundamental do vazamento interno de óleo e as melhorias implementadas para evitar demora na detecção do problema. Também demonstrou a eficiência da equipe de engenharia e equipe de manutenção na realização das atividades, a competência técnica e economia obtida, utilizando mão de obra própria, com segurança, para solução dos problemas e retorno da condição operativa normal.

**PALAVRAS-CHAVE**

Subestação Isolada a Gás (SIG), SF6, Disjuntor, Manutenção Corretiva, Mecanismo de Acionamento Hidráulico.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Um dos maiores desafios em subestações isoladas à gás (SIG) SF6 550kV é a complexidade das manutenções dos equipamentos, com riscos de prejuízos financeiros, materiais ou de segurança dos funcionários envolvidos na manutenção.

Face ao problema de vazamento interno de óleo detectado no sistema hidráulico de 7 disjuntores com mecanismo de acionamento hidráulico monopolar 550kV, a manutenção corretiva em caráter de urgência foi realizada com equipe própria, para retornar as condições operativas do disjuntor. Para realização da intervenção houve a necessidade de definição de procedimentos para desmontagem, manutenção, montagem e realização dos ensaios, devido a complexidade das manutenções, visando também a redução do tempo de indisponibilidade.

A intervenção consistiu na abertura de 21 mecanismos de acionamento hidráulico, para substituição das vedações da válvula de abertura que degradaram rapidamente devido a não tropicalização do projeto.

Foi informada a gravidade do defeito ao fabricante da SIG e solicitado orçamento para solução dos problemas.

A opção pela realização da intervenção utilizando mão de obra própria, foi devido a urgência para solução do problema e aos altos valores apresentados pelo fabricante, pois foi possível obter economia na aquisição das peças e na realização da manutenção.

Após a desmontagem do primeiro mecanismo de acionamento na oficina, foi possível localizar a vedação danificada e identificar o modelo e o código para aquisição, pois, no manual de instruções de manutenção não era informado. Foram adquiridas vedações originais importadas e desenvolvidas vedações nacionais, sendo possível a comparação do desempenho de ambas no futuro.

Resultados obtidos: Retorno das condições operacionais dos disjuntores em tempo otimizado, evitando indisponibilidade por desligamentos não programados e consequentemente prejuízos financeiros; aprimoramento das técnicas para realização da manutenção (equipe treinada e eficiente); competência técnica para solução dos

(\*) Rua José Izidoro Biazetto, nº158 – sala 150 - Bloco A – CEP 81200-240 Curitiba, PR – Brasil  
Tel: (+55 41) 3331-3574 – Fax: (+55 41) 3331-3686 – E-mail: julio.castioni@copel.com

problemas com equipe própria e economia na aquisição das vedações, bem como na realização das atividades. Com o objetivo de facilitar a detecção de problemas de vazamentos internos e externos de óleo nos mecanismos de acionamento hidráulico, foram implementadas melhorias no sistema de automação e controle da subestação. Após as intervenções, os disjuntores foram ensaiados e liberados para operação nas condições operativas normais.

## 2.0 - DESCRIÇÃO DOS FATOS

A Figura 1 mostra o diagrama simplificado e uma foto da SIG SF6 550kV fabricada em 1997, que faz a conexão de uma usina (4 geradores com potência total de 1260 MW / Arranjo Barra Dupla a 3 chaves) com o Sistema Interligado Nacional (SIN) através de duas linhas de transmissão 550 kV com arranjo barra dupla a 4 chaves.

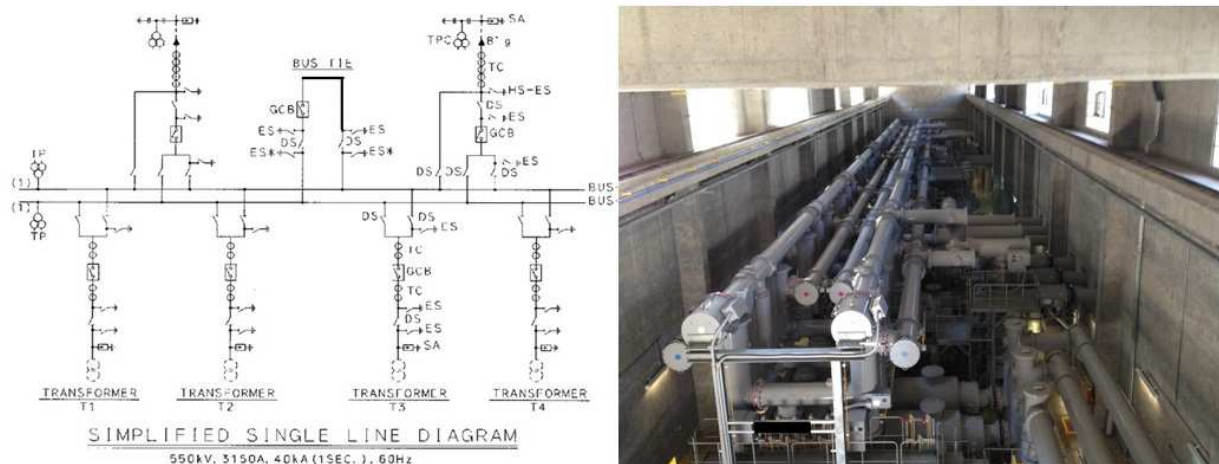


Figura 1 – Diagrama simplificado da Subestação Isolada a Gás SF6

A SIG possui 7 disjuntores tripolares, com um sistema de acionamento hidráulico monopolar independente em cada pólo, responsável pela movimentação dos contatos.

### 2.1 Características técnicas do sistema hidráulico dos disjuntores

A energia necessária para manter os tempos em milissegundos de abertura e fechamento normais na operação do disjuntor é proveniente do mecanismo de acionamento hidráulico. Os mecanismos de acionamentos hidráulicos de cada fase dos disjuntores provem de duas bombas operando em paralelo, três acumuladores de nitrogênio a uma pressão de 200 bar, pressostatos, válvulas, bloco de comando, bobinas e pistão de acionamento com um peso aproximado do conjunto de 200kg (sem óleo). São utilizados 100 litros de óleo hidráulico neste mecanismo.

A pressão normal de operação é de 335 bar, proveniente das bombas hidráulicas pressionando o nitrogênio dentro dos acumuladores. O pressostato monitora o sistema para manter a pressão sempre operacional, dentro dos limites de 315 bar a 335 bar. Quando a pressão diminui dentro do sistema hidráulico, por vazamentos internos ou externos, operação do disjuntor ou por temperatura, a bomba entra em operação para repor a pressão. O sistema possui um contador mecânico da quantidade de vezes que a bomba hidráulica entra em operação e relés de tempo de funcionamento da bomba hidráulica, que sinaliza em caso de operação por um tempo acima de 15 minutos em funcionamento.

Os comandos das bombas hidráulicas são realizados através do pressostatos, que possuem microchaves ajustadas conforme Figura 2:

Ajustes do pressostato	
335 Bar	Desliga bomba hidráulica
315 Bar	Liga Bomba hidráulica
300 Bar	Bloqueio do religamento
275 Bar	Alarme de baixa pressão de óleo
270 Bar	Bloqueio do fechamento (sinal de trip pelo relé)
255 Bar	Bloqueio da abertura

Figura 2 – Ajustes do pressostato

## 2.2 Relato do problema

Verificou-se através dos contadores das bombas hidráulicas em agosto de 2010, que as bombas de alguns pólos entravam em funcionamento frequentemente, caracterizando problema no sistema hidráulico. Observou-se também um ruído similar a vazamento interno no bloco de comando, quando o disjuntor estava na posição fechado. Em alguns casos mais críticos a bomba hidráulica entrava em operação a cada 5 minutos (aproximadamente 280 vezes ao dia), permanecendo ligada por aproximadamente 1 minuto para restabelecer a pressão hidráulica do sistema.

Foram realizados ensaios de desempenho da bomba e ensaios no sistema hidráulico para verificar a causa do problema, onde foi possível detectar vazamento interno no sistema. Observou-se que quando o disjuntor estava aberto, não ocorria vazamento interno, caracterizando vazamento na válvula de abertura do disjuntor.

A COPEL entrou em contato com o fabricante da subestação, para auxiliar na investigação e solução dos problemas.

O fabricante informou que a provável causa do vazamento era a deterioração das vedações internas, pois, em ambientes com altas temperaturas e alta umidade as vedações tendem a deteriorar mais rapidamente. Informou ainda que os serviços para recuperação dos mecanismos necessitavam de ferramentas especiais e deveriam ser realizados por engenheiros especializados do fabricante.

Foram apresentados orçamentos iniciais no valor de R\$237.700,00 para fornecimento de peças e R\$236.800,00 para supervisão da manutenção por engenheiros especializados, para somente um disjuntor trifásico (manutenção de 3 pólos).

Devido ao custo elevado da mão de obra especializada e das peças apresentado pelo fabricante, optou-se em realizar a manutenção com mão de obra própria onde a equipe de manutenção trabalhou em conjunto com a equipe de engenharia de manutenção, tanto no planejamento quanto na execução dos serviços. Como a assistência técnica do fabricante estava fora do Brasil, haveria também demora para a contratação e a mobilização da equipe de especialistas e dificuldades para conciliar a programação dos serviços, que dependiam de desligamentos autorizados pelo ONS.

Como a COPEL havia adquirido dois mecanismos de acionamento sobressalentes junto com a subestação e por falta de informações confiáveis que possibilitassem a identificação do problema de vazamento interno no local, optou-se em outubro 2010 por substituir um mecanismo de acionamento completo que apresentava vazamento com maior intensidade.

Para tanto, houve a necessidade de confeccionar dispositivos para auxiliar a retirada do mecanismo de acionamento com segurança, devido ao peso do conjunto, conforme pode ser visualizado na Figura 3.



Figura 3 – Carrinho com macaco e mesa móvel para auxiliar a retirada e instalação do conjunto

No planejamento dos serviços foram analisados os desenhos, manuais do fabricante e informações obtidas no treinamento realizado em fábrica e definidos critérios para desmontagem do mecanismo de acionamento na oficina para investigação do problema.

No mês de dezembro de 2010 foi realizada desmontagem criteriosa, com a análise de cada parte do mecanismo de acionamento que poderia causar vazamento de óleo na posição fechada do disjuntor.

Durante a desmontagem, foi encontrado um retentor que apresentava uma trinca e ressecamento acentuado, conforme Figura 4.



Figura 4 – Retentor da válvula de abertura danificado

Tal constatação foi fundamental para solução do problema, pois verificou-se que o motivo do vazamento foi devido a degradação da vedação, sendo necessário substituir o retentor para retornar as condições operacionais do disjuntor.

Observaram-se trincas e ressecamento nas vedações de todos os mecanismos de acionamento, confirmando a que o problema estava relacionado à vida útil do material.

Adicionalmente, para verificar as condições físico-químicas dos óleos hidráulicos retirados dos disjuntores, foram realizados ensaios de viscosidade, teor de água e resíduos sólidos em laboratório especializado (LACTEC), onde por comparação com as características técnicas do óleo novo, verificou-se que permaneciam inalteradas e não havia contaminantes.

#### 2.2.1 Consequências do vazamento interno.

O defeito de vazamento interno no sistema hidráulico pode ocasionar a abertura do disjuntor por baixa pressão (270 bar), quando a capacidade de restabelecimento da pressão hidráulica pela bomba for menor que a intensidade do vazamento interno.

Observa-se através da Figura 1, que os disjuntores dos 4 geradores da usina não possuem a chave seccionadora “by pass”, não permitindo a transferência para realização da manutenção. Consequentemente existia o risco de indisponibilidade dos geradores (315 MW cada), caso não fosse solucionado o problema do vazamento interno do óleo e o disjuntores viessem a falhar, com reflexos para o sistema elétrico e prejuízo financeiro para empresa.

Destaca-se a importância para o sistema elétrico da realização das manutenções dos disjuntores da SIG, onde um problema que ocorresse com qualquer disjuntor, poderia indisponibilizar um gerador de 315MW ou desligar uma Linha de Transmissão 550kV, ocasionando instabilidade no sistema e comprometendo a qualidade e confiabilidade dos serviços de energia elétrica prestado.

#### 2.2.2 Aquisição das vedações.

Após a desmontagem do mecanismo de acionamento hidráulico, foi possível verificar no corpo do retentor a gravação em baixo relevo da seguinte inscrição: OSI 35.5 28 5 N87X NOK.

Constatou-se que o fabricante da vedação estava sediado no Japão e que a vedação era fabricada em moldes específicos. Foram adquiridas 50 retentores no valor total de R\$1.472,50 em janeiro 2011, através do representante no Brasil, com previsão de entrega somente para maio de 2011, devido a necessidade de fabricação das peças, pois o fabricante não possuía em estoque.

No decorrer deste período ocorreu uma catástrofe ambiental no Japão e a fábrica dos retentores estava na região afetada, prejudicando a entrega dos materiais.

Devido a necessidade da realização de manutenções corretivas urgentes em diversos disjuntores da SIG, e de posse do projeto do retentor fornecido pelo representante, conforme Figura 5, optou-se por localizar uma empresa nacional para fabricar algumas peças através de usinagem. Foi definido o tipo de material compatível com óleo, temperatura e alta pressão e confeccionadas algumas peças, que foram entregues em abril 2011.



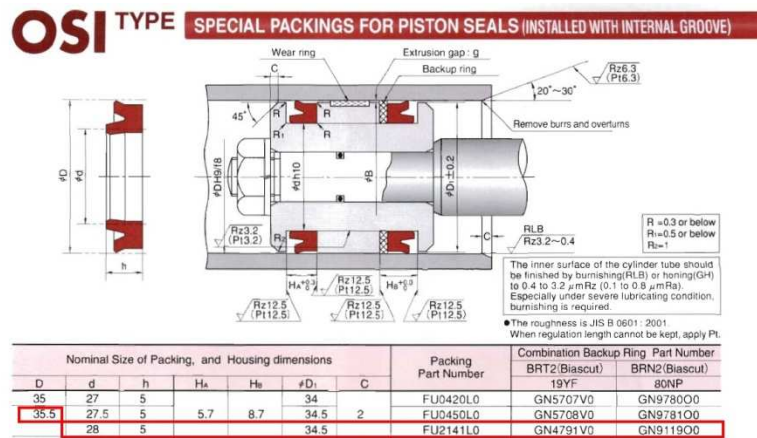


Figura 5 – Projeto do retentor OSI 35.5 28 5 N87X NOK

As vedações importadas foram entregues somente em setembro 2011.

### 2.2.3 Causa fundamental da ocorrência.

Com base nas informações do fabricante, nos resultados dos ensaios de óleos realizados e na análise comparativa entre os mecanismos de acionamento instalados, a COPEL concluiu que a causa fundamental do vazamento interno de óleo foi a degradação precoce das vedações, devido a não tropicalização do projeto, onde para ambientes com altas temperaturas as vedações tendem a deteriorar mais rapidamente.

### 2.3 Manutenção corretiva

Com a informação da localização exata da vedação defeituosa, dos procedimentos necessários para substituição e com o objetivo de abreviar o tempo de equipamento indisponível, estudou-se uma forma de realizar a manutenção corretiva no local, sem a necessidade da substituição do mecanismo de acionamento completo.

Anteriormente o tempo necessário para substituição do mecanismo completo de uma fase, manutenção e ensaios do disjuntor era de 4 dias (somente uma fase).

Realizando a substituição da vedação no local, foi possível diminuir o tempo de intervenção no disjuntor (3 fases) para 3 dias.

Devido a quantidade de óleo em cada fase (100 litros), houve a necessidade de adaptar uma bomba para colocação e retirada do óleo hidráulico durante a manutenção, forçando a passagem por um elemento filtrante para remover impureza e proteger o sistema hidráulico.

Devido o projeto da SIG ser compacto, a dificuldade encontrada estava no pouco espaço disponível e nos esforços físicos que a atividade demandava, conforme pode ser visualizado na Figura 6.



Figura 6 – Espaço disponível para realização da manutenção

Para substituição das vedações dos disjuntores dos geradores foram aproveitados os desligamentos programados da usina, visando minimizar a indisponibilidade dos geradores. Já para os disjuntores das linhas de transmissão, os circuitos foram transferidos.

Observa-se na Tabela 1, que foram realizadas as manutenções corretivas em todos os disjuntores da SIG, retornando as condições operativas normais dos disjuntores em um curto espaço de tempo.

Ressalta-se que foram aproveitados desligamentos já programados da usina, que envolvem grande número de procedimentos e autorizações, para realização das manutenções, minimizando a indisponibilidade dos geradores.

Tabela 1 – Histórico das manutenções realizadas

IDENTIFICAÇÃO	DATA	HISTÓRICO
01 GN (Retentor <b>Nacional</b> )	14/06/2011	Fase A Disjuntor G4 525
02 GN (Retentor <b>Nacional</b> )	14/06/2011	Fase C Disjuntor G3 525
03 GN (Retentor <b>Nacional</b> )	09/08/2011	Fase B do disjuntor Linha 2
04 GN (Retentor <b>Nacional</b> )	10/08/2011	Fase V do disjuntor G1525
05 GN (Retentor <b>Nacional</b> )	10/08/2011	Fase B do disjuntor G1525
06 GN (Retentor <b>Nacional</b> )	11/08/2011	Fase A do disjuntor G1525
07 GN (Retentor <b>Nacional</b> )	16/08/2011	Fase B do disjuntor G3525
08 GN (Retentor <b>Nacional</b> )	17/08/2011	Fase A do disjuntor G3525
09 GN (Retentor <b>Nacional</b> )	18/08/2011	Fase V do disjuntor G3525
10 GO (Retentor <b>Original</b> )	15/10/2011	Fase B do disjuntor G4525
11 GO (Retentor <b>Original</b> )	15/10/2011	Fase V do disjuntor G4525
12 GO (Retentor <b>Original</b> )	16/10/2011	Fase V do disjuntor G2525
13 GO (Retentor <b>Original</b> )	17/10/2011	Fase B do disjuntor G2525
14 GO (Retentor <b>Original</b> )	17/10/2011	Fase A do disjuntor G2525
15 GO (Retentor <b>Original</b> )	30/03/2012	Fase A do disjuntor Linha 2
16 GO (Retentor <b>Original</b> )	30/03/2012	Fase V do disjuntor Linha 2
17 GO (Retentor <b>Original</b> )	28/05/2012	Fase A do disjuntor Interligador
18 GO (Retentor <b>Original</b> )	28/05/2012	Fase B do disjuntor Interligador
19 GO (Retentor <b>Original</b> )	29/05/2012	Fase V do disjuntor Interligador
20 GO (Retentor <b>Original</b> )	30/05/2012	Fase A do disjuntor Linha 1
21 GO (Retentor <b>Original</b> )	30/05/2012	Fase B do disjuntor Linha 1
22 GO (Retentor <b>Original</b> )	30/05/2012	Fase V do disjuntor Linha 1

## 2.4 Melhorias implementadas

O manual do fabricante informa que a bomba hidráulica não deve operar acima de 20 vezes no período de 24 h, e caso contrário, deve ser investigada a causa da queda da pressão hidráulica.

Para auxiliar o acompanhamento das operações das bombas hidráulicas dos disjuntores foram implementados contadores digitais na automação, no qual irá enviar um alarme para a operação, caso alguma bomba opere mais que 20 vezes no período de 24 h.

No caso de alarme, será comunicado a equipe de manutenção para verificação do problema.

Foi definida a vida útil da vedação em 12 anos, pelo tempo decorrido desde sua fabricação até a constatação da primeira avaria.

As manutenções parciais sistemáticas destes disjuntores são realizadas a cada 5 anos e devido a vida útil das vedações, foi definida uma periodicidade de 10 anos para a sua substituição. Assim sendo, percebe-se que o procedimento adotado é conservador, buscando evitar defeitos incipientes.

## 3.0 - CONCLUSÃO

As manutenções realizadas com equipe própria foram economicamente vantajosas, além de possibilitar a capacitação das equipes para a realização das manutenções dos sistemas hidráulicos dos disjuntores.

É importante que as empresas possuam pessoal capacitado para a realização de intervenções mais complexas de modo a não ficarem dependentes da assistência dos fabricantes, que nem sempre está disponível rapidamente.

O aprimoramento das técnicas para realização da manutenção ajudaram a diminuir o tempo de indisponibilidade dos disjuntores durante os serviços e solucionar os vazamentos internos em um curto espaço de tempo.

Além da economia em não precisar contratar mão de obra especializada do fabricante, a COPEL obteve economia na aquisição das peças, demonstrando competência técnica e a eficiência dos seus funcionários na busca de soluções para os problemas e na realização das manutenções com uma elevada qualidade e segurança.

Ressalta-se que um componente de valor irrisório, porém de difícil identificação e substituição, pode comprometer a confiabilidade e a disponibilidade de uma instalação de grande importância para o sistema elétrico.

Com as melhorias implementadas, ficou facilitada a detecção dos problemas no sistema hidráulico e a atuação preventiva nas manutenções sistemáticas, evitando perda de confiabilidade do disjuntor para o sistema.

Ao longo do tempo será possível comparar o desempenho dos retentores nacionais, com os retentores originais importados do Japão. Dependendo dos resultados obtidos, estes poderão no futuro ser substituídos, se for constatado o aumento da vida útil das vedações.

A filosofia apresentada neste trabalho pode ser estendida a outros tipos de disjuntores com mecanismos de acionamento hidráulico.

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Catalog NOK Freudenberg. Catalog Special Packings for piston Seals - Type OSI. Japão
- (2) Instruction Manual E-6265606. Gas Circuit Breaker.

#### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Júlio Cezar Oliveira Castioni**

Nascimento: Guarapuava – PR 19/09/1982

Formação: Graduado em Engenharia Industrial Elétrica pela UTFPR em Curitiba-PR 2005; Curso de Aperfeiçoamento em Manutenção de Sistemas Elétricos pela Fundação de Pesquisa e Assessoramento da Indústria - FUPAI em Itajubá – MG 2010; Curso de Especialização em Engenharia da Manutenção pela PUC-PR em Curitiba-PR 2012.

Experiência profissional: Engenheiro Eletricista Pleno atuando na área de Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Subestações da COPEL.

**Carlos Augusto do Amaral Fontanella**

Nascimento: Laranjeiras do Sul – PR 18/04/1961

Formação: Graduado em Engenharia Elétrica pela UFPR em 1984; Curso de Especialização em Materiais para o Setor Elétrico UFPR – 1998; Curso de Especialização em Gerência da Engenharia de Manutenção pelo CEFET em 2001.

Experiência profissional: Engenheiro Eletricista Senior. Supervisor da área de Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Subestações da COPEL.

**Edevilson de Faveri**

Nascimento: Turvo – SC 11/09/1965

Formação: Graduado em Técnico em Mecânica pela Escola Técnica Federal de Santa Catarina em Florianópolis-1985; Treinamento em Prevenção de Falhas na Manutenção Preditiva e Proativa de Sistemas Hidráulicos – Know Transfer – São Paulo-SP – 2001.

Experiência profissional: Técnico Especializado em Manutenção Mecânica atuando na área de Engenharia de Manutenção de Equipamentos de Subestações da COPEL.