



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

FI/GMI/23
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – XII

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

**UTILIZAÇÃO DE METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE RISCO EM SUBESTAÇÕES ISOLADAS A GÁS:
EXPERIÊNCIA DA ELETROBRAS ELETRONORTE**

Davi Carvalho Moreira(*)
Eletrobras Eletronorte

Rogério Galvão de Almeida
Eletrobras Eletronorte

Raimundo Corrêa Junior
Eletrobras Eletronorte

Hilder Joao Farias Da Costa
Eletrobras Eletronorte

Klaxon Valois Fantin
Eletrobras Eletronorte

RESUMO

Este informe técnico tem como objetivo apresentar a experiência que a Eletrobras Eletronorte obteve nesses últimos 5 anos com a implantação de uma metodologia de gerenciamento de riscos aplicada a Subestação Isolada a Gás (SIG) da UHE Tucuruí. É apresentado os modelos os riscos de diversos perigos (estado inicial), definidas as barreiras preventivas a fim de se evitar a consequências (estados futuros) não desejáveis. A implantação do gerenciamento de riscos se tornou primordial para a gerencia local para que a haja ciência dos riscos que correm a SIG quando tomam decisões de fazer ou não determinada manutenção.

PALAVRAS-CHAVE

Subestação Isolada a Gás, Gerenciamento de Risco, Manutenção Preditiva, Diagnóstico, SF₆.

1.0 - INTRODUÇÃO

A Eletrobras Eletronorte (ELB/ELN) possui a concessão da Usina Hidrelétrica de Tucuruí, que possui um total de 8.370 MW de potência instalada. Para cada unidade geradora principal existe uma subestação isolada a gás SF₆ responsável pelas manobras de isolamento, totalizando 23 (vinte e três) SIG. Apresenta-se na Figura 1 o diagrama unifilar da Casa de Força I, sendo o diagrama unifilar da Casa de Força II semelhante, com exceção das três últimas funções gerações que se interligam com a SE Tucuruí através de uma linha de transmissão.

Com base na Metodologia TPM (*Total Productive Maintenance*), as SIG são consideradas com equipamentos principais devido a sua importância no processo de geração de energia e por ser um dos principais ativos da usina com um custo unitário de aproximadamente 18 milhões de reais.

Devida à alta corrente de curto-circuito da SIG, na maioria das ocorrências que envolvem este equipamento a perda é total, e o prazo de fabricação de seus módulos é de aproximadamente 12 meses. Neste contexto é imprescindível desenvolver técnicas para apoiar o processo de tomada decisão e ainda haver uma metodologia para gerir os riscos existentes em sua operação.

Neste trabalho são modelados os riscos de diversos perigos (estado inicial), definidas as barreiras preventivas para eliminar as causas que contribuem para a evolução de um incidente a fim de se evitar a consequências (estados futuros) não desejáveis ao equipamento.

A análise do risco da SIG é feita em instantes específicos, conforme Plano de Manutenção Preventivo (PMP) do equipamento. A principal análise da SIG é a medição de quantidade de dióxido de enxofre (SO₂), pureza, pressão e umidade, essas análises são realizadas semestralmente, para equipamentos com mais de 1 ano de operação.

Cada análise é sintetizada na forma de relatório, e as ações são registradas para que na nova análise se aproveite o conhecimento adquirido. É essa ação continuada que nos dá estabilidade à segurança e à confiabilidade do equipamento.

Neste trabalho serão apresentados dois casos de sucesso obtidos através do gerenciamento do risco da SIG. No primeiro caso, para avaliar a metodologia, ocorreu no início de 2013 quando foi identificada uma evolução do teor de dióxido de enxofre (SO_2) no compartimento M da fase A da SIG 10, o segundo caso para confirmar a eficácia da metodologia ocorreu também em 2013 quando foi identificada uma evolução na criticidade do compartimento M das fases A e B da SIG 02, sendo o principal fator a elevação gradual da quantidade de SO_2 .

A experiência de ELB/ELN no gerenciamento de riscos da SIG permitiu desenvolver e executar as atividades deste projeto, alcançando os resultados com eficácia.

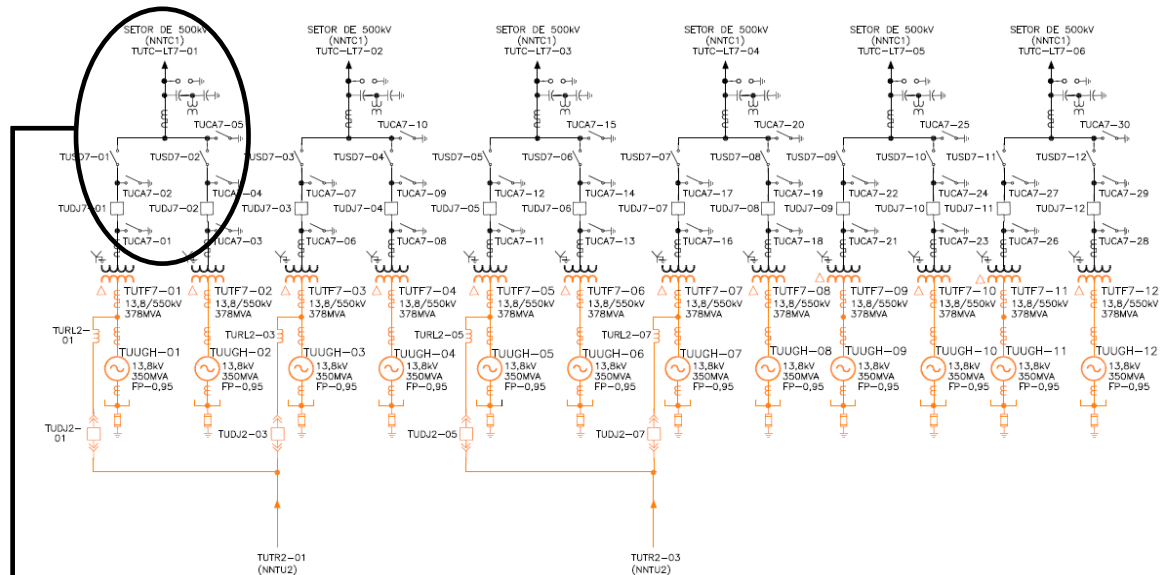


FIGURA 1 - Diagrama Unifilar das Funções Gerações da Casa de Força I da UHE Tucuruí

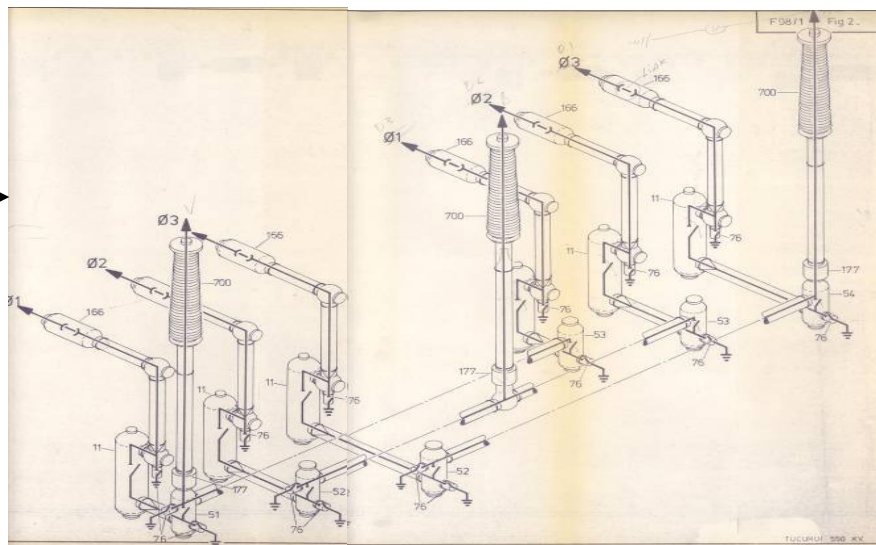


FIGURA 2 - Detalhe da Subestação Isolada a Gás da Casa de Força I da UHE Tucuruí

2.0 - METODOLOGIA DE GERENCIAMENTO DE RISCO

O interesse da Eletrobras Eletronorte é modelar o risco de um perigo (estado inicial) evoluir para um determinado incidente e produzir consequências (estados futuros) não desejáveis para a SIG. O objetivo desta metodologia de gerenciamento de risco é identificar ações para evitar ou reduzir a chance de um incidente ocorrer ou mitigar suas consequências [3].

Foi definida incidente como todo evento que tem consequências negativas, incluindo dano à saúde de pessoas, à propriedade, ao ambiente, indisponibilidade da função geração e/ou prejuízo financeiro.

A metodologia utilizada pela Eletrobras Eletronorte é a corrente casual, apresentada no livro é de Mosleh & Dias (2003) e Mosleh et al. (2004) e adaptada por Acires et al. (2011), conforme mostrado na Figura 3.

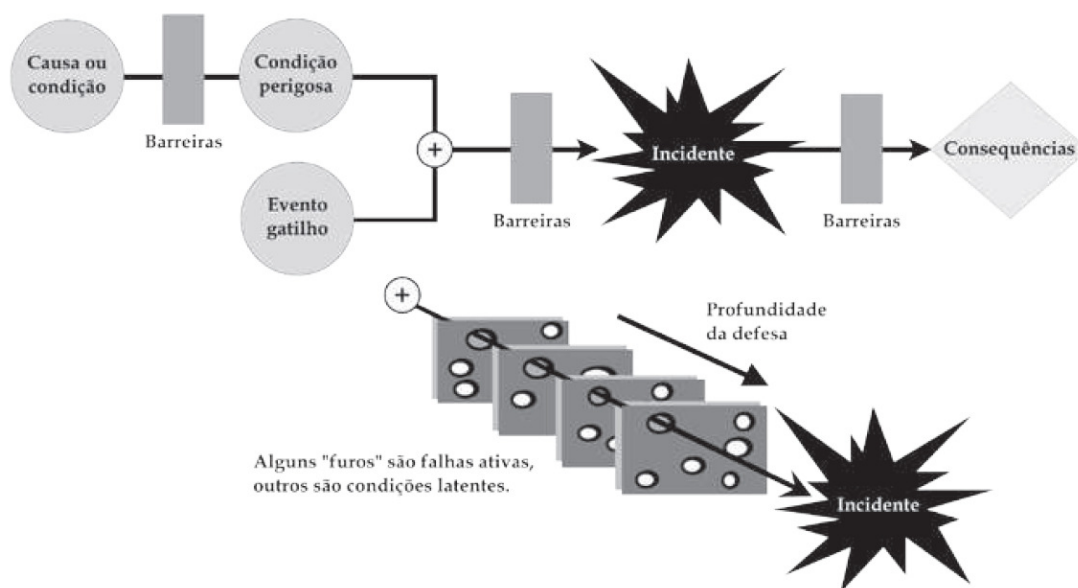


FIGURA 3 - Desencadeamento de um incidente e sua trajetória através de barreiras (Livro Metodologia para Análise de Risco: mitigação de perda de SF6 em disjuntores)

Com a intenção de reduzir o risco de ocorrer o incidente e/ou mitigar suas consequências nas SIG, a Eletrobras Eletronorte adotou mais de uma barreira (defesa em profundidade) ao longo da corrente causal. Neste artigo será dada uma ênfase nas estratégias e procedimentos de manutenção aplicada ao gerenciamento de risco das SIG. Neste contexto serão abordados os equipamentos utilizados para a realização da manutenção preditiva (Manutenção Baseada na Condição – CBM), as análises e diagnósticos do equipamento, registro dos dados e capacitação.

2.1 Estratégias de Manutenção

A manutenção pode ser definida como uma série de ações (procedimentos, critérios, etc.), criada para otimização de equipamentos, processos e recursos para alcançar a melhor manutenibilidade, confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos. Executar manutenção não somente aumenta a confiabilidade, mas também faz com que o equipamento opere próximas as condições nominais [1].

A estrutura de manutenção da Eletrobras Eletronorte é apresentada na Figura 4, com as suas definições, conforme Manual de Manutenção da Eletrobras Eletronorte, descritas abaixo:

- **Manutenção Preventiva:** Todo serviço de manutenção efetuado em intervalos pré-determinados ou de acordo com critérios prescritos para controle e conservação dos equipamentos, obras ou instalações, a fim de mantê-los em condições satisfatórias de operação e evitar ocorrências que acarretem a sua indisponibilidade.
 - **Manutenção Baseada na Condição:** Manutenção baseada na medição da condição do equipamento, para avaliar a tendência de desvio de uma condição normal para uma condição que poderá levá-lo a falhar.
 - **Manutenção Baseada no Tempo:** Manutenção baseada em intervalos pré-determinados de tempo, para avaliar a tendência de desvio de uma condição normal e para restaurar ou substituir componentes, para restabelecer as condições básicas de operação.
- **Manutenção Corretiva:** Serviço programado ou não, em instalações ou equipamentos, para corrigir falhas ou defeitos, a fim de restabelecê-los à condição satisfatória de operação.
- **Manutenção Pós-Falha:** É a manutenção corretiva programada aplicada a alguns itens cuja falha não afeta a produção ou não gera outras perdas além dos custos dos reparos.
- **Manutenção de Urgência ou Emergência:** Consiste em um conjunto de atividades para corrigir ocorrências por falhas.

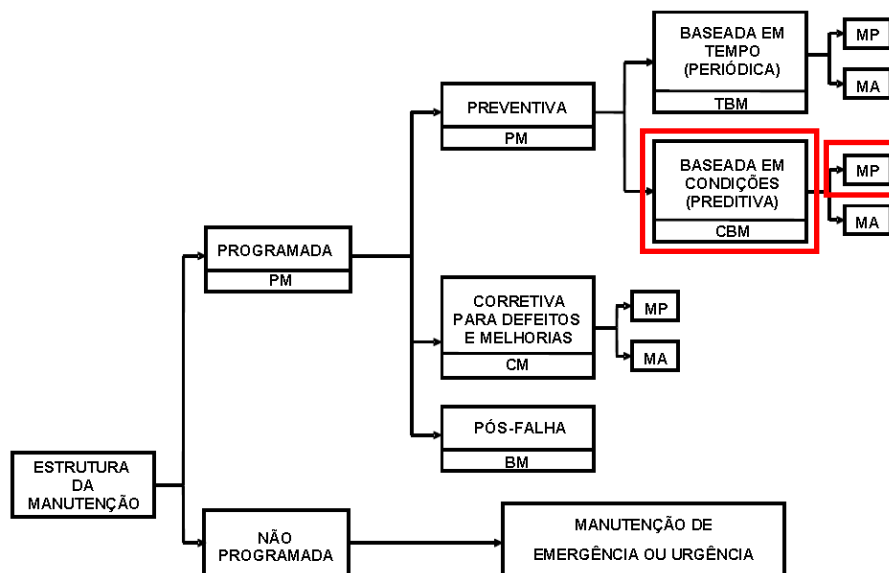
**Legenda:****MA:** Manutenção Autônoma**MP:** Manutenção Planejada

FIGURA 4 - Estrutura de Manutenção
(Manual de Manutenção da Eletrobras Eletronorte)

Com base nos equipamentos de análise (*off-line*) e sistemas de supervisão existentes nas SIG da UHE Tucuruí, foi elaborado um Plano de Gerenciamento de Incidentes para as consequências relativas a indisponibilidade da função geração e a segurança (pessoas, propriedade e ambiente).

No caso de incidente oculto (involuntariamente retidos), que não foi possível diagnosticar, a empresa conta com um Plano de Gerenciamento de Crises em que possui uma apólice de seguro para abranger também os riscos retidos.

2.2 Gestão do Risco

Os esforços e estratégias adotados pela Eletrobras Eletronorte são no sentido de reduzir o risco, propondo que ele seja trabalhado a fim de diminuir a probabilidade de ocorrência do incidente. São tomadas ações para redução dos riscos até um patamar que se considera aceitável tecnicamente.

Baseado nos estudos do Grupo de Trabalho CE D1.01 do CIGRÉ Brasil [4], para identificação dos riscos na SIG, foram estabelecidos critérios, para tomada de decisão, para 04 (quatro) perigos, que atualmente pode-se detectar com os equipamentos disponíveis na UHE Tucuruí.

- Quantidade de SO₂:
 - Até 12PPMV: Aceitável.
 - Entre 12 e 50PPMV: Programação de intervenção no respectivo compartimento, com acompanhamento quinzenal.
 - Acima de 50PPMV: Intervenção imediata no respectivo compartimento da SIG.
- Umidade:
 - Até 200PPMV: Normal
 - Acima de 200PPMV: Programação para tratamento e/ou substituição do gás SF₆.
- Pureza:
 - Até 97%: Normal.
 - Abaixo de 97%: Programação para tratamento e/ou substituição do gás SF₆.
- Pressão Relativa (à 20°C):
 - Até 3,4 bar: Normal
 - Abaixo de 3,4 bar: Programação de complementação e verificação de vazamento de gás SF₆.

O principal perigo que é analisado nas SIG da UHE Tucuruí é a quantidade de SO₂, que é medida com o equipamento DILLO SF₆-Multi Analyser modelo 3-038R. Essa análise é importante devido a descarga elétrica decompor o SF₆ formando produtos gasosos e sólidos, dentre os principais produtos gasosos o fluoreto de sulfúria (SO₂F₂), o dióxido de enxofre (SO₂), o fluoreto de tionila (SOF₂) e o fluoreto de hidrogênio (HF) [4], conforme apresentado na Figura 5.

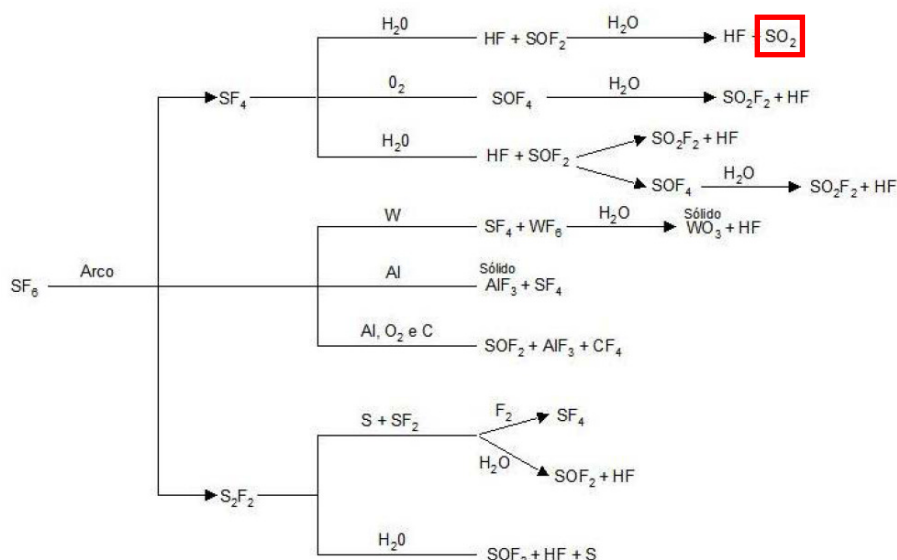


FIGURA 5 - Diagrama de formação dos produtos de decomposição do SF_6 sob condição de arco elétrico (GT CE D1.01 - Manuseio, segurança e manutenção do SF_6 em equipamentos elétricos)

Consideramos como as “barreiras” da metodologia de gerenciamento de risco, as intervenções nos equipamentos quando há o diagnóstico de algum perigo acima do valor aceitável. Nas intervenções os perigos devem ser reduzidos até o limite aceitável, essa é uma das condições para disponibilização do equipamento tem por objetivo: (i) garantir que a condição inicial de probabilidade de incidente zero não mude; (ii) isolar a condição perigosa do evento gatilho; e (iii) evitar, mitigar a ocorrência de um incidente.

O ciclo do gerenciamento de risco da SIG se completa com o registro, em forma de relatório, dos perigos identificados, das ações tomadas e das ações propostas. Este conhecimento adquirido é compartilhado através do sistema informatizado de gestão da Eletrobras Eletronorte (SAP/R3) e aproveitado para análises futuras.

A continuidade dessas ações é que avaliza o método de gerenciamento de risco e nos fornece estabilidade à segurança e à confiabilidade do equipamento.

3.0 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

No presente trabalho são abordados com maior ênfase aos aspectos técnicos, uma vez que a incorporação de aspectos econômicos e financeiros nas discussões sobre expectativa de vida das SIG foi tratada em estudo anterior [3].

A gestão do risco da SIG acontece efetivamente quando ocorre um evento gatilho e/ou condição perigosa, no nosso caso, quando na manutenção preditiva (plano de monitoramento e controle) é identificado valores anormais de quantidade de dióxido de enxofre (SO_2), pureza, pressão e umidade.

3.1 Caso de Estudo SIG 10 (avaliação)

Na manutenção preditiva da SIG 10 realizada no mês de fevereiro/2013, foi identificada uma quantidade de 67,6 ppmv de SO_2 no compartimento M da fase A. Conforme previsto no plano de gerenciamento de incidentes, foi realizada a intervenção imediata apenas no compartimento que apresentava condição perigos.

Após esta despressurização do compartimento e retirada a escotilha de acesso ao link entre transformador e blindada, foi verificado que: (i) *Shield* estava montado de forma desacetada (Figura 6); (ii) um dos anéis de sustentação do *Shield* rompeu-se e deslocou-se para a escotilha (Figura 7); (iii) gás apresentava forte odor, devido a presença de subprodutos do gasosos e pó característico da decomposição do SF_6 (Figura 7); (iv) conector bipartido apresentava pontos de escurecimento (Figura 8); (v) duas lâminas de equipotencialização do conector bipartido estavam danificadas (Figura 9); e (iv) *Shield* e barra apresentaram perda de material por descargas elétricas e por atrito entre eles (Figuras 10 e 11).



FIGURA 6 - *Shield* montado de forma desacertada (tocando na barra)



FIGURA 7 - Anel de sustentação do *Shield* rompido e subprodutos sólidos da decomposição do SF₆

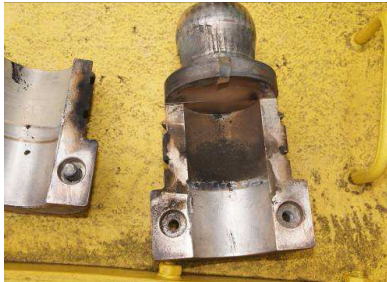


FIGURA 8 - Conector bipartido escurecido



FIGURA 9 - Lâmina de equipotencialização danificada



FIGURA 10 - *Shield* danificado



FIGURA 11 - Barra danificada

Para retornar o equipamento para condição normal de operação (condição inicial) e assim garantir a confiabilidade do sistema, foi: (i) recuperado o *Shield* e montado na forma correta; (ii) acrescentado dois parafusos para melhorar a fixação do *Shield* nas barra (melhoria); (iii) substituída a barra; (iv) substituído os anéis de sustentação do *Shield*; (v) recuperado e limpo os conectores bipartidos; (vi) substituídas as lâminas de equipotencialização do conector bipartido; (vii) limpeza e tratamento com vácuo no compartimento M; e (viii) substituição do gás SF₆ do compartimento M, por gás novo.

3.2 Caso de Estudo SIG 02 (validação)

Através das medições e análises realizadas nas manutenções preditivas (plano de monitoramento e controle), foi verificado um aumento gradual na quantidade de SO₂ do compartimento M das fases A e B da SIG 02. Conforme previsto no plano de gerenciamento de incidentes, foi programada a inspeção nestes compartimentos devido os valores de SO₂ estarem abaixo de 50ppmv e o aumento da quantidade de SO₂ não ser significativa.

Após os procedimentos de despressurização do compartimento foi realizada a inspeção nos compartimentos M das fases A e B, sendo observado que: (i) os *Shields* estavam danificados e fora da posição; (ii) lâmina de equipotencialização do conector bipartido estava rompida; e (iii) havia forte odor e presença de partículas sólidas (pó) depositados no barramento, invólucro e bucha de AT.

Na Figura 12 é mostrado o invólucro do compartimento M da SIG que faz a conexão com o transformador elevador. Na figura 13 é apresentado o projeto de conexão entre a barra da SIG e a bucha de AT do transformador elevador, bem como a fixação do *Shield*. Estas apresentações se fazem necessárias para explicar a melhoria implantada que garante um aumento a confiabilidade do equipamento quando retornar as condições normais de operação.



FIGURA 12 - Compartimento M da SIG

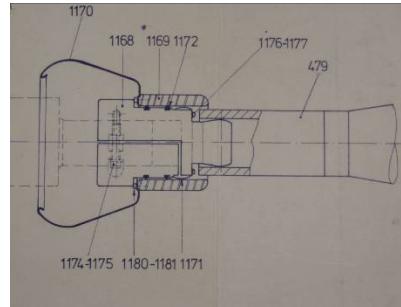


FIGURA 13 - Detalhe do projeto de conexão da barra da SIG com a bucha de AT do transformador elevador

Nas Figuras 14 e 15 mostra o componente (*Shield*) da SIG que apresentou condições perigosas, devido ao projeto original ter pouca fixação, de forma que diminui a confiabilidade do equipamento.

FIGURA 14 - *Shield* não fixado no suporte da barra da SIGFIGURA 15 - *Shield* danificado no local do parafuso de fixação

O *Shield* é fixado em um suporte através de dois parafusos, verificamos que esta fixação é deficiente e que há o desgaste da conexão devido principalmente a vibração quando o equipamento está em operação e quando das manobras dos disjuntores. Essa deficiência na fixação pode provocar a separação entre *Shield* e suporte, conforme foi verificado neste caso de estudo. A melhoria implantada foi simples porém eficaz, se concentrou em melhorar a fixação das peças através do acréscimo de mais dois parafusos, conforme Figuras 16 e 17.

FIGURA 16 - *Shield* com 2 furos de fixaçãoFIGURA 17 - *Shield* com 4 furos de fixação (melhoria)

A intervenção só foi concluída após a substituição das lâminas de equipotencialização, limpeza dos compartimentos e barras, montagem do link de conexão, substituição do gás SF₆, pressurização dos compartimentos, medição de quantidade de SO₂, umidade, pressão e pureza e finalizada com registro completo, em forma de relatório, dos perigos identificados, das ações tomadas e das ações propostas.

4.0 - CONCLUSÃO

Foi apresentado neste trabalho a experiência da Eletrobras Eletronorte no gerenciamento de risco das subestações isoladas a gás SF₆. O indicador de quantidade de SO₂, alinhando com o gerenciamento de risco, se mostrou eficaz e evitou prejuízos financeiros enormes para a empresa.

Os demais indicadores também possuem sua importância e relevância, havendo ocasiões que proporcionaram tomadas de decisões, ou seja, gerenciamento do risco da SIG.

Vale ressaltar que o modelo aqui apresentado não é o estado de arte para o gerenciamento de riscos, pois está em evolução e aberto a melhorias. Entendemos que a etapa de análise dos modos de falhas deve ser aprimorada, pois o indicador de quantidade de SO₂ é muito importante e se mostrou eficaz para diversos tipos de falhas, mas com certeza existem falhas que não são identificadas por esse indicador. Dessa forma, constatamos a

necessidade contínua de desenvolvimento de técnicas de manutenção preditiva para aprimorar o diagnóstico do equipamento.

Destaca-se que essas manutenções preditivas aplicadas na SIG, não inviabilizam e nem substituem as manutenções preventivas convencionais, estando cada um tipo de manutenção bem definida na estrutura de manutenção.

A implantação do Gerenciamento de Riscos se tornou primordial para a alta direção da Eletrobras Eletronorte ter ciência dos riscos que correm com os ativos da SIG quando tomam decisões de fazer ou não determinada manutenção. Com a experiência, amadurecimento e os casos de sucesso obtidos na implantação desta metodologia de gerenciamento de risco, a Eletrobras Eletronorte está replicando esta metodologia em outros equipamentos.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) CARNEIRO, J. C. “Gerenciamento de Risco de Transformadores de Potência de Subestações: Uma Metodologia para Associação de Manutenção Centrada em Confiabilidade e Manutenção Preditiva”, XXI SNPTEE, Florianópolis, 23 a 26 de Outubro de 2011.
- (2) NUNES, S. A., DUARTE, L. H. S., TEIXEIRA, R. M. “Diagnóstico de Instalações do Sistema de Transmissão – Abordagem Baseada em Riscos”, XXII SNPTEE, Brasília, 13 a 16 de Outubro de 2013.
- (3) DIAS, A., CALIL, L. F. P., RIGONI, E., OGLIARI A., SAKURADA E., KAGUEIAMA H. A., “Metodologia para análise de risco: mitigação de perda de SF6 em disjuntores”, Florianópolis: [s.n.], 2011. 304p.
- (4) Grupo de Trabalho CE D1.01, “Manuseio, segurança e manutenção do hexafluoreto de enxofre (SF6) em equipamentos elétricos”, 2008. 58p.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Davi Carvalho Moreira nasceu em Macapá, Amapá, em 1982. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Pernambuco (2004), especialização em Engenharia Elétrica com Ênfase em Sistemas de Potência pela SOCIESC (2015), especialização em Engenharia de Produção pela FATEC (2011), MBA em Planejamento e Gestão Estratégica (2013) e MBA em Assessoria Executiva (2014) pela UNINTER. Já atuou como gerente do setor de supervisão da qualidade (2008-2011) e gerente da divisão de engenharia (2012), ambos na UHE Tucuruí. Atualmente atua como engenheiro de manutenção elétrica coordenando o projeto de modernização do SPCS da UHE Samuel. Membro do CIGRÉ-Brasil.