



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

GSE - 20
16 a 21 Outubro de 2005
Curitiba - Paraná

GRUPO VIII SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS – GSE

POLÍTICA DE RENOVAÇÃO DE PARA RAIOS DE ALTA TENSÃO DE CARBONETO DE SILÍCIO SIC EXISTENTES EM SUBESTAÇÕES DE SISTEMAS ELÉTRICOS: UMA NOVA VISÃO TÉCNICO ECONÔMICA

João Carlos Carneiro

CPFL – COMPANHIA PAULISTA DE FORÇA E LUZ

RESUMO

Considerando a importância estratégica do para raios, e sua nobre função de guardião do transformador de potência, equipamento de maior valor na subestação, produção não seriada, custo elevado de reparos, prejuízos de indisponibilidade, etc., do disjuntor de alta tensão, das instalações de subestações e demais equipamentos associados, apresentamos neste documento uma filosofia adotada para implementação de política de renovação destes equipamentos de forma otimizada, que procura associar estatisticamente as falhas de para raios e falhas de transformadores de potência de subestações, visando obter excelentes resultados técnicos e ótima atratividade econômica, como subsídios a decisões voltadas a evolução tecnológica de para raios nas subestações.

PALAVRAS-CHAVE

Para raios, Subestações, Visão Técnico - Econômica

1.0 - INTRODUÇÃO

Um sistema elétrico em operação está sujeito a anomalias ao longo do tempo, as quais levam a prejuízos financeiros e os custos envolvidos nos reparos, sendo que a aleatoriedade de muitas das ocorrências, aliadas a inviabilidade econômica de aplicação uma determinada solução de forma completa na maioria dos casos, implicam na necessidade de uma avaliação criteriosa sobre a prioridade dos investimentos. A abordagem deste estudo técnico é feita através de análise de viabilidade técnico – econômica, objetivando aumentar a confiabilidade do sistema elétrico e segurança de pessoal, reduzindo riscos de falhas de equipamentos e melhorando os indicadores de qualidade dos serviços de fornecimento de energia elétrica.

Em complemento, serão mencionados de forma sucinta os resultados de ensaios de avaliação da efetividade de proteção realizados recentemente no CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica (Rio de Janeiro), indicando claramente a inadequação de 50% a 70% de unidades de para raios de carboneto de silício existentes na reserva técnica da CPFL que deveriam estar aptos a serem utilizados quando de situações de emergência.

2.0 - O SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA E A NECESSIDADE DE PROTEÇÃO

Um dos maiores desafios das concessionárias de energia elétrica se encontra na busca permanente da harmonia entre os desempenhos técnicos e econômicas, especialmente voltados a definição e implementação de políticas efetivas de planejamento, projeto, construção, operação e manutenção do sistema elétrico e equipamentos associados para que seja possível o adequado atendimento e comercialização de energia elétrica, maximizando os resultados, reduzindo riscos de obsolescência e qualidade dos serviços prestados com segurança dos profissionais e meio ambiente.

Entretanto, em um sistema elétrico em operação nos deparamos invariavelmente com a indesejável possibilidade de falhas, principalmente relacionadas com sobretensões devidas a descargas atmosféricas – manobra – temporárias, sobrecorrentes advindas de faltas e sobrecargas e em um segundo plano temos ainda níveis de isolamento incompatíveis (níveis de poluição, idade dos equipamentos, etc.), atos de vandalismo, operação indevida e manutenção inadequada.

Como consequência, resultam os inconvenientes desligamentos traduzidos em prejuízos com a falta de energia para o consumidor, bem como para a imagem e custos de reparos para a Empresa, durante o período de tempo utilizado para sanar a irregularidade e retomada de produção e danos em equipamentos associados, eventuais penalizações por transgressão a indicadores de qualidade, existindo a necessidade de uma solução para evitar falhas especialmente envolvendo o transformador de potência, disjuntores e instalações de subestações.



FIGURA 1 – Descargas atmosféricas típicas



FIGURA 2 – Transformador de potência

Para tanto, são necessários estudos de engenharia (coordenação de isolamento, sobretensões, sensibilidade da proteção, confiabilidade, etc), além de ações concretas, operacional e economicamente viáveis, para superar as consequências destes fenômenos, abordando a concepção de subestações e instalações, especificação e aquisição de equipamentos elétricos de alta tensão de transformação, regulação, medição, manobra e proteção com características adequadas, coordenação de ajustes e proteção, dentre outros quesitos. Destes estudos são criados procedimentos de engenharia na escolha e aplicação de equipamentos elétricos e dispositivos de proteção, levando-se em conta as tensões que podem se manifestar de modo a reduzir a um nível econômico e operacionalmente aceitável a probabilidade de danos ao equipamento e interrupções do fornecimento de energia elétrica.

A fim de limitar ou eliminar os efeitos das sobretensões que ocorrem naturalmente nos sistemas elétricos são utilizados alguns métodos, tais como blindagens das linhas de transmissão através de cabos guarda contra sobretensões devidos a descargas atmosféricas ou resistores de pré inserção em disjuntores de alta tensão contra sobretensões advindas de manobras. Entretanto, na maioria dos casos existe ainda a necessidade de instalação de dispositivos de proteção como os para raios que contribuem decisivamente para a confiabilidade do sistema elétrico e continuidade do fornecimento de energia elétrica.

3.0 - DESEMPENHO DE PARA RAIOS DE SUBESTAÇÕES

Na CPFL as taxas de falhas em pára raios de carboneto de silício apresentam uma tendência a estabilidade, mesmo assim, a função desempenhada (proteção de equipamentos e instalações) e histórico deste tipo de equipamento (idade, origem tecnológica, resultados de ensaios, etc.) leva a concluir pela necessidade de uma reavaliação quanto a substituição de unidades em operação de médio e longo prazos, possibilitando melhorar as margens de proteção de equipamentos sob sua guarda, especialmente em pontos importantes da área de concessão com maior incidência de descargas atmosféricas.

3.1 Principais Falhas em Pára Raios

A possibilidade de problemas no conjunto de pára raios da subestação, responsáveis pela proteção principal do transformador de potência, disjuntor de alta tensão e equipamentos associados, mostrou-se uma das questões essenciais para o sistema elétrico. Até o final de 70 não se levava em conta a possibilidade de monitoramento de pára raios devido a complexidade de sua concepção e desconhecimento da totalidade de influências de seu funcionamento. Porém, a partir de 1983 foram desencadeadas várias ações pelas áreas de engenharia envolvidas com o assunto na procura de soluções técnicas para contornar os prejuízos causados por falhas em pára raios.



FIGURA 3 – Penetração de umidade em pára raios



FIGURA 4 – Danos em blocos de carboneto de silício

Para as subestações da CPFL, após estudos e análises de falhas registradas de para raios em operação, concluiu-se que as principais causas tem relação com a eventual incompatibilidade especificação técnica e sistema, perda de estanqueidade, transporte e manuseio inadequados, anomalias de fabricação, envelhecimento natural, condições anormais de operação e montagem inadequada.

3.2 Ações Estratégicas de Engenharia e Manutenção

Várias foram as providências conjuntas tomadas pelas áreas de engenharia e manutenção das concessionárias, institutos de pesquisa e fabricantes nas últimas décadas a partir de 1980 com o intuito de proceder a redução ou eliminação das principais causas de falhas em pára raios:

- Aumento do nível de conhecimento a respeito de pára raios, sobretensões e coordenação de isolamento;
- Estudos e análises para especificação técnica abrangendo também pára raios à óxido de zinco;
- Cadastramento das unidades desmanteladas de subestações, estoque e reserva;
- Ensaio em unidades vindas de desmantelamento, estoque e reserva;
- Seleção e separação das unidades consideradas em condições de uso;
- Verificação de condições técnicas de amostras retiradas de operação;
- Desenvolvimento de medidor de corrente de fuga total;
- Criação de procedimentos de transporte e manuseio;
- Aperfeiçoamento de procedimentos de montagem, instalação e manutenção preventiva;
- Instalação de pára raios de óxido de zinco em algumas subestações que tem nas suas proximidades cruzamento com linhas de extra alta tensão com linhas de 34,5 kV;
- Participação ativa das concessionárias, organismos de pesquisa e fabricantes nas revisões de normalização técnica brasileira de especificação, método de ensaios e guia de aplicação de pára raios para sistemas elétricos.

Em complemento, como quesitos essenciais para a CPFL, vem sendo considerados a adoção de critérios relevantes, tais como a qualificação técnica de fornecedores e produtos destinados as subestações elaborados pela área de engenharia, a especificação com prescrições relacionadas a garantias técnicas do produto adquirido de forma clara e objetiva e o estreito relacionamento técnico com os fabricantes, visando trabalhos em parceria, especialmente em caso de investigações de causas de falhas. Outras ações de engenharia de campo tem relação com ensaios em unidades irmãs de para raios falhados ou com atuação de válvula de alívio de sobrepressão, cuidados adicionais durante o manuseio e/ou transporte e registros de ocorrências indicados por famílias.

Apesar dos vários esforços técnicos para superar esta situação, existe um histórico que torna o terreno fértil a evolução de falhas em para raios podendo como consequência atingir os equipamentos sob sua guarda:

- Somente a partir de 1980 os pára raios no Brasil passaram a ser fabricados com indicador de atuação de alívio de sobrepressão, que pode sinalizar com boa precisão um problema interno na unidade em tempo de realizar a substituição preventiva;
- Possibilidade de existir para raios em operação com perda de estanqueidade instalados sem evidência visível de falha, podendo tratar-se de causa principal para vários efeitos encontrados, tais como : transporte e manuseio inadequado, envelhecimento natural, condições anormais de operação, etc;

- Possibilidade de existir para raios instalados e em operação provenientes de dismantelamentos de subestações mais antigas com probabilidade de montagem inadequada, por tratar-se de unidades de carboneto de silício compostas de vários módulos na época sem os devidos procedimentos;

3.3 Avaliação de Para Raios da Reserva

Corroborando esta situação foi levado a termo entre 2003 e 2004 uma averiguação do adequado funcionamento de 24 unidades de pára-raios de porcelana fabricados com carboneto de silício (SiC) de idade média de 27 anos, que a CPFL possuía na sua Reserva Técnica. Tendo em vista a idade avançada, falta de informações sobre as condições e procedências destes equipamentos foram executados ensaios das características mínimas de proteção nos laboratórios de alta tensão do CEPEL – Rio de Janeiro. Os resultados indicaram que 50% a 70% das unidades possuíam características de proteção insatisfatórias, conforme prescrições de normas e/ou especificação CPFL. Os ensaios executados, visando avaliar o desempenho dos pára-raios e a melhoria da confiabilidade das famílias de pára-raios da reserva técnica (estoque) da CPFL, contribuiu para a implementação de providências necessárias para a reposição e/ou readequação da reserva técnica de para raios de subestação.

Caso fossem utilizados estes para raios com proteção considerada ineficaz, teríamos como conseqüência, quando de sua atuação para proteger equipamentos e instalações da subestação, o desenvolvimento de níveis de solicitações dielétricas (sobretensões) maiores do que a suportabilidade da isolação destes equipamentos sob sua guarda (transformadores de potência, disjuntores de alta tensão, trafos de corrente, trafos de potencial, etc.), levando-os a falha. Isto traria como desdobramentos a interrupção do fornecimento de energia, a perda do faturamento, elevados custos de reposição - reparos – providências (unidade nova, transportes, equipes, manobras, subestação móvel, etc.) e a depreciação da imagem da empresa. Em um caso mais extremo (explosão), existiriam ainda riscos a segurança de pessoal e equipamentos adjacentes.

4.0 - PARA RAIOS EM SUBESTAÇÕES : ASPECTOS DE MANUTENÇÃO E MONITORAMENTO

O envelhecimento dos pára raios decorre da solicitação natural do sistema elétrico com tensão nominal de operação, descargas de longa duração ou alta intensidade e curta duração ou contaminação externa do invólucro, podendo ser acelerado pela perda de estanqueidade que é mais crítica em invólucros de porcelana. A possibilidade de envelhecimento dos para raios com o tempo tem relação direta com a exposição às mais diversas condições climáticas e transitórias dos sistemas elétricos e no caso de para raios de óxido de zinco submetidos permanentemente as tensões de operação do sistema.

As concessionárias de energia possuem instalados e em operação os mais variados tipos de para raios, tais como para raios de carboneto de silício (SiC) com centelhadores internos e para raios de carboneto de silício (SiC) com centelhadores internos e ativos (sopro magnético) com invólucros de porcelana e para raios de óxido de zinco sem centelhadores com invólucros de porcelana ou de material polimérico. No Brasil um levantamento preliminar de 2004 envolvendo cerca de 19 mil pára raios de 34,5kV a 765kV indicou que 64% deles são de carboneto de silício (SiC) e tem idade média da ordem de 21 anos.

Nas subestações de 34,5 até 138kV do Sistema Elétrico CPFL existem cerca de 1,2 mil unidades de pára raios dos mais variados fabricantes e tecnologias, sendo 80% com isoladores de porcelana e fabricados com blocos de carboneto de silício (SiC). Deste universo, cerca de 50% tem idade superior a 20 anos, o que representa preocupação adicional quanto a eficácia de proteção, merecendo análise de um planejamento para substituição e/ou renovação tecnológica, associado ao aprimoramento de técnicas de manutenção preventivas e preditivas que permitam avaliar o desempenho destas unidades em operação.

4.1 Técnicas de Manutenção e Monitoramento de Para raios

Considerando as dificuldades e impossibilidade de manutenção de unidades para raios após danificadas, pela sua peculiar característica de projeto e construção, o monitoramento de suas condições operativas torna-se ferramenta fundamental a medida que tem por objetivo diagnosticar antecipadamente possíveis causas de degradação, bem como detectar unidades envelhecidas ou com problemas iminentes, permitindo a retirada programada de serviço antes da ocorrência de uma falha. Importante ressaltar que neste processo é essencial a manutenção de um banco de dados confiável com histórico de falhas das famílias de pára raios, visando acompanhamento efetivo e subsidiar diagnóstico, tomada de decisões e estudos de engenharia correspondentes.

4.1.1 Manutenção Preventiva

Nas subestações encontramos uma diversidade de tipos construtivos, faixa etária e fabricantes de para raios de carboneto de silício (SiC) e seus contadores, nacionais e importados, como aqueles da Sprecher Schuh (Bhf6e) - Mitsubishi (SV-WL) – Westinghouse (LVS) – General Electric (Alugard) – Ohio Brass (GP – MP) fabricados na década de 60, respectivamente no Brasil, Japão e nos Estados Unidos. O acompanhamento dos vários tipos de pára raios de óxido de zinco (ZnO) ou carboneto de silício (SiC) é feito da seguinte maneira:

- Semanalmente por inspeção visual : porcelanas – flanges – cimentação (sinais de trincas quebras, arcos, chamuscamento); expulsão do indicador de alívio de sobrepressão (onde existir); situação dos cabos de aterramento e de linha; contador de descargas (registros, furos, queimas, ruídos, chamuscamento);
- Semestralmente por inspeção termográfica (temperaturas internas);
- Anualmente por medição de corrente de fuga e funcionamento do contador de descargas.

As premissas principais para aplicação de técnicas de manutenção preventiva utilizadas procuram levar em consideração no mínimo as seguintes pontos relevantes:

- Acompanhamento e medições de forma sistêmica e periódica como manutenção preditiva;
- Medição realizada na subestação e sem desenergizar a unidade;
- Resultados obtidos e ponderados por família de para raios;
- Busca de um diagnóstico conclusivo.



FIGURA 5 – Pára raios de subestação

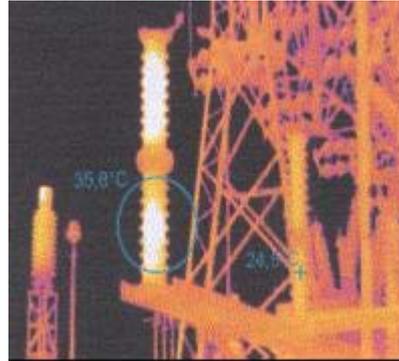


FIGURA 6 – Técnica de inspeção termográfica

4.1.2 Monitoramento de Pára raios

Além destes aspectos de manutenção, foram implementadas técnicas de acompanhamento na busca da determinação das condições de pára raios em operação nas subestações, através do seu monitoramento, prevenindo anomalias e seus desdobramentos.

Atualmente, várias são as alternativas para monitoramento de pára raios instalados e em operação, utilizadas pelos usuários, aliadas a informações dos fabricantes, tendo como base recomendação do WG10 (Working Group) da IEC 600099-5 quando se trata de para raios de óxido de zinco, não sendo abordado para o caso de para raios de carboneto de silício. No caso de retirada de operação sob suspeita de anormalidade as unidades são encaminhadas para ensaios em laboratórios de alta tensão para confirmar o problema e investigar modos e causas de falhas. Os principais itens de monitoramento disponíveis são indicados abaixo.

Pára raios de óxido de zinco (ZnO)

- Indicador de alívio de sobrepressão; contador de descargas; inspeção termográfica; medição de corrente de fuga total; medição da componente resistiva de corrente de fuga; medição e análise dos harmônicos da componente resistiva da corrente; medições fator de potência, perdas dielétricas e resistência de isolamento.

Pára raios de carboneto de silício (SiC)

- Indicador de alívio de sobrepressão; contador de descargas; inspeção termográfica; medição de corrente de fuga total, onde possível; medições fator de potência, perdas dielétricas e resistência de isolamento.

Dentre as técnicas de manutenção preditivas levadas a termo pela CPFL, destaca-se a implantação de termovisão, contendo faixas limites de elevação de temperatura, os quais possuem relacionamento com o tipo construtivo do pára raios e temperatura de trabalho, baseados em estudos de várias empresas do setor elétrico. Adotada recentemente, tem apresentado êxito em casos críticos, merecendo cuidados necessários na utilização, uma vez que sua eficácia depende da experiência do operador na interpretação dos resultados.

4.2 Grupo de Trabalho - Monitoramento de Pára Raios

No início de 2004, foi criado pelo Cigré Brasil a Comissão de Estudos A3 / Grupo de Trabalho A3.17 - Pára Raios para o desenvolvimento de forças tarefas relacionadas a Técnicas de Monitoramento e Diagnóstico de Pára Raios, visando até 2006 apresentar uma definição de técnicas de manutenção e dos critérios de avaliação de resultados (diagnóstico) mais consistentes, de forma a permitir a retirada programada dos pára raios defeituosos de serviço antes da ocorrência da falha, abrangendo para raios de 69kV até 500kV de carboneto de silício e de óxido de zinco, com a participação de empresas concessionárias, consumidores, fabricantes e instituições de pesquisa.

Neste escopo de monitoramento e diagnóstico encontram-se em andamento estudos desde a formação de um banco de dados da situação atual e procedimentos empresas, passando por avaliação da literatura técnica

disponível, informações sobre procedimentos adotados em outros países, análise dos critérios e especificações usadas pelas empresas, avaliação dos equipamentos de avaliação disponíveis, comportamento de unidades em estoque, experiência de instituições de pesquisa no uso de diversas técnicas e chegando até estabelecimento de limites para classificação de estado de pára raios.

Trata-se de um avanço importante, tendo em vista a faixa etária das unidades de para raios e tecnologia existente nas subestações das empresas brasileiras, que permitirá uma melhor visão quanto aos tipos de para raios instalados e sua situação atual para viabilizar os próximos passos de realização de critérios e diagnósticos, levando em conta o intercâmbio de experiências e estudos científicos, englobando várias famílias de fabricantes, tipos e modelos de um universo considerável.

5.0 - ANÁLISE DE VIABILIDADE TÉCNICO – ECONÔMICA

As soluções de engenharia são frutos de análises e avaliações, que englobam o levantamento de dados de ocorrências e seus desdobramentos durante um determinado período de tempo (base de dados); passando pela estratificação (estatísticas), análise técnica (causa x efeito), prospecção de mercado (novas tecnologias) e interpretações de resultados, para, finalizando, elaborar a composição de uma proposta de plano de ação e implementação (prazo, instalação, gerenciamento e controle).

Levando em conta a importância estratégica dos transformadores de potência de subestações para o sistema, sua idade média, o elevado preço unitário e impactos de uma falha relacionados a custos e tempo de reparos, uma análise técnica leva a necessidade de cuidados especiais quanto a sua proteção especialmente contra sobretensões advindas de descargas atmosféricas, as quais são mais relevantes para os sistemas com níveis de tensão de até 230 kV, apesar das suas taxas de falhas apresentarem tendência de estabilidade.

A análise econômica engloba a avaliação de viabilidade de aplicação de recursos, que, associada de forma adequada aos aspectos puramente técnicos, alavancam e potencializam as soluções de engenharia. Em análises de projetos ou soluções de engenharia, a decisão favorável ou não para o investimento não pode se basear apenas no julgamento técnico de pessoas mais experientes. Esta análise deve comparar as diversas opções de investimentos existentes sem subjetivismos, com base no valor econômico que cada solução ou projeto é capaz de agregar.

5.1 Método Adotado

No ambiente privado e cada vez mais competitivo dos dias atuais, as premissas econômico financeiras tem cada vez maior importância na avaliação de empreendimentos (soluções de engenharia, projetos, etc.) que visem a maximização do retorno do capital investido pelos acionistas. Além do julgamento técnico de pessoas experientes, precisamos de ferramentas baseadas na matemática financeira que nos auxilie a mostrar as potencialidades destes projetos e soluções de engenharia. Nesta avaliação, vários são os métodos de avaliação de projetos de investimentos, destacando-se : payback simples, payback descontado, valor presente líquido e taxa interna de retorno, cada qual com suas peculiaridades.

Adotamos o método do valor presente que é basicamente um fluxo de caixa descontado, trazendo a valor atual, através de uma taxa de desconto definida, os acréscimos e receitas esperadas, custos evitados e outros benefícios, bem como os investimentos e acréscimos de despesas operacionais dele oriundos, mostrando a contribuição do projeto para a o aumento do valor da Empresa.

As entradas de caixa representam benefícios de uma solução, tais como redução da força de trabalho - encargos - benefícios, redução de contratos de terceirização, redução de despesas operacionais, desmobilização de ativos, redução de investimentos, benefícios com a tecnologia e postergação de investimentos. As saídas de caixa representam custos de uma solução, tais como aumento da força de trabalho - encargos - benefícios, indenizações trabalhistas, multas por rescisão de contratos de prestação de serviços, contratos adicionais de terceirização, incremento de despesas operacionais em equipamentos, investimentos em novos produtos ou obras e desenvolvimento de sistemas.

A idéia fundamental é o estabelecimento de procedimentos que possam identificar e estimar custos e benefícios presentes em novos projetos ou soluções de engenharia e, através de métodos de avaliação de viabilidade econômica, verificar se esses projetos ou soluções têm capacidade de gerar bons resultados para a Empresa. Por bons resultados entende-se que os retornos (benefícios) esperados deverão cobrir os custos (investimentos) e ainda gerar um saldo positivo considerado satisfatório, quando comparado com os riscos assumidos. Esse saldo positivo é o valor agregado pelos projetos e soluções à Empresa.

5.2 Pára Raios e Transformadores de Potência - Levantamento e Tratamento dos Dados

A busca permanente da eliminação das causas de falhas em pára raios é fundamental para o estabelecimento mais efetivo do compromisso de proteção adequada aos equipamentos da subestação a um nível econômico e operacionalmente aceitável. No caso dos transformadores de potência, além da eliminação das causas de falhas, a melhoria da margem de proteção visa aumentar a confiabilidade, uma vez que este equipamento tem maior influência sobre a continuidade e qualidade de fornecimento de energia.

Os benefícios tem relação com a não realização de desembolsos para atendimento emergencial contando com o deslocamento - montagem - energização da subestação móvel, despesas operacionais (mão de obra, refeições, transporte), manobras no sistema de distribuição, interrupção de energia elétrica, rateios da reserva técnica e das unidades móveis emergenciais e reparos do transformador falhado. Os investimentos referem-se a aquisição e substituição de pára raios instalados atualmente por pára raios de nova tecnologia.

Os pontos relevantes para configuração estatística são a quantidade de unidades existentes, taxa de falhas, estratificação de falhas graves (desligamento e reparo), designação de falhas relacionadas a descargas atmosféricas e idade média das unidades. Na falta destes dados poderiam ser utilizados dados prospectivos ou históricos. O custo do capital investido a ser adotado nas avaliações é definido a partir de uma análise de capital disponível para investimentos, fontes e custos dos recursos, quantidade de bons projetos e seus objetivos e nível de risco dos projetos, representado por uma taxa de juros anual.

5.3 Premissas de Avaliação

Para análise de dados reais ou, na ausência destes, os dados prospectivos, as condições de contorno devem estar claramente definidas e depende da filosofia de trabalho de cada Empresa. Um caso pode ser acompanhado abaixo, para transformadores de potência de subestações de distribuição típicas da CPFL.

- Na subestação ocorre uma falha em um transformador de com mais de 25 anos, falha esta de nível grave, causada por descarga atmosférica, com necessidade de substituição da unidade;
- A ocorrência que levou o transformador a falha foi constatada através de atuação de relés e de inspeção visual (posição conservativa) o que nem sempre acontece, não havendo transgressão dos indicadores de qualidade;
- Na subestação foi possível se fazer a transferência de carga através de manobras operativas rápidas (posição conservativa), mas poderíamos estar tratando de uma subestação radial;
- Houve possibilidade de atendimento completo, primeiramente pela Subestação Móvel e posteriormente com a substituição da unidade falhada por transformador existente na reserva técnica do sistema em Campinas, com recursos próprios, sendo a unidade falhada encaminhada para Campinas para posterior reparos;
- Os reparos foram executados nas oficinas de empresa terceirizada, sem perda de enrolamentos (posição conservativa), após o que, o transformador foi deslocado de volta para a reserva do sistema em Campinas;
- Dois tipos de simulações realizadas, uma delas considerando o custo social com fator de impacto 10, e, outra sem considerar custo social da energia não fornecida para os consumidores.

No caso da substituição de pára raios, a operacionalização deve ser feita preferencialmente sem desligamento associado, durante eventos manutenção preventiva ou corretiva em subestações ou programa operativo de remanejamento de carga.

Simulações adicionais são feitas visando conhecer, para um determinado estudo, a interferência dos parâmetros envolvidos (tempo, juros, entrada, saída, etc.) no resultado final, podendo ser utilizado para uma decisão final envolvendo alguns cenários de curto, médio e longo prazos. Para o caso, o aumento dos valores de reparos e taxa de falhas do transformador potencializam sobremaneira os resultados de viabilidade.

5.4 Estudo de Caso

Através de dados prospectivos para ocorrências de falhas em transformadores de potência e pára raios (base 2000), o qual usa como ponto de partida a quantidade de equipamentos, idade, taxa de falhas, falhas graves resultantes de descargas atmosféricas históricos é possível obter a tempo médio entre falhas para transformadores, da ordem de 5 anos, 11 anos e 6 anos; no caso de pára raios temos a possibilidade em média de 1 unidade, 4 unidades e 1 unidade falhar ao ano respectivamente para os níveis de tensão 138kV, 69kV e 34.5kV. Estes dados são fundamentais para a composição dos custos anuais evitados no período da análise.

Os custos de falhas evitadas em transformadores (para raios) são obtidos pela composição de valores para substituição da unidade falhada contando com a instalação e uso da Subestação Móvel, os reparos na unidade falhada, a interrupção do fornecimento de energia elétrica, incluindo mão de obra, refeições, transporte e demais custos correspondentes, resultando em R\$296mil (R\$25mil), R\$255mil (R\$44mil) e R\$227mil (R\$18mil) para os níveis de tensão 138kV, 69kV e 34.5kV a serem distribuídos ao longo do período conforme estatísticas de falhas. O investimento refere-se a aquisição de 20 (vinte) para raios novos por ano durante 5(cinco) anos, destinados a substituição em subestações consideradas críticas do sistema elétrico.

6.0 - RESULTADOS ENCONTRADOS

Para o estudo de caso apresentado, após a inclusão dos dados de entrada ao longo do período de análise com benefícios da ordem de R\$860mil e investimentos propostos da ordem de R\$780mil, conforme condições de contorno e premissas adotadas, temos como resultado, um Valor Presente Líquido (VPL) da ordem de R\$118mil, taxa interna de retorno de 19%, tempo de retorno do investimento 13 anos e relação benefício / custo da ordem de 1,25, considerando um horizonte de 30 anos e taxa interna de retorno de 15% ao ano. Este resultado representa uma solução técnica com vantagem econômica, retorno de médio prazo, uma boa relação benefício / custo e um

valor agregado elevado, mesmo sem levar em conta custos evitados de eventuais penalizações por transgressão a indicadores de qualidade de fornecimento de energia, reparos no transformador não envolvendo enrolamentos, energia não fornecida sem custo social e outras possibilidades concretas que dependem de cada tipo de falha, o que pode elevar sobremaneira a atratividade para este investimento.

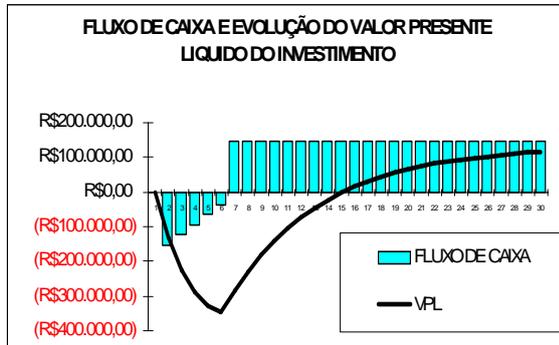


FIGURA 7 – Resultado de análise viabilidade econômica

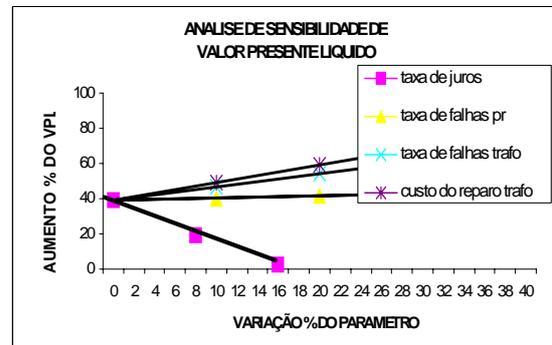


FIGURA 8 – Análise de sensibilidade

7.0 - CONCLUSÕES

No passado, as forças que direcionavam a modernização de um sistema elétrico estavam relacionadas ao crescimento da demanda e os equipamentos eram substituídos, uma vez que suas características nominais não eram mais compatíveis com as modificações dos requisitos provenientes do crescimento da carga. Atualmente, dependendo do ambiente de taxas de crescimento, nos vários países, muitos ativos tem suas características nominais suficientes para preencher suas funções até o fim de vida. Além disto, uma variedade de famílias de ativos instalados durante períodos de taxas de crescimento elevadas estão chegando ao fim de vida quase que ao mesmo tempo.

A faixa etária elevada e os riscos potenciais indicados no presente estudo reforçam a necessidade de ações para renovação de determinados ativos, dentre eles os pára raios de carboneto de silício (SiC) existentes, tendo em vista a sua missão fundamental de proteger as instalações e os ativos de maior valor da subestação, mesmo considerando que as taxas de falhas possuem tendência a estabilidade. A esta questão técnica consideramos devam ser ponderados os quesitos econômicos e financeiros particulares de cada empresa de uma forma planejada e integrada.

Para o caso dos pára raios de carboneto de silício (SiC) remanescentes na CPFL, pretendemos manter os acompanhamentos convencionais, que irão aos poucos se distanciando de medições de corrente de fuga total e se aproximando do aprofundamento de inspeções termográficas com reavaliações permanentes de limites admitidos, bem como a continuidade dos estudos de novas alternativas de monitoramento, dependendo de resultados de estudos de aplicabilidade e viabilidade técnica econômica.

8.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Transmission & Distribution Reference Book Westinghouse – 1950 / Westinghouse Co.
- [2] Pára raios de subestações - Prováveis causas de falhas - 1983 / Setor de Tecnologia de Equipamentos CPFL Campinas / João Carlos Carneiro.
- [3] NBR 5287-5309 Pára raios em sistemas de potência - Especificação e Método Ensaio e Coordenação de isolamento – 1987 – 1987 – 1983 / Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT.
- [4] Medição de corrente de fuga uma alternativa para manutenção preventiva de pára raios – 1987. Apresentado no VIII SNPTEE Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia / Mario Kubota, R. C. Maciel e S. Aya – CPFL; Manuel L. B. Martinez, Aloysio R. Pizarro e Osvaldo S. Mamalli – 3M Brasil.
- [5] Coordenação de isolamento, sobretensões, disjuntores de alta tensão e pára raios, apresentado no Seminário de Engenharia da Fundação Educacional de Barretos – 1992 / João Carlos Carneiro e Enéas B. Pinto.
- [6] Uma abordagem utilizada para alavancar, priorizar e mostrar o valor agregado de projetos de soluções técnicas de engenharia. Apresentado no IIISBQEE – Seminário Brasileiro de Qualidade de Energia Elétrica – Brasília / DF – Brasil – 1999. Cidel Argentina Buenos Aires - 2002 / João Carlos Carneiro.
- [7] Planejamento e desenvolvimento de sistemas elétricos _ O envelhecimento de sistemas elétricos e os impactos de planejamento – 1999 / Cigré – Working Group 37.27.
- [8] Política de renovação de pára raios de carboneto de silício de subestações : Uma nova abordagem técnico econômica apresentado no Seminário de Pára Raios - Rio de Janeiro - 2002 / João Carlos Carneiro.
- [9] Avaliação de pára-raios da reserva técnica da CPFL por meio de ensaios laboratoriais: uma experiência de sucesso – 2004 / Flávio Bittencourt Barbosa do CEPEL e João Carlos Carneiro da CPFL.