



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

BR/GDS/18  
13 a 16 de Outubro de 2013  
Brasília - DF

**GRUPO – X**

**GRUPO DE ESTUDO DE DESEMPENHO DE SISTEMAS ELÉTRICOS – GDS**

**FATORES DE SOBRETENSÃO ENVOLVENDO TERRA EM SISTEMAS ELÉTRICOS:  
UMA VISÃO OTIMIZADA DE GERENCIAMENTO**

**João Carlos Carneiro (\*)  
CPFL ENERGIA**

**RESUMO**

O objetivo principal deste artigo é apresentar inicialmente os principais resultados de estudos e pesquisas sintetizados ao longo de uma década sobre o comportamento de fatores de sobretensões envolvendo a terra (fatores de aterramento) de um sistema elétrico, através de simulações analíticas. Trata-se de uma metodologia de cálculo desenvolvida em 1983 e atualizada em 2000, devido à necessidade de informações mínimas sobre o comportamento deste parâmetro como subsídio aos estudos voltados para coordenação de isolamento, definição de pára-raios etc. Com estes dados é possível avaliar com maior precisão os valores tradicionalmente utilizados para classificação de sistemas elétricos em relação ao fator de aterramento (eficazmente aterrado, isolado, etc.) e seus desdobramentos. Apresenta-se os principais conceitos, os resultados e as recomendações sobre as condições de contorno que podem interferir significativamente neste gerenciamento. Algumas das vantagens da metodologia são a maior confiabilidade e agilidade para determinação inicial do fator de aterramento em um ponto do sistema elétrico, com a sua consequente classificação. Devido à evolução dos recursos computacionais existe atualmente maior flexibilidade nas avaliações, análise de causa-efeito e de caso-crítico. O presente trabalho revisita os estudos anteriores de fatores de sobretensão envolvendo a terra, comparando dois cenários de 2001 e 2011, sendo o primeiro comportado e o segundo mais dinâmico, fruto de inúmeras interligações com sistemas das mais variadas particularidades.

**PALAVRAS-CHAVE**

Sistemas Elétricos; Fator de Aterramento; Fator de Sobretensão; Fator de Falta à Terra.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

Em um sistema elétrico em operação, nos deparamos invariavelmente com a indesejável possibilidade de falhas, normalmente relacionados às sobretensões devidas a descargas atmosféricas, manobra e temporárias; sobrecorrentes devidos a curtos - circuitos e sobrecargas; quesitos de especificação, projeto, fabricação, manuseio, idade e poluição, dentre outros.

Ao longo dos anos, um sistema elétrico de potência passa por frequentes modificações na sua configuração original devidas a sua evolução natural e interligações com outros sistemas (menos frequente) ou grandes clientes (mais frequente). Deste modo, existe a necessidade de gerenciamento e se possível o controle de alguns parâmetros afeitos a superação (níveis de corrente, curtos circuitos, tensão de restabelecimento transitória, etc.) de equipamentos e instalações (transformadores, disjuntores, sistema de aterramento, cabos guarda, etc.) amplamente estudados, pesquisados e discutidos no setor elétrico.

(\*) Rodovia Campinas Mogi Mirim km 2,5 – Bloco 3; 3º Andar – CEP 13088-900 Campinas SP – Brasil  
Tel: (+55 19) 3756 8529 – Fax: (+55 19) 3756 8412 – Email:carneir@cpfl.com.br

Assim, existe a necessidade de se criar procedimentos 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 ou interrupções no fornecimento de energia elétrica. Um destes parâmetros de avaliação é o fator de aterramento (fator de sobretensão temporária envolvendo a terra), particularmente de interesse as empresas de distribuição (sistemas comportados: pouca ou nenhuma interferência quando da interligação com grandes máquinas e equipamentos), usado como subsídio a definições de premissas de planejamento, projeto, operação e manutenção, voltadas, por exemplo, a coordenação de isolamento e proteção de equipamentos de subestações.

Uma metodologia (desenvolvida em 1983 e aperfeiçoada em 2000) para a determinação do fator de sobretensão envolvendo a terra (fator de aterramento), através de solução analítica propicia uma sinalização de forma rápida e simplificada do levantamento, análises (causa x efeito; caso crítico; etc.) deste parâmetro em todos os pontos do sistema. A entrada de dados é feita a partir das informações de componentes simétricas (calculadas pela área de planejamento) de um determinado ponto de interesse do sistema (ou todos os pontos do sistema). Os resultados constam de uma relação destes fatores (curtos - circuitos mono e bifásicos para terra), bem como as relações entre as componentes simétricas, podendo ser acompanhadas por períodos de tempo com o intuito de conhecer melhor o comportamento da região em análise e tomada de ações para eventuais ajustes de equipamentos e/ou instalações.

A metodologia pode ser considerada válida, para sistemas comportados que possuem pouca ou nenhuma interferência quando das interligações de grandes máquinas equipamentos, especialmente rotativos, e tem sido adotada ao longo dos anos. Para sistemas não comportados, existe necessidade de novas estratégias e discussões para definição de fatores de sobretensões nas barras de alta tensão das subestações de forma pontual ou reavaliações periódicas.

Uma mudança de comportamento do ponto em estudo pode representar a rigor a necessidade de no mínimo a substituição de maneira preventiva do conjunto de para raios na região elétrica de atuação. A falha deste equipamento traz consigo efeitos indesejáveis a nível de segurança pessoal e de equipamentos circunvizinhos e meio ambiente, bem como período de tempo para normalização da subestação com o transformador e instalações sem a devida proteção, elevando a possibilidade de falhas (durante tempestades com raios, por exemplo).

Corroborando esta afirmação, com a evolução dos sistemas elétricos das empresas de energia e suas interligações, incluindo grande quantidade de conexões na alta tensão por Usinas (Grandes Clientes) nos últimos 10 (dez) anos e apesar de existir concomitantemente a necessidade de estudos mais aprofundados das consequentes interferências provocadas é possível inferir sobre alguns fenômenos. Serão explanados indícios de relacionamento destas conexões com as falhas recentes de para raios novos em algumas interligações com Usinas do Ramo Sucroalcooleiro. O caso merece atenção especial, pois estamos tratando de vários eventos recentes (com equipamentos de fabricantes diferentes), que prejudicaram a qualidade de fornecimento de energia da concessionária da região afetada, merecendo no mínimo discussões os aprimoramentos necessários para evitar reincidências e eventos similares.

Neste caso a solução inicial seria a busca e tratamento de dados e informações para uma melhor avaliação da situação (critérios de definição, características do sistema, detalhes das falhas, condições para sobretensões e sobrecorrentes além da normal, etc.). Lembrando que qualquer ação precipitada pode aumentar a possibilidade de novas falhas (e novos prejuízos) serem atribuídas à própria empresa concessionária de energia.

## 2.0 - METODOLOGIA

A metodologia de gerenciamento de fatores de falta terra (fatores de aterramento) é apresentada com os principais conceitos de maneira simplificada contendo a interpretação dos resultados encontrados, mesmo que de forma embrionária.

### 2.1 – Sistema Elétrico

Ao longo dos anos, ocorrem nas configurações dos sistemas elétricos freqüentes modificações, especialmente nas distribuidoras, devidas a sua evolução natural e interligações existindo a necessidade de gerenciamento e controle de características (níveis de curto circuito, planos de contingência, topologia, etc.) para utilização da melhor forma de operação (Figura 1). Dentre estes parâmetros, tem se o fator de aterramento como subsídios a definições de premissas de planejamento, projeto, operação e manutenção, voltadas a proteção de equipamentos de subestações.

Os resultados destes cálculos são fundamentais para definição de quesitos de coordenação de isolamento, o qual define os procedimentos 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 ou interrupções no fornecimento de energia elétrica. Também

são usados para se conhecer o comportamento do sistema elétrico em termos de sistema de aterramento e seus desdobramentos. Estes critérios se aplicados adequadamente podem evitar falhas nos equipamentos de subestações (transformadores de potência e demais equipamentos de subestações) protegidos pelos para raios e estes propriamente ditos.

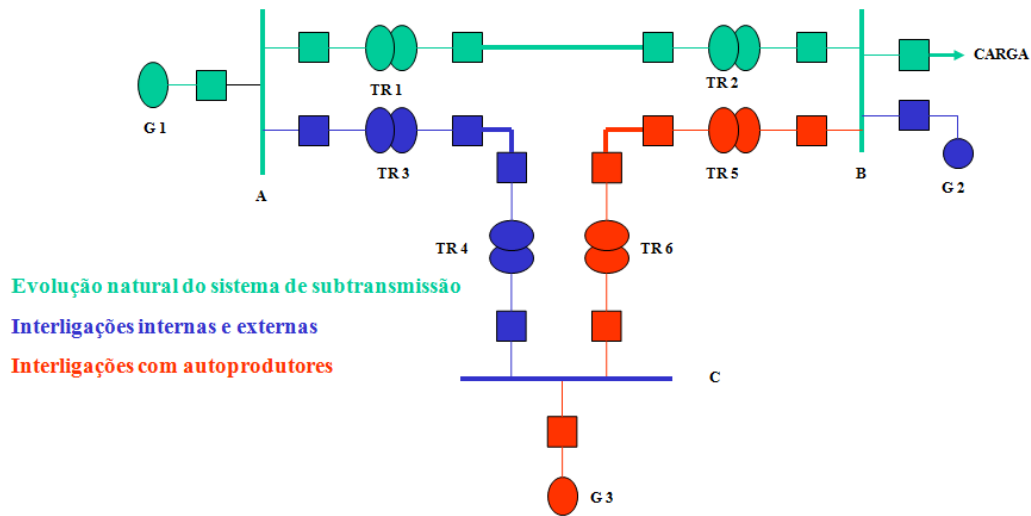


FIGURA 1 – Sistema Elétrico Típico e Interligações

## 2.2 – Conceituação Clássica do Fator de Aterramento

O fator de aterramento, ou fator de falta para terra, representa as condições de aterramento de um sistema elétrico frente a curtos - circuitos monofásicos ou bifásicos com contato à terra, sendo calculado através de componentes simétricas ( $R_0$ ,  $X_0$ ,  $R_1$ ,  $X_1$ ,  $R_2$ ,  $X_2$ ). A sua definição, através de modelo reduzido de Thévenin (Figura 2), propicia a determinação da classificação de um sistema elétrico, conforme normalização pertinente, para determinadas condições de  $R_1$ ,  $X_1$ ,  $R_2$  e  $X_2$ . O fator é utilizado como subsídios a estudos de coordenação de isolamento e da proteção, bem como a definição de para raios e disjuntores nas subestações.

- ✓ Eficazmente aterrado ( $X_0/X_1$  entre 0 e 3 ;  $R_0/X_1$  entre 0 e 1)
- ✓ Aterrados por ressonância ( $X_0/X_1$  entre 0 e -20)
- ✓ Isolados ( $X_0/X_1$  menor que -20)

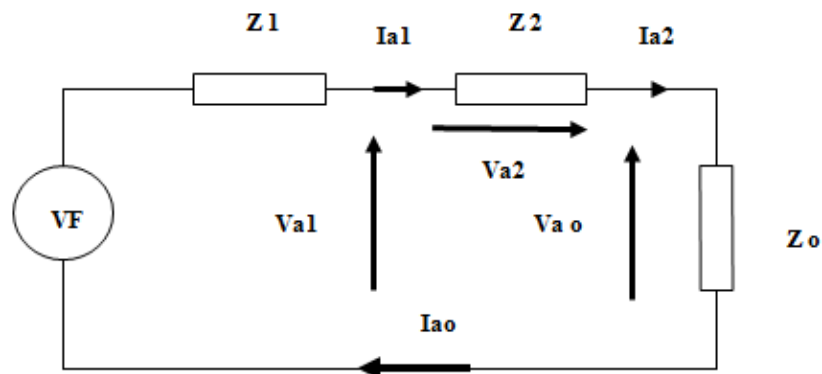


FIGURA 2 – Modelo Thevenin – Tensões Correntes Impedâncias de Sequencia  
(Ilustração de Curto Circuito Monofásico)

## 2.3 – Determinação do Fator de Aterramento

Para a definição deste fator de aterramento, dispõe-se de várias metodologias e curvas genéricas, inclusive orientadas pela Normalização Técnica guia de aplicação de para raios. Porém, algumas variações não são consideradas, uma vez que na realidade  $R_1$  e  $R_2$  podem ser maiores do que zero e não necessariamente desprezíveis em relação a  $X_1$  e  $X_2$ , havendo, então, a necessidade de aprofundamento na análise e avaliação do fator de aterramento.

### 2.3.1 – Métodos de Cálculo

O método tradicional referenciano na normalização utiliza ábacos como indicado na Figura 3 e a metodologia adotada pelo método analítico é representado pela Figura 4 e as correspondentes equações (1-9).

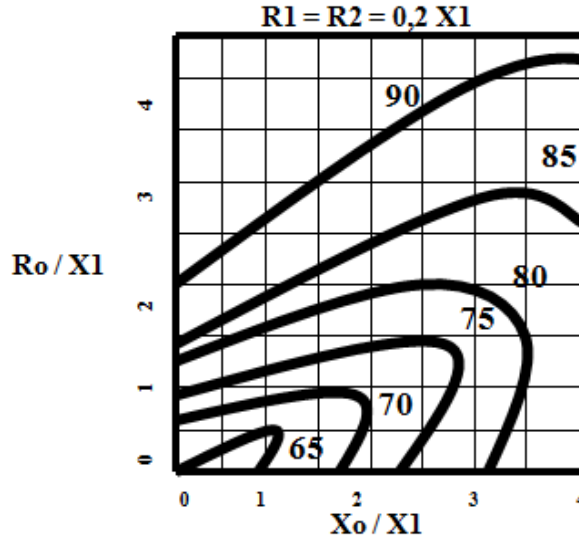


FIGURA 3 – Fator de Aterramento x Variação de Relação de Componentes Simétricas

Usando como base o circuito da Figura 2, tem se as correntes de sequência positiva, negativa e zero são representadas abaixo pela equação (1).

$$\vec{I}_{a_1} = \vec{I}_{a_2} = \vec{I}_{a_0} = \frac{\vec{V}_f}{\vec{Z}_1 + \vec{Z}_2 + \vec{Z}_0} \quad (1)$$

De onde podemos calcular as tensões de sequência positiva, negativa e zero pelas equações (2) (3) (4).

$$\vec{V}_{a_1} = \vec{V}_f - \vec{Z}_1 \times \vec{I}_{a_1} \quad (2)$$

$$\vec{V}_{a_2} = -\vec{Z}_2 \times \vec{I}_{a_2} \quad (3)$$

$$\vec{V}_{a_0} = -\vec{Z}_0 \times \vec{I}_{a_0} \quad (4)$$

Resultando nas tensões das fases indicadas pelas equações (5) (6) (7):

$$\vec{V}_a = \vec{V}_{a_1} + \vec{V}_{a_2} + \vec{V}_{a_0} \quad (5)$$

$$\vec{V}_b = \vec{V}_{a_0} + a \times \vec{V}_{a_2} + a^2 \times \vec{V}_{a_1} \quad (6)$$

$$\vec{V}_c = \vec{V}_{a_0} + a \times \vec{V}_{a_1} + a^2 \times \vec{V}_{a_2} \quad (7)$$

O fator de falta para terra, para curto circuito na fase A, então, vale o seguinte para as fases B e C como indicado nas equações (8) e (9).

$$F_{sb} = \left| \frac{\vec{V}_b}{\vec{V}_f} \right| \quad (8)$$

$$F_{sc} = \left| \frac{\vec{V}_c}{\vec{V}_f} \right| \quad (9)$$

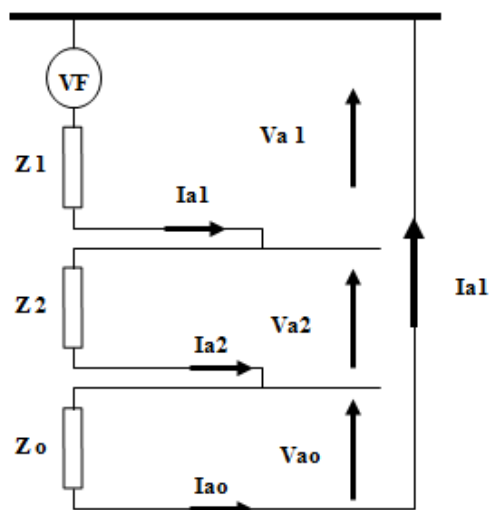


FIGURA 4 – Circulação de Correntes Simétricas e Tensões Simétricas.

Para as considerações e equações (1-9) foram adotadas as seguintes nomenclaturas: Fsb - Fator de falta para terra na fase B; Fsc - Fator de falta para terra na fase C; Fab - Fator de aterramento na fase B; Fac - Fator de aterramento na fase C; Ia1 - Corrente de sequência positiva no instante do curto-circuito (pu), módulo e ângulo; Ia2 - Corrente de sequência negativa no instante do curto-circuito (pu), módulo e ângulo; Iao - Corrente de sequência zero no instante do curto-circuito (pu), módulo e ângulo; Vf - Tensão fase-terra imediatamente após a falta (pu), módulo e ângulo; Z1 - Impedância de sequência positiva (pu), módulo e ângulo; Z2 - Impedância de sequência negativa (pu), módulo e ângulo; Zo - Impedância de sequência zero (pu), módulo e ângulo; Zf - Impedância de falta (pu), módulo e ângulo; Va1 - Tensão de sequência positiva no instante do curto-circuito (pu), módulo e ângulo; Va2 - Tensão de sequência negativa no instante do curto-circuito (pu), módulo e ângulo; Vao - Tensão de sequência zero no instante do curto-circuito (pu), módulo e ângulo; a - Coeficiente de defasamento (120 graus); Va - Tensão na fase A no instante do curto-circuito (pu), módulo e ângulo; Vb - Tensão na fase B no instante do curto-circuito (pu), módulo e ângulo; Vc - Tensão na fase C no instante do curto-circuito (pu), módulo e ângulo

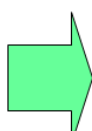
### 2.3.2 – Interpretação dos Resultados

Os resultados constam de uma relação de fatores de falta para terra e fatores de aterramento correspondentes para curtos - circuitos mono e bifásicos envolvendo a terra, bem como as relações entre as componentes simétricas utilizado pelo método convencional para fins de comparação colocados na Tabela I.

TABELA I – RESULTADOS DE CALCULOS DE FATOR DE FALTA A TERRA

RELATÓRIO DE NÍVEL DE CURTO CIRCUITO										
DUARTINA 138 / 13,8										
	CURTO TRIFÁSICO					CURTO FASE - TERRA				
	MVA	AMPERES	ÂNGULO	Z+ (PC)	ÂNGULO	MVA	AMPERES	ÂNGULO	Z+ (PC)	ÂNGULO
ALTA	852,95	3568,5	-72,59	11,72	72,59	486,7	2036,21	-74,64	38,22	75,89
BAIXA	89,79	3756,5	-88,2	111,37	88,2	92,93	3887,71	-88,75	100,13	90

RELATÓRIO DE FATOR DE FALTA PARA TERRA E FATOR DE ATERRAMENTO



SUBESTAÇÃO DUARTINA 138.0					
FASE	SOBRETENSÃO		FATOR DE ATERRAMENTO MÁXIMO	RELAÇÕES	
	F-T	FF-T		Ro / X1	0,72879
A	0	1,28779	0,743506	Xo / X1	3,052851
B	1,258198	0	0,726421	R1 / X1	0,265647
C	1,245619	0	0,719158		

Nota: Dados na base de Tensão 138 kV e Potência 100 MVA

Uma mudança de comportamento do ponto em análise representava a rigor a necessidade de no mínimo a substituição pró-ativa de para-raios convencionais (SiC – carboneto de silício), ou acompanhar o comportamento daquela barra. Então era possível gerenciar o universo de barras (e para-raios) do sistema de subtransmissão da CPFL. Em caso de desvios, era dada atenção especial para a barra considerada (com o acompanhamento), pois teoricamente havia um risco de em uma atuação inadequada (falta de reselagem) com a consequente falha de um para-raios, com os desdobramentos indesejáveis a nível de segurança pessoal e de equipamentos circunvizinhos, bem como período de tempo para regularização da subestação com o transformador sem a devida proteção.

## 2.4 – Plano de Ação Típico

Esta metodologia analítica de cálculo, com baixo custo de operacionalização, tem os seguintes subprodutos:

- ✓ Determinação do fator de aterramento e fator de falta para terra com maior confiabilidade;
- ✓ Gerenciamento do comportamento deste parâmetro periodicamente;
- ✓ Criação de mecanismos visando ações relacionadas a impactos de mudanças no sistema;
- ✓ Avaliação da influência desses parâmetros como subsídios a soluções para linhas e subestações;
- ✓ Economia à medida que é utilizado para tomada de decisão sobre substituição de para-raios e outros equipamentos.

Ainda na época havia uma sugestão para que a análise e interpretação dos resultados desta metodologia fossem feitas periodicamente, propiciando gerenciamento de evolução dos fatores em estudo, bem como a tomada de decisão. Várias ações foram tomadas culminando com a inclusão de relações entre as componentes de sequência nas análises e relatórios de planejamento.

## 3.0 - ANÁLISE CRÍTICA DO PROCESSO

Com a evolução dos sistemas elétricos e suas interligações, incluindo uma grande quantidade de conexões na alta tensão por Usinas (Grandes Clientes) nos últimos 10 anos existe concomitantemente a necessidade de estudos mais aprofundados das conseqüentes interferências associadas.

Esta proposta tem como embasamento no fato de que a metodologia desenvolvida é considerada válida para sistemas comportados que possuem pouca ou nenhuma interferência quando das interligações de grandes máquinas e equipamentos, especialmente rotativos, e tem sido adotada ao longo dos anos. Para sistemas não comportados, existe necessidade de novas estratégias para definição de fatores de aterramento (fator de falta terra) nas barras de alta tensão das subestações.

Corroborando esta afirmativa temos alguns indícios de possível relacionamento destas conexões com as falhas recentes de para-raios como mostrado na Figura 5 em algumas interligações da região Nordeste da CPFL (Subestações de Usinas de Grandes Clientes).

### 3.1 – Interligações - Estudos e Análises

Os estudos do sistema elétrico e suas conexões (novas) são normalmente elaborados a partir de dados e informações do próprio sistema e dos equipamentos principais de conexão dos grandes clientes. As análises e simulações ao que tudo indica são feitos em regime de operação normal, não levando em consideração os eventuais transitórios (entrada e saída de máquinas, manobras, etc.).

Pode então inferir que para sistemas não comportados, este procedimento pode trazer como conseqüência uma lacuna, faltando visibilidade para eventuais superações de equipamentos de proteção (disjuntores, para-raios, malha de terra, cabos guarda) por sobretensões (manobras, temporárias, etc.), especialmente no caso em análise os para-raios de óxido metálico (óxido de zinco).

### 3.2 – Conexão aos Sistemas Elétricos de Subtransmissão CPFL

Relativamente aos acessantes em níveis de tensão de distribuição, muito frequentes atualmente, as empresas de energia via de regra possuem Normas Técnicas para conexão que estabelecem requisitos técnicos mínimos a serem considerados em estudos de viabilidade, projetos, especificações, características construtivas, aspectos de operação e manutenção das instalações destinadas à conexão dos usuários de energia elétrica nos respectivos sistemas elétricos, de acordo com a Legislação ANEEL vigentes, e, também para celebração de contratos de acesso que forem assinados entre os agentes envolvidos nas questões de conexão. Isto considera também estudos de seletividade da proteção, coordenação de isolamento, etc.

Vale ressaltar que vem acontecendo uma tendência de recebimento por doação de um elevado número destas entradas de subestações que envolvem os para-raios, transformadores de instrumentos de medição, seccionadores. Este fato deverá trazer consigo impacto significativo especialmente na responsabilidade e comportamento das correspondentes concessionárias de energia daqui para frente nesta questão, a partir do momento que passarem

de solução “entra e sai” para configuração de “derivação” Não pode ser descartada a hipótese de que o sistema elétrico destas empresas em determinadas regiões podem estar mudando seu comportamento com relação a este quesito, devido a estes novos agentes entrantes, tornando essencial o conhecimento, avaliação (reavaliação) e providências a respeito.

### 3.3 – Ocorrência de Falhas em Pára Raios

Vários exemplos de falhas em pontos de conexão de grandes clientes foram registrados (Figura 5) incluindo reincidências. O caso merece estudos mais aprofundados e eventual aplicação de medidas preventivas, para definir prováveis causas, uma vez que claramente o efeito tem sido a falha no para raios, porém a(s) verdadeira(s) causa(s) normalmente permanece indeterminada(s) antes destas ações. Este fenômeno é considerado grave e merece atenção especial, uma vez que estes eventos mesmo indiretamente prejudicaram a qualidade de fornecimento de energia da região.

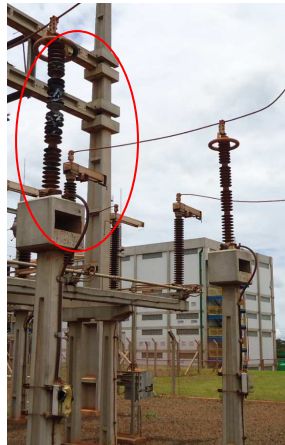


FIGURA 5 – Entrada de Linha de Grande Cliente – Pára-Raios Falhado

### 3.4 – Prováveis Causas

Apesar da falha em para raios ser complexa e abrangente, pode estar sinalizando uma variedade de prováveis causas, não somente relacionadas ao equipamento, estudos inadequados ou a falta deles ou mesmo definição inapropriada (aplicação indevida de para raios na instalação diante de solicitações maiores do que as suportabilidades); para raios (estanqueidade, qualidade, capacidade de absorção de energia, etc); sistema elétrico (solicitações elevadas não consideradas, sobretensões / sobrecorrentes elevadas ou não conhecidas, etc.); subestação (projeto e construção do sistema de aterramento e blindagem das linhas e subestações); situação física dos equipamentos e instalações, dentre outros.

Especificamente a respeito de análises de pára raios de subestação de entrada de linha de transmissão após falha, normalmente são apresentadas características, tais como tensão nominal, corrente nominal, fabricante, ano de fabricação, tipo, classe de descargas de linha, contudo, apenas com estes dados não é possível definir se os quesitos de coordenação de isolamento foram dimensionados adequadamente. Qualquer sugestão de melhorias eventualmente proposta pela concessionária para auxiliar pode ser ineficaz, trazendo desdobramentos indesejáveis, pois a causa raiz pode não ter sido definida.

Algumas das necessidades de avaliação são os critérios de especificação e fabricação originais (estudos de coordenação de isolamento adotados, fabricante, tipo, dados técnicos, ensaios de recebimento, qualidade do eqto, etc.), características do sistema (fatores de falta terra, fatores de aterramento, níveis de curtos circuitos, situações específicas, manobras alternativas, níveis de harmônicas, filtros existentes, reatores limitadores existentes, etc.), detalhes da falha (condições do tempo, eventos simultâneos, sequência atuação relés e oscilografias, entrada / saída de geradores, etc.), condições para sobretensões além da nominal (temporárias, ferro-resonância, descargas atmosféricas, manobras, etc.).

Vale ressaltar que em alguns eventos, tais como sobretensões temporárias (típicas de interligações com a geração, levando a enganos na definição de para raios) são consideradas algumas das mais perigosas e levam a envelhecimento precoce de para raios de oxido de zinco, devendo ser avaliadas com rigor podendo estar intimamente ligado a falha.

#### 4.0 - RESULTADOS

A título exemplificativo e inicial, os resultados de cálculos de fatores de falta terra e níveis de curto circuito (base 2011) em comparação com os mesmos cálculos do passado recente (base 2001) traz consigo informações relevantes que podem ser verificados nos gráficos da Figura 6. Para o presente estudo de caso, considerando as condições de contorno indicadas anteriormente, o nível de curto circuito cresce em velocidade reduzida e o fator de falta terra (fator de aterramento) teve um crescimento expressivo, mesmo considerando que a entrada de dados foi obtida com o sistema elétrico em regime permanente (sem levar em conta os eventuais transitórios).

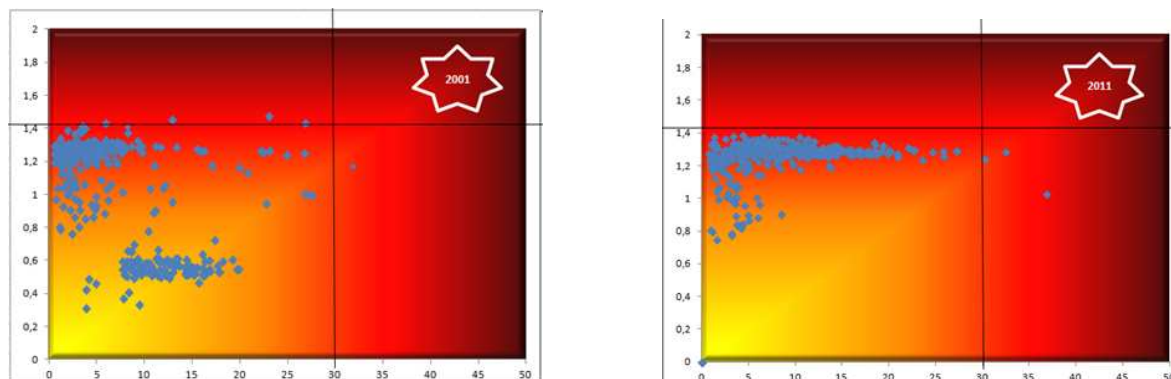


FIGURA 6 – Sistema Elétrico - Evolução de Fator de Falta Terra e Corrente de Curto Circuito  
(Horizontal: Níveis de curto circuito; Vertical: Fatores de falta terra)

Estes resultados representam indícios de evolução relevante dos fatores de falta terra e que merecem atenção especial uma vez que tem relação direta com a definição dos para raios.

#### 5.0 - CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em um nível macro, ao longo do presente documento foram apresentados os principais conceitos para definição de fatores de aterramento de sistemas elétricos, metodologia analítica aplicada a gerenciamento do comportamento deste parâmetro intimamente relacionado a para raios de subestações e resultados de duas simulações típicas utilizando como base dados de 2001 e 2011, comprovando o dinamismo de sistemas elétricos, e, procurando obter uma padrão evolutivo entre estes cenários.

Diante da situação atual da convivência de subestações interligadas de grandes clientes e/ou partes de circuitos destas subestações recebidas por doação, e, as falhas relatadas em para raios destas subestações, as quais interferem direta ou indiretamente na qualidade de fornecimento de energia da distribuidora, existe necessidade de no mínimo uma avaliação e/ou reavaliação de interligações com maiores detalhamentos, visando manter ou melhorar a confiabilidade da região. Deste modo, em um nível micro foram apresentados casos exemplificativos de falhas precoces em para raios de entrada de subestações interligadas de grandes clientes (acessantes), os quais podem estar acontecendo também em outras empresas distribuidoras de energia.

Lembrando que apesar do custo individual de para raios de subestação ser extremamente reduzido no empreendimento, este tem um elevado valor agregado pela função primordial de proteger equipamentos e instalações da subestação com os maiores custos do empreendimento (transformadores, disjuntores, chaves, geradores, máquinas, etc.).

#### 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] – ABNT NBR 5424/1981 (2001) - Guia de Aplicação de Pára-raios Sistemas de Potência – Procedimento.
- [2] – ABNT NBR 6939/1981 (1987) - Coordenação de Isolamento – Procedimento.
- [3] – Transmission & Distribution Reference Book - Westinghouse – 1950.
- [4] – Carneiro, J.C. “Fator de Aterramento de Sistema Elétrico CPFL” – Conceito e Análise - 1983
- [5] – Carneiro, J.C. “Fator de Aterramento de Sistemas Elétricos e a Normalização Técnica” -1995. Apresentado nos Seminários Cigre Cier 1994 Brasil; Cigre Erlac 1995 Argentina; XIII SNPTTE 1995 Brasil.
- [6] – Reuniões Interdepartamentais CPFL: Fator de Aterramento e Harmônicos 1996.



## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS E FOTO DO AUTOR

João Carlos Carneiro. Formado em 1980 na Faculdade de Engenharia Elétrica pela Fundação Educacional de Bauru - Estado de São Paulo - SP - Brasil (atual UNESP) e especialização em Curso Avançado em Gestão de Energia pela Fundação Getúlio Vargas de São Paulo em 1997/1998. Mestre em Geofísica Espacial - Eletricidade Atmosférica pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais de São José dos Campos – SP - Brasil), com foco na Interação das Descargas Atmosféricas e o Sistema Elétrico em 2009. Entre outras atribuições, participa de Grupos de Trabalho CIGRÉ e ABNT, envolvendo subestações e equipamentos (manutenção centrada em confiabilidade de transformadores, monitoramento de transformadores e e pára-raios, guia de manutenção de transformadores, riscos de explosão e incêndio de transformadores, coordenação de isolamento de sistemas elétrico, técnicas de ensaios de alta tensão). Colaborador da CPFL desde 1981, atuando no universo de subestações e equipamentos associados desde prospecção de novas tecnologias, estudos, projetos e ensaios de recebimento. Atualmente é engenheiro senior de soluções de manutenção.

