



**Grupo de Estudo de Linhas de Transmissão-GLT**

**SUPERAÇÃO DE ATIVOS EM LINHAS DE TRANSMISSÃO COM CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO ACIMA DA CAPACIDADE DOS CABOS PARA-RAIOS - CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA E PROPOSTA DE SOLUÇÃO**

**SANDRO DE CASTRO ASSIS(1); WALLACE DO COUTO BOAVENTURA(2); JOSE OSVALDO SALDANHA  
PAULINO(2);  
CEMIG(1);UFMG(2);**

**RESUMO**

Os cabos para-raios, fundamentalmente, têm a função de proteger os cabos condutores contra a incidência direta de descargas atmosféricas, diminuindo o número de desligamentos provocados por sobretensões atmosféricas. O dimensionamento do cabo para-raios é realizado considerando o aquecimento provocado pelas elevadas correntes durante curtos-circuitos, em especial o curto-circuito fase-terra, comumente associados à incidência de descargas atmosféricas na linha. Neste contexto, este trabalho discute questões relativas à capacidade de condução de correntes de curto-circuito em cabos para-raios de linhas de transmissão ao longo de sua vida útil e apresenta propostas de soluções para a superação de ativos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Cabos para-raios, Gestão de ativos, Superação de ativos, Curto-circuito, Linhas de transmissão

## 1.0 - INTRODUÇÃO

A matriz energética brasileira é composta em sua maior parte por fontes hídricas e nos últimos anos tem-se observado uma crescente geração em usinas eólicas e fotovoltaicas instaladas em regiões específicas. Dessa forma, os grandes centros consumidores, geralmente, estão situados a grandes distâncias dos centros geradores. Para interligar a geração com os consumidores, necessita-se de extensas linhas de transmissão. Nas últimas décadas a característica radial dos sistemas de transmissão foi perdendo espaço para um sistema mais forte, imune a perturbações locais, constituídos por grandes malhas.

A contínua expansão do sistema elétrico, a interligação entre os sistemas radiais, a conexão de novas unidades geradoras (de grande e pequeno porte), a recapacitação das linhas e a inserção de novas subestações (SEs) propiciam um aumento das potências de curto-circuito nas barras existentes e maior estresse dos equipamentos e componentes integrantes do sistema elétrico de potência. Em função do aumento do nível de curto-circuito no sistema, existe a possibilidade de ocorrer a superação de ativos já instalados. A análise dos efeitos da corrente de curto-circuito sobre esses equipamentos é necessária e fundamental para a empresa concessionária, que é remunerada pela disponibilidade de seus ativos [1,2].

Em linhas de transmissão, a superação de ativos pode ocorrer pela necessidade de transmissão de maior bloco de potência pelo caminho previamente disposto, resultando na superação da capacidade nominal suportável pelos cabos condutores em regime permanente senoidal ou dos cabos condutores e para-raios em condições especiais. Para a primeira situação, conhecida como ampacidade dos cabos condutores, existem trabalhos recentes buscando aumentar a vida útil da linha de transmissão. Em projetos de recapacitação (*upgrading*) e repotencialização (*uprating*) de linhas de transmissão, a prática de projeto avalia os cabos para-raios somente quando existe a necessidade de substituição dos mesmos por cabos OPGW (*Optical Ground Wire*), instalados com o intuito de prover canal de transmissão de dados através das fibras óticas existentes em seu núcleo. Para situações adversas, como por exemplo nas condições de curto-circuito, existem verificações pontuais.

O ONS (Operador Nacional do Sistema) coordenou grupos de trabalho para analisar a superação de equipamento de alta tensão. Estes grupos, compostos por agentes de transmissão, distribuição e geração, estabeleceram critérios para análise de superação de equipamentos e instalações de alta tensão. Em 2014 foi publicado um documento sintetizando os critérios a serem seguidos. Porém, a avaliação ficou limitada a equipamentos e sistemas de aterramento instalados em SEs [3].

Dentre os materiais de uma linha de transmissão que sofrem com a contínua elevação das potências de curto-circuito, temos os cabos para-raios (também conhecidos por cabo guarda).

As principais funções dos cabos para-raios das linhas de transmissão são:

- Blindagem dos cabos condutores quando da ocorrência de descargas atmosféricas de grandes amplitudes;
- Distribuição de corrente de curto-circuito ao longo da linha de transmissão.

Em sistemas com neutro aterrado, as correntes de sequência zero se distribuem entre os caminhos de retorno pela terra até atingir o ponto de alimentação da falta. Uma parcela da corrente injetada retorna para a fonte de alimentação pelo cabos para-raios, enquanto a outra parte é injetada no solo através dos sistemas de aterramentos das torres. A parcela injetada no solo gera uma elevação de potencial (GPR - *Ground Potential Rise*) que pode resultar em tensões de passo e toque acima dos valores admissíveis para seres humanos e outros animais próximo às torres. Durante a falta, a corrente percorre o cabo para-raios até atingir a torre mais próxima do ponto de falta. Neste ponto, a corrente se divide, sendo que uma parte desce pela torre e as outras circulam pelos cabos para-raios em direção às subestações, sendo drenadas para o solo nas sucessivas torres aterradas. A Figura 1 apresenta um exemplo de circulação de correntes de curto-circuito, considerando uma falta fase-terra em uma torre que compõe a linha de transmissão.

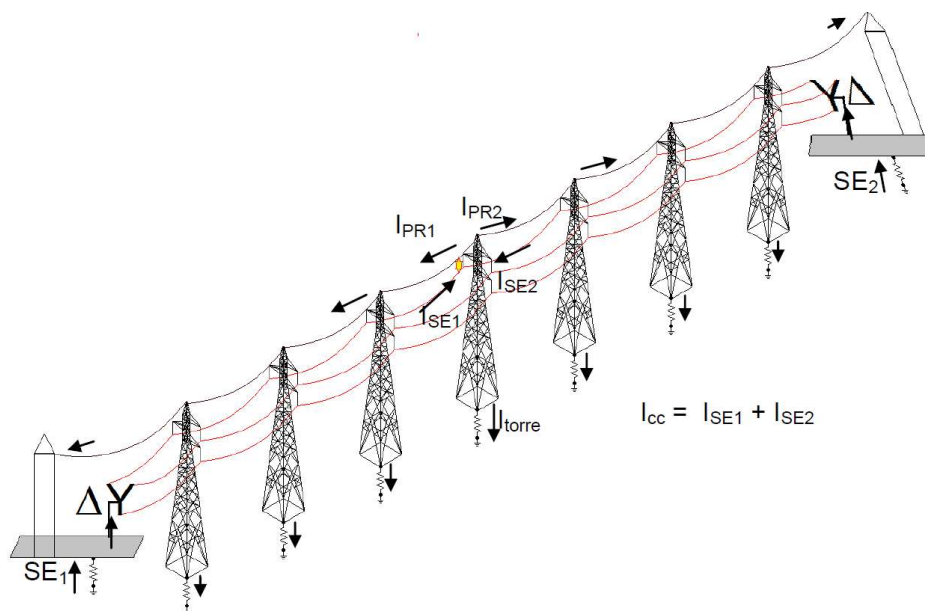


Figura 1 – Exemplo de circulação de corrente em uma LT.

O dimensionamento dos cabos para-raios é baseado na NBR 8449 [4] e deve ser realizado considerando aspectos elétricos, mecânicos e térmicos, mantendo a integridade do cabo com margem de segurança para as condições de trabalho, minimizando as ocorrências de vibração eólica e suportando eventuais correntes de curto-circuito monofásicas. A ampacidade para os cabos utilizados como para-raios não é problema, pois as correntes que circulam por eles em regime permanente são resultantes de alguns desequilíbrios de carga e de acoplamentos indutivos, devido à proximidade com os cabos condutores.

Sendo assim, no projeto de uma LT, a quantidade e posição dos cabos para-raios devem ser determinados por estudos de desempenho frente a descargas atmosféricas, de forma a se obter uma adequada proteção contra incidência direta de descargas nos cabos condutores. As escolhas dos tipos dos cabos para-raios são realizadas considerando as perdas durante a operação comercial da LT e sua suportabilidade térmica durante a circulação de correntes de curto-circuito envolvendo a terra, principalmente próximo às SEs, onde a corrente de curto-circuito alimentada pelas SEs terminais, flui em parte para a terra, através da estrutura metálica da torre, e pelos cabos para-raios. Desta forma, é justificada a utilização de cabos de maior bitola próximos às SEs e de menor bitola no restante da LT.

## 2.0 - CARACTERIZAÇÃO DO PROBLEMA

Conforme comentado no item 1.0, os cabos para-raios são especificados considerando os valores de corrente apresentados na NBR 8449, de abril de 1984. Nesta norma são apresentados diversos valores de corrente de curto-circuito que provocam determinada elevação de temperatura nos cabos para-raios, consideradas como limite. Estes valores são utilizados como referência mesmo em projetos de recapacitação de LTs ou em verificações de LTs que possuam elevação de potência de curto-circuito em função da expansão do sistema elétrico.

De acordo com relato das equipes de construção e manutenção de concessionárias, em especial da CEMIG, foram observadas desgastes físicos, com rompimento de tentos (fios que compõem o cabo) em diversas linhas de transmissão nas quais houve trocas de cabos para-raios. Em algumas situações, cabos para-raios de aço e de liga de alumínio que operaram por cerca de 10 anos, partiam ao serem rebobinados. Este tempo é demasiadamente reduzido, uma vez que as linhas de transmissão são projetadas com uma expectativa de operação de 35 a 40 anos. De acordo com a regulamentação nacional [5], as linhas de transmissão são 100% depreciadas financeiramente em um prazo de 37 anos. Os desgastes observados podem ter sido causados por

solicitações severas provocadas pela elevação do nível de curto-circuito do sistema e/ou ação de poluição sobre a camada externa dos cabos.

## 2.1 Motivação

Considerando a expansão do sistema elétrico, com elevações significativas das potências de curto-circuito nas barras terminais de linhas em operação, foi realizada uma consulta junto à equipe de manutenção da CEMIG D sobre eventos de ruptura de cabos para-raios que haviam sido atendidos e que resultaram em substituição de cabos para restabelecimento das linhas de transmissão, de forma a retomar o atendimento aos consumidores.

A motivação para este informe técnico leva em consideração o risco para superação de cabos para-raios instalados em LTs considerando:

- incidentes envolvendo o rompimento de cabos para-raios após a instalação no sistema;
- sensível aumento das potências de curto-circuito que o sistema elétrico brasileiro vem vivenciando em função do estabelecimento de um sistema elétrico mais robusto;
- a presença de um parque em operação que foi dimensionado para um cenário diferente do atual;

A seguir é apresentada uma síntese de algumas ocorrências e descrição resumida com as características do sistema envolvido.

### 2.1.1 Ocorrência 1

Linha de 138 kV, com comprimento de 35,9 km.

Trecho da LT	Número de torres	Extensão (km)	Cabo condutor	Cabo para-raios
SE A - T25	25	9,8	Grosbeak	4/0 CALA
T25 - SE B	77	26,1	Grosbeak	3/8" EAR

Correntes de curto-circuito fase-terra:

SE A: 30,9∠-85,8° kA (para o ano de 2014)

39,46∠-81° kA (para o ano de 2020)

SE B: 5,77∠-77° kA (para o ano de 2020)

Foi registrada uma falta permanente na linha em 24/10/2012 devido ao rompimento do cabo para-raios e seu entrelaçamento com cabos condutores. O cabo para-raios, no ponto de rompimento, apresentou sinais de aquecimento e fusão, sendo também verificado sinais de aquecimento próximo ao conector utilizado para conexão do cabo para-raios ao rabicho de aterramento. A oscilografia registrou cerca de 2,7 kA com duração superior a 600 ms.

### 2.1.2 Ocorrência 2

Linha de 138 kV, com comprimento de 36,7 km.

Trecho da LT	Número de torres	Extensão (km)	Cabo condutor	Cabo para-raios
SE A - 9	9	3,00	Grosbeak	2xPetrel
9 - 276	96	31,96	Penguin	5/16" AR
276 - SE B	6	1,74	Linnet	5/16" AR

Correntes de curto-circuito:

SE A: 13,12∠-85° kA (para o ano de 2014)

SE B: 7,72∠-79° kA (para o ano de 2014)

Registrada uma ocorrência no dia 03/04/2014 com rompimento do cabo para-raios e cabo condutor em trechos distintos da linha. Aparentemente o cabo para-raios sofreu com elevado tempo de abertura do disjuntor na SE A. O sistema de localização de falta indicou que a mesma ocorreu a 19,6 km da SE B. No dia 30/03/2014 nova falha na mesma linha, com um atraso para eliminação da falta e rompimento de cabo 5/16" AR.

### 2.1.3 Ocorrência 3

Linha de 138 kV, com comprimento de 12,1 km.

Trecho da LT	Número de torres	Extensão (km)	Cabo condutor	Cabo para-raios
SE A -06A	6	1,842	Linnet	OPGW / Petrel
06A-9A	2	0,465	Linnet	Petrel
9A-10	1	0,139	Linnet	Petrel
10-31	21	8,884	Linnet	5/16" AR
31-06	1	0,430	Linnet	3/8" EAR
06 – SE B	2	0,342	Linnet	3/8" EAR

Correntes de curto-circuito:

SE A: 15,8∠-79° kA (para o ano de 2014)

SE B: 9,0∠-77° kA (para o ano de 2014)

Foi registrada ocorrência no dia 28/02/2013 com desarme da proteção às 18:54 h. O ponto do curto-circuito ocorreu a 10,6 km da SE A, com o rompimento de cabo para-raios entre as torres 31 e 32. A corrente de curto-circuito no ponto da falta foi da ordem de 5 kA, sendo descarga atmosférica a provável causa do curto-circuito. Foi registrado um evento de descarga atmosférica pelo sistema de localização de descarga no horário do desligamento na região que houve o curto-circuito.

## 2.2 Curto-circuito no Sistema Elétrico

São causas típicas para ocorrências de faltas fase-terra em linhas de transmissão:

- *Flashover* através da cadeia de isoladores, devido à poluição, tensões induzidas por descargas atmosféricas, descarga direta no cabo condutor ou *backflashover*.
- Condições climáticas adversas que geram, por exemplo, balanço dos cabos das linhas devido à ação de ventos, gerando uma redução dos espaçamentos de ar entre cabos fases e cabos para-raios ou torre (balanço assíncrono ou *galloping* devido à presença de gelo sobre os cabos);
- Ruptura de cabos condutores e cabos para-raios devido à perda ou redução de tração mecânica;
- Falha mecânica de ferragem que compõe a linha, como por exemplo, grampos, cadeias de isoladores, conectores, etc;
- Sobretensões internas ao sistema elétrico, como por exemplo, sobretensões de frente lenta e temporárias;
- Rompimento de distâncias de segurança devido à presença de vegetação de grande porte dentro da faixa de segurança da linha ou no entorno;
- Dejetos de aves (*bird streamer*) que pousam sobre as cadeias de isoladores, conforme ilustrado pela Figura 2, e ao defecarem sobre a cadeia de isoladores e cabo condutor, geram um caminho de baixa impedância;
- Interferências externas, como, por exemplo, abalroamento de veículos automotivos ou aeronaves, contato de animais, como por exemplo, pássaros e répteis, redução de distâncias elétricas por máquinas de grande porte como colheitadeiras e tratores. Na Figura 3 é apresentada uma foto de um avião que atingiu uma linha de tensão nominal de 138 kV;
- Falha de procedimento de manutenção, como por exemplo, o esquecimento de remoção de aterramentos temporários antes de reenergizar uma linha.

As descargas atmosféricas constituem o principal elemento de solicitação do sistema de energia elétrica, sendo a principal causa de desligamentos em linhas de transmissão. Dados da CEMIG indicam que cerca de 70% das interrupções de fornecimento de energia elétrica decorrem de descargas atmosféricas, enquanto que estatísticas internacionais apontam que 65% dos desligamentos e 60% dos distúrbios no sistema elétrico são provocados por descargas atmosféricas [6,7], sendo este o principal mecanismo de curtos-circuitos fase-terra.



10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG



Figura 2 – Ave curicaca sobre cadeia de isoladores. Possibilidade de ocorrência de desligamentos por *bird streamer*.



Figura 3 – Incidente com avião atingindo uma linha de 138 kV.

### 3.0 - ESTUDO DE CASO

O dimensionamento determinístico aplicado na seleção dos cabos para-raios das linhas consiste na verificação da capacidade de condução de corrente do cabo, para um tempo de atuação da proteção e a máxima corrente de curto-circuito que circulará pelo cabo. Logo, os cabos dimensionados devem possuir uma capacidade de condução superior à máxima corrente de curto-circuito que irá circular por sua seção. Na implantação de uma nova linha de transmissão, considera-se o maior valor de curto-circuito para o horizonte de planejamento existente, prevendo margem de segurança para novas expansões. Com a elevação do nível de curto-circuito acima do previsto, com a injeção de diversas usinas de pequeno porte após a crise energética de 2001 (pequenas centrais térmicas e pequenas centrais hidrelétricas), bem como o aumento da confiabilidade com implantação de sistema malhado no sistema de transmissão e de distribuição, permitindo maior flexibilidade

para o atendimento das cargas, tem sido observado uma superação técnica dos cabos para-raios.

Neste item será apresentado um estudo de caso apresentando a circulação de correntes ao longo de uma linha de 138 kV. Para esta avaliação é proposto o conceito de margem de superação dos cabos para-raios ao longo da linha. A margem e superação é um índice proposto para monitoramento de superação dos cabos, que indica a margem de superação existente. A adoção de um índice sistematiza e facilita a implementação de planos de manutenção de linhas de transmissão, sendo, portanto, um importante auxílio para a garantia de qualidade dos ativos de transmissão.

A margem de superação é definida como a razão entre a corrente de curto-circuito que flui através do cabo para-raios e a máxima corrente admissível para o cabo para o tempo de atuação da proteção considerado para o sistema, conforme equação (1):

$$M_s = \frac{I_{PR}}{I_{adm}}, \quad (1)$$

Onde  $M_s$  é margem de superação,  $I_{PR}$  é a corrente no cabo para-raios e  $I_{adm}$  é a corrente admissível pelo cabo para o tempo de atuação da proteção que eliminará a falta.

Pela equação acima, fica evidente o desejo que  $M_s$  seja inferior à unidade ao longo de toda vida útil da linha.

Na Figura 4 é apresentado o modelo utilizado na simulação, em que inicialmente foi ajustado o nível de curto-circuito de cada subestação e, posteriormente, aplicado os curtos em todas as torres da linha. No esquemático apresentado na Figura 4 não estão expostas todas as torres usadas na simulação, estando apenas representado o modelo utilizado. São considerados os comprimentos individuais de cada vão, bem como as resistências de aterramento de cada torre.

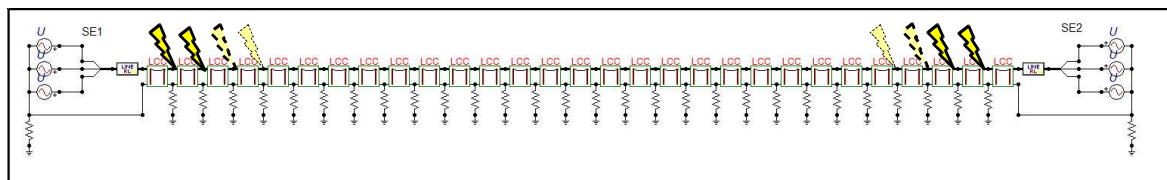


Figura 4 – Esquemático das simulações realizadas para distribuição de correntes.

Os dados básicos da linha analisada estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Dados principais da LT de 138 kV em análise.

Linha de Transmissão em análise	
Tensão nominal	138 kV
Comprimento	46,9 km
Vão médio	455 m
Condutor	Linnet
Cabo para-raios	Petrel e 5/16" AR
Cadeia de isolador (número de unidade padrão)	9

A partir da SE A, por um trecho de 2,2 km a LT possui 2 cabos para-raios Petrel, ao longo de 7 vãos, sendo o restante da linha composto por um cabo para-raios de aço 5/16" AR, conforme representado na Figura 5.

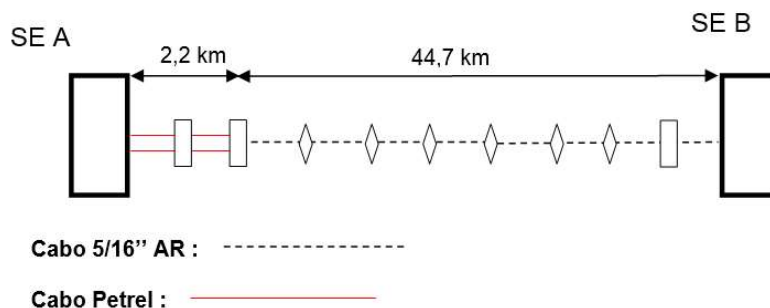


Figura 5 - Esquema de lançamento dos cabos para-raios.

As correntes de curto-circuito atuais e previstas para 2030 nas subestações terminais estão indicados na Tabela 2.

Tabela 2 - Correntes de curto-circuito atual e futuro para as SEs terminais.

Correntes de curto-circuito (A).				
	Atual		Futuro (2030)	
	Fase-terra	Trifásico	Fase-terra	Trifásico
SE A	14411∠-54°	14224∠-54°	24151∠-84°	22348∠-84°
SE B	2563∠-45°	4041∠-42°	2488∠-74°	4282∠-73°

Conforme apresentado na Figura 6 ocorre superação dos cabos para-raios até a torre 31 quando considerado o curto-circuito para o ano de 2030.

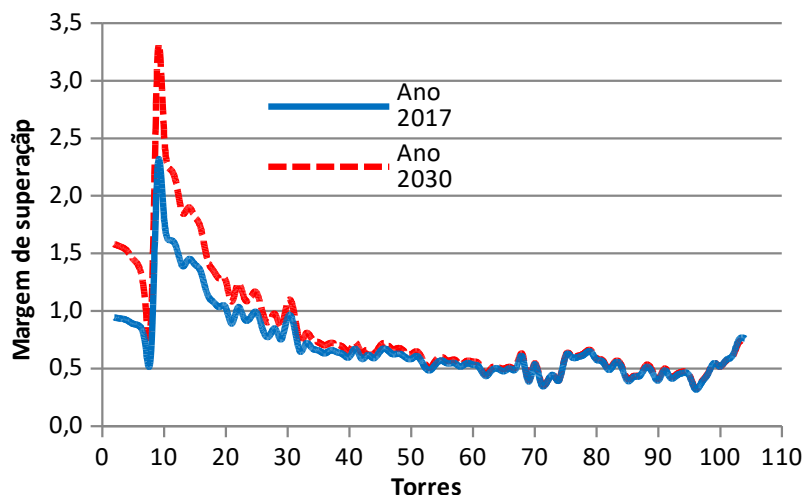


Figura 6 - Margem de superação dos cabos para-raios ao longo da linha em análise de tensão nominal de 138 kV. Horizonte 2017 e 2030.

Para adequar a margem de superação ao longo da LT, considerando o horizonte de curto-circuito do ano de 2030, é necessária a instalação de 2 cabos Dotterel na saída da SE A, além da substituição de 15,6 km de cabo 5/16'' AR por cabos Dotterel e Petrel. A Figura 7 apresenta a distribuição dos cabos demandada. Em função dos comprimentos dos vãos é provável que reforços mecânicos permitam o aproveitamento das estruturas, com substituição de 5 ou 6 torres que teriam que receber cabos Dotterel e possuem vãos adjacentes de comprimentos superiores a 500 m. A Figura 8 mostra que, para a situação descrita acima, a margem de



superação fica inferior à unidade ao longo de toda a linha analisada, considerando o horizonte previsto para o ano de 2030.

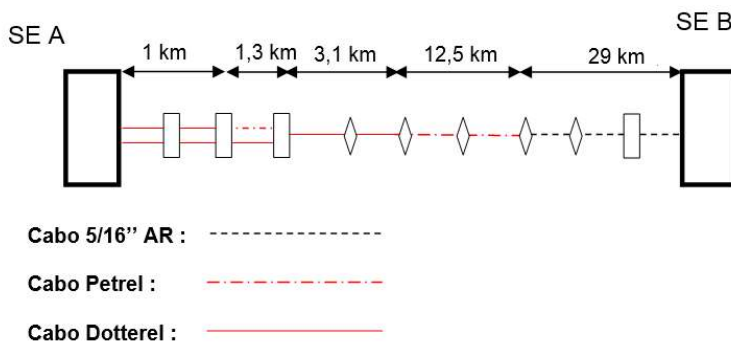


Figura 7 - Esquema de lançamento dos cabos para-raios para adequação da linha.

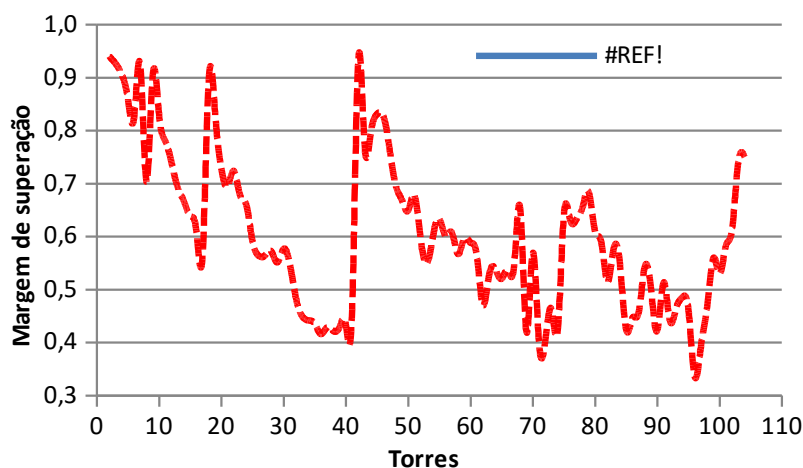


Figura 8 - Margem de superação dos cabos para-raios considerando adequações representadas na Figura 7. Horizonte 2030.

#### 4.0 - POSSÍVEIS INTERVENÇÕES PARA MITIGAÇÃO DA POSSIBILIDADE DE ROMPIMENTO

Quando da identificação de superação das capacidades de corrente de curto-circuito para os cabos para-raios de linhas de transmissão, pode ser adotada alguma solução provisória para reduzir a potência de curto-circuito nas subestações terminais, como por exemplo, a abertura de barramentos e operação radial dos circuitos. Entretanto, estas soluções apresentam problemas, pois alteram a confiabilidade e flexibilidade operativa do sistema, resultando em limitações para sua aplicação.

No que diz respeito a soluções definitivas, destacam-se as seguintes propostas para redução dos níveis de curto-circuito:

- Substituição dos cabos violados – Atualmente, a principal alternativa para adequação da condição de operação destas seções de linha é a substituição dos cabos para-raios violados por cabos com maior capacidade de condução de corrente. Porém, em linhas de transmissão existentes esta alternativa pode apresentar custos elevados e, em alguns casos, dificuldade operacional para execução. Dentre estes empecilhos, pode-se citar:

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

- A substituição dos cabos para-raios pode ser feita com a linha energizada (linha viva). Esta alternativa é dependente da silhueta das torres existentes no trecho e das práticas de segurança das empresas. O custo de mão de obra das equipes que realizam trabalhos no sistema elétrico de potência, estando o mesmo energizado são elevados. Caso a substituição seja realizada com a linha desenergizada (linha morta) deve ser previsto o custo da indisponibilidade da mesma para o sistema.
- Necessidade de substituição de torres, devido aos novos esforços mecânicos, em especial por cargas de vento. Estas cargas são determinantes, pois cabos com maior capacidade de condução de corrente de curto-circuito normalmente possuem maior diâmetro. Desta forma, o momento mecânico resultante da força de vento lateral sobre os cabos exige uma maior resistência mecânica da torre. Por questões econômicas, as torres utilizadas nas linhas de transmissão são dimensionadas para os esforços esperados, e não possuem grandes margens de tolerâncias. Em situações específicas um reforço mecânico das torres e fundações poderá ser suficiente para suportar as novas cargas. Em regiões de alta densidade populacional pode não ter espaço disponível para instalação de novas torres, em função da ocupação urbana, o que pode implicar na indisponibilidade da linha durante a troca de estruturas que suportem os novos esforços mecânicos. Do ponto de vista econômico esta alternativa possui elevado custo e não é totalmente reconhecido pelas agências de regulação como investimento das concessionárias.
- Utilização de transformadores com impedância maior, de forma a limitar parte das correntes durante curto-circuito é uma alternativa. Entre as variáveis que devem ser estudadas, destacam-se o aumento das perdas técnicas, regulação e custos. Outros fatores que devem ser avaliados na substituição dos transformadores existentes por outros de impedância mais elevada são os custos associados, depreciação do ativo existente, custos com desligamento, logística de transporte e obra. Como os pontos com maiores curtos-circuitos no sistema de distribuição do Brasil são nas interfaces (fronteiras) com a rede básica, deve ser avaliado junto ao ONS logísticas de intervenções.
- Utilização de dispositivos limitadores de curto-circuito, a instalação de reatores de aterramento nos neutros dos transformadores é uma alternativa para limitar amplitudes das correntes de curto-circuito no sistema existente. Esta opção possui o inconveniente de mudar a lógica de proteção das empresas, pois o sistema deixa de ser um sistema solidamente aterrado para ser sistema aterrado por reatâncias, o que altera as impedâncias de sequência zero, dificultando a detecção de faltas fase-terra, e eleva as sobretensões temporárias nas fases sãs. Além disso existe a dificuldade de obtenção de espaço físico nas SEs construídas para instalação destes reatores, que em um sistema de tensão nominal de 138 kV exige aproximadamente 50 m<sup>2</sup>. A presença de reatores poderá implicar na geração de campos magnéticos que violem, nas SEs, a resolução normativa da Aneel [9] que define limites à exposição humana a campos elétricos e magnéticos originários de instalações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica, na frequência de 60 Hz, devido ao fato de que os arranjos não foram desenvolvidos considerando estes equipamentos.

Basicamente estas intervenções buscam aumentar a capacidade de condução de corrente e/ou limitar a amplitude do curto-circuito.

## 5.0 - CONCLUSÃO

O conhecimento da distribuição de correntes de sequência zero em linhas de transmissão é importante para diversos aspectos do sistema elétrico, como a determinação das características dos cabos para-raios e condições de segurança de pessoal relacionadas aos sistemas de aterramento das torres das linhas e subestações de energia (tensões de toque e passo).

A superação dos cabos para-raios devido à elevação das potências de curto-circuito é um desafio para o setor, especialmente quando consideramos os ativos em operação no país que foram dimensionados para um cenário diferente ao que vivemos atualmente. Neste trabalho, de modo a exemplificar o problema, foi analisado apenas um caso de intervenção para contornar a superação do ativo cabo para-raios. A proposição do índice de superação sistematiza e facilita o planejamento de intervenções, contribuindo para o aumento da confiabilidade do sistema de transmissão. Os autores estão trabalhando com alternativas que possam aumentar a vida útil, reduzindo o custo de investimentos em linhas já operação e permitindo uma confiabilidade para o sistema.

Do ponto de vista regulatório, a superação dos ativos de linhas de transmissão necessita de uma diretriz para abordagem específica dos casos onde a superação ao longo da vida útil não podia ser prevista.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Manual de Contabilidade do Setor Elétrico – MCSE - Aneel, 2015;
- (2) Costa, J. M. S. C., Medeiros, R. K. D. M., Baltar, F. J. A., Barros, S. A., Calheiros Junior, E. J., Experiência da operação da CHESF com a análise sistemática de superação de equipamentos de alta tensão - XX Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica SNPTEE – Recife, 2009;
- (3) Nota técnica ONS no 0048/2014 – Critérios para análise de superação de equipamentos e instalações de alta tensão, Novembro 2014 - Revisão 1 - Fevereiro 2015;
- (4) NBR 8449 - Dimensionamento de cabos para-raios para linhas de transmissão de energia elétrica, Brasil, abril de 1984;
- (5) Manual de Controle Patrimonial do Setor Elétrico – MCPSE, instituído pela Resolução Normativa nº 674/2015, ANEEL, agosto de 2015;
- (6) AIEE Committee Report, Report of Joint AIEE-EEI Subject Committee on Line Outages, in Transactions of the American Institute of Electrical Engineers. Part III: Power Apparatus and Systems, vol. 71, no. 1, pp. , Jan. 1952.doi:10.1109/AIEEPAS.1952.4498444;
- (7) Kappenman, J.G.; House, D.L.V. - Location centered mitigation of lightning-caused disturbances - Minnesota Power, 1996;
- (8) Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL. Resolução Normativa nº 616/2014, de 1 de julho de 2010;

## 7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



**Sandro de Castro Assis** possui graduação, mestrado e doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil, em 2004, 2006 e 2017, respectivamente. Atualmente é engenheiro sênior de projetos de sistemas elétricos de linhas de transmissão e subestações da CEMIG Distribuição e professor do IEC PucMinas no curso de Transmissão e Distribuição. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Transmissão de Energia Elétrica, Estudos Elétricos em SEP, inclusive em área industrial. É membro dos comitês de estudo CE-C4 – Desempenho de Sistemas Elétricos, CE-B3 – Subestações, CE-B2 – Linhas de Transmissão do Cigré Brasil. Foi representante no grupo de trabalho "*WG C4.26 - Evaluation of Lightning Shielding Analysis Methods for EHV and UHV DC and AC Transmission Lines*" e atualmente é representante brasileiro no grupo de trabalho "*WG C4.39 - Effectiveness of Line Surge Arresters for Lightning Protection of Overhead Transmission Lines*".



**Wallace do Couto Boaventura** possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil, em 1988 e 1990, respectivamente. Obteve o título de Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de Campinas, Campinas, Brasil, em 2002. É professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG desde 1992. Suas áreas de pesquisa incluem compatibilidade eletromagnética e processamento de sinais aplicados aos sistemas elétricos de potência



**José Osvaldo Saldanha Paulino** possui graduação e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, Brasil, em 1979 e 1985, respectivamente. Obteve o título de Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade de



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

10 a 13 de novembro de 2019  
Belo Horizonte - MG

4230  
GLT/35

Campinas, Campinas, Brasil, em 1993. É professor do Departamento de Engenharia Elétrica da UFMG desde 1980. Suas áreas de pesquisa incluem compatibilidade eletromagnética, descargas atmosféricas e alta tensão.