



GSC/009

21 a 26 de Outubro de 2001
Campinas - São Paulo - Brasil

APLICAÇÃO DE PÁRA-RAIOS PARA A MELHORIA DO DESEMPENHO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO DE 230 kV

**Angélica da C. O.
Rocha**

CEMIG

**Jorge Luiz De
Franco**

INEPAR S.A.

Luis Sérgio do Carmo

CEMIG

**Luiz Carlos Leal
Cherchiglia**

CEMIG

RESUMO

Descargas atmosféricas são responsáveis por aproximadamente 65% dos desligamentos verificados em linhas de transmissão com tensões nominais até 230 kV.

De modo a melhorar o desempenho das linhas transmissão, empresas concessionárias de energia vêm instalando, nos últimos anos, pára-raios de Óxido de Zinco, que são conectados eletricamente em paralelo com as cadeias de isoladores, evitando o desligamento das linhas por descargas diretas ou de retorno, essa última responsável pela maioria dos desligamentos em linhas de 230 kV.

Este trabalho aborda a aplicação de pára-raios para a melhoria do desempenho de linhas de transmissão devido ao efeito das descargas atmosféricas.

1.0 INTRODUÇÃO

Estatísticas internacionais, apontam as descargas atmosféricas como sendo responsáveis por cerca de 65% dos desligamentos ocorridos em linhas de transmissão com tensões nominais até 230 kV, gerando perdas de faturamento para as empresas de energia elétrica e usuários. Em adição, desligamentos de linhas vitais podem ocasionar distúrbios em toda rede de uma região. Tais índices podem ser mais críticos em regiões de altas atividades cerâmicas e elevados valores de resistividade do solo, como por exemplo a região sob concessão da CEMIG, onde as descargas atmosféricas são responsáveis por cerca de 70% dos desligamentos de suas linhas, sendo 20% desses desligamentos de natureza permanente em LT's com tensões nominais de 69 kV e 138 kV [1].

No caso das linhas de 230 kV, os desligamentos são em quase a sua totalidade provenientes das descargas de retorno (backflashover) e de natureza transitória.

A primeira aplicação de pára-raios para melhoria do desempenho de linhas de transmissão se deu no Japão em 1980, em linhas de 66 kV e 77 kV. Nos Estados Unidos há registro da primeira aplicação em 1982 [2]. Entretanto, a utilização de pára-raios em linhas tornou-se mais difundida a partir do fim da década de 80, sendo esse método atualmente utilizado com sucesso comprovado em vários países.

No Brasil, a CEMIG foi a empresa pioneira na aplicação de pára-raios de linha e os resultados comprovados de melhoria de desempenho obtidos pela empresa têm encorajado a continuidade dos estudos para aplicação em linhas consideradas críticas.

Existem atualmente no país cerca de 1.800 pára-raios sem centelhadores já instalados ou em fase de instalação, em linhas de 34,5 a 138 kV da CEMIG, LIGHT, FURNAS e CERJ. Outras empresas vêm estudando a aplicação de pára-raios em suas linhas.

Até pouco tempo atrás, a grande preocupação das empresas concessionárias de energia era com as linhas de tensões nominais até 138 kV. Entretanto, devido aos Contratos de Prestação de Serviço da Transmissão – CPST, que estabelece penalidades as empresas concessionárias em caso de indisponibilidade programada ou não programada superiores a 1 minuto para seus equipamentos e linhas aplicados a rede básica, tem crescido a preocupação das empresas na melhoria do desempenho de linhas de transmissão de 230 kV.

2.0 INCIDÊNCIA DE DESCARGAS SOBRE AS LINHAS DE TRANSMISSÃO

A frequência com que as descargas atmosféricas atingem uma linha de transmissão depende de uma série de fatores: o índice de incidência de descargas na área atravessada pela linha; as dimensões físicas da linha, em especial a sua altura; a existência de objetos que constituem blindagens naturais; a existência de outras linhas dentro de um mesmo corredor, etc. Além disso, o desempenho de uma LT pode variar de ano a ano, dependendo da incidência de descargas atmosféricas sobre a região [1].

A incidência das descargas atmosféricas sobre uma dada região pode ser caracterizada pela densidade de descargas à terra, expressa em termos do número de descargas atmosféricas para a terra por km^2 - ano.

Geralmente as informações referentes às densidades de descargas à terra não estão disponíveis. Nesse caso, utilizam-se os níveis cerânicos, que correspondem ao número de dias de trovoadas por ano na região. Apesar do nível cerânico não ser um parâmetro preciso, pode servir como indicador para a determinação das atividades elétricas da atmosfera da região. Para um dado nível cerânico, a densidade de descargas à terra correspondente pode ser severamente afetada pelo tipo de terreno.

A CEMIG iniciou em 1971, através da Assessoria de Gestão Tecnológica e Energias Alternativas, um programa de levantamento da atividade elétrica da atmosfera no Estado, sendo desenvolvida, em paralelo, a observação sistemática do desempenho das instalações de seu sistema elétrico. Com as pesquisas realizadas, foram obtidos os mapas de curvas isocerânicas e de isolinhas de densidade de descargas para a terra no Estado de Minas Gerais [1].

A partir da densidade de descargas à terra da região, da largura da faixa de exposição e do comprimento da linha, é possível estimar o número de descargas atmosféricas que incidem sobre a linha por 100 km a cada ano. Uma vez conhecido (ou estimado) o número de descargas que atingem a região e a distribuição das amplitudes das correntes de descarga, é possível avaliar o desempenho das linhas frente às descargas atmosféricas [2], [3], [4], [5].

O comportamento das ondas trafegantes quando da incidência de descargas atmosféricas sobre as linhas é bastante complexo, podendo ser efetivamente avaliado através de uma análise computacional. Entretanto, pode-se obter, a partir de conceitos básicos, uma análise simplificada do efeito das descargas sobre as LT's, o qual depende basicamente da amplitude e da forma de onda da corrente de descarga, do projeto da linha, da impedância de

aterramento das estruturas e do ponto onde a descarga atinge a linha.

As descargas atmosféricas ao incidirem diretamente sobre os condutores fase das linhas de transmissão geram tensões incidentes em ambas as direções da linha, provocando a descarga disruptiva da(s) cadeia(s) de isoladores, seguida pela passagem da corrente de curto-circuito do sistema, toda vez que sua amplitude exceder, em um dado instante, a tensão crítica de descarga das cadeias de isoladores.

No caso de linhas providas de um ou dois cabos pára-raios, as descargas atmosféricas ao incidirem sobre os mastros localizados no topo das estruturas ou sobre os cabos pára-raios, e ao fluírem pelas estruturas para a terra, elevam a tensão da estrutura acima do potencial de terra. No mesmo instante, tensões induzidas aparecem sobre os condutores fase, resultantes do acoplamento capacitivo entre esses condutores e o(s) cabo(s) pára-raios. A tensão nas cadeias de isoladores consiste na diferença de potencial que se estabelece entre a estrutura e as tensões induzidas nos condutores fase. Em muitos casos, essa tensão pode exceder a tensão crítica de descarga das cadeias de isoladores, provocando a descarga de retorno (backflashover), seguida pela passagem da corrente de curto-circuito da linha que provoca seu desligamento.

A resistividade do solo e a impedância de aterramento das estruturas são parâmetros fundamentais para o desempenho de linhas de transmissão com cabos pára-raios. O aumento desses parâmetros eleva o índice de desligamento das linhas de transmissão.

As descargas de retorno são responsáveis pela quase totalidade dos desligamentos verificados em linhas de transmissão com tensões nominais de 230 kV.

3.0 APLICAÇÃO DE PÁRA-RAIOS DE LINHA

Dentre os métodos atualmente existentes para a melhoria do desempenho de linhas por descargas atmosféricas, a aplicação de pára-raios geralmente tem apresentado o melhor custo x benefício.

Os pára-raios de linha são conectados eletricamente em paralelo com as cadeias de isoladores. O princípio de operação consiste na redução das tensões nas cadeias de isoladores, evitando que o seu nível de isolamento seja excedido.

Várias publicações têm reportado os aspectos referentes a aplicação dos pára-raios, em especial o seu princípio de funcionamento, critérios para a sua seleção, dimensionamento, especificação e aplicação [2], [3], [4], [5], [6], [7].

Pára-raios de linha podem ser aplicados em linhas novas e na melhoria do desempenho de linhas antigas, com ou sem cabos pára-raios.

4.0 ESTUDO DE CASO – DESEMPENHO DE UMA LT DE 230 kV DA CEMIG

A linha analisada apresenta as seguintes características principais:

- Nome: Guilman Amorim – Ipatinga 1
- Tensão nominal: 230 kV; Potência: 120 MW
- Comprimento da LT: 51 km
- Espaçamento médio entre vãos: 550 metros
- Número de estruturas: 92
- Densidade de descargas a terra da região atravessada pela linha: 6 descargas / km² / ano.
- Tensão crítica de descarga da LT: 1275 kV (-)
- Número médio de deslig. por 100 km – ano: 6,2

A distância entre fases é de 7,2 metros e entre cabos pára-raios de 9,0 metros. Detalhes da estrutura da LT e da disposição dos condutores fase e dos cabos pára-raios estão apresentados na Figura 1.

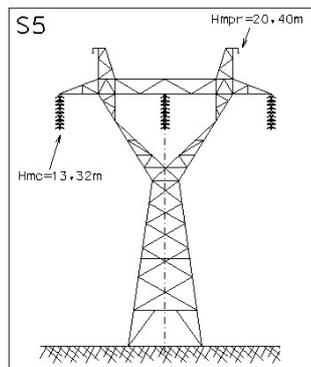


FIGURA 1 – Detalhes da estrutura de uma LT 230 kV

Esta linha está localizada na região leste do Estado de Minas Gerais, numa área com elevada concentração de consumidores industriais em Alta Tensão. O desligamento transitório da linha por “backflashover” provoca variações momentâneas de tensão na região de Ipatinga, ocasionando em muitos casos a saída de grandes cargas com um tempo de retomada total de aproximadamente 2 horas. A quantidade de energia não atendida é função do tipo e localização da falta na linha. O registro de um evento de perda de carga na linha, devido a um desligamento transitório é apresentado na Figura 2.

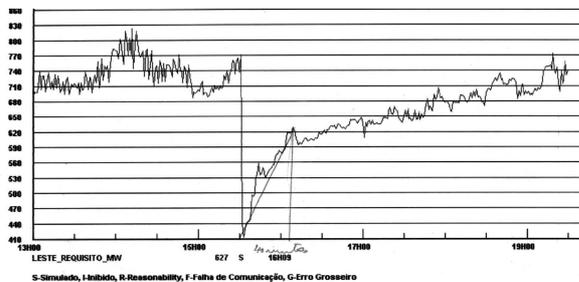


FIGURA 2 – Registro de uma perda de carga na linha

A receita dessa linha é de R\$ 769.000,00 por ano, e as parcelas variáveis (PV) correspondentes aos desligamentos programados e não programados são de R\$ 614,51 / hora e R\$ 9.217,72 / hora, respectivamente. Não foi constatado nenhum desligamento permanente da linha, ou com duração superior a 1 minuto, devido às descargas atmosféricas.

Para a análise do desempenho da linha foram realizados dois estudos: (1) - o estudo de desempenho da linha de transmissão, onde para a configuração atual da linha e possíveis arranjos de aplicação e localização dos pára-raios e impedância de aterramento foram definidas as correntes críticas que provocam o desligamento da linha e suas probabilidades de ocorrência; (2) - estudos visando determinar as máximas energias a serem absorvidas pelos pára-raios, em função da amplitude das correntes de descarga e sua duração, das impedâncias de aterramento consideradas e da possibilidade de ocorrência de descargas múltiplas.

4.1 ESTUDO DE DESEMPENHO DA LINHA

A análise de desempenho da linha foi realizada através de simulação computacional, considerando-se uma corrente de descarga atmosférica tipo rampa com forma de impulso 2,6 / 62 μ s e amplitude de corrente de 42 kA, correspondente a 50% das amplitudes observadas pelos programas de pesquisa de descargas atmosféricas da CEMIG. Foi considerada a incidência dos impulsos de corrente sobre as estruturas, os quais representam a pior condição. As impedâncias de aterramento foram representadas por resistências. O número de descargas obtido através da simulação foi de 57,4 descargas / 100 km / ano, considerando-se uma região acidentada.

O estudo de desempenho da LT considerou a configuração atual, a melhoria do sistema de aterramento para as torres com resistências medidas acima de 30 ohms e a instalação de dois ou três pára-raios por estrutura, sem alterações no aterramento.

4.1.1 VERIFICAÇÃO DO DESEMPENHO ATUAL

Para uma avaliação mais correta do desempenho da linha devido às descargas atmosféricas, foi efetuada a medição das resistências de aterramento de todas as estruturas da linha. Um resumo dos valores medidos encontram-se na Tabela 1.

O estudo foi realizado considerando-se diferentes trechos de linha, onde para cada trecho foi utilizado um número mínimo de 8 de estruturas com valores de impedância de aterramento correspondentes aos valores médios obtidos para cada faixa. Os valores considerados para a impedância de aterramento em cada trecho estudado, bem como as correntes críticas para cada trecho são apresentados na Tabela 2.

TABELA 1 – medição da resistência de aterramento

Faixa de valores medidos (ohms)	Média das medições e desvio-padrão	Número de medições obtidas	Prob. de ocorrência (%)	Prob. acumulada (%)
0 a 30	17,9 / 3,8	30	32,61	32,61
30 a 60	44,3 / 8,9	17	18,48	51,09
60 a 90	71,4 / 8,3	13	14,13	65,22
90 a 150	116,5/ 13,8	9	9,78	75,00
150 a 210	184,5/ 13,3	8	8,70	83,70
210 a 300	254,2 /23,2	8 (*)	8,70	92,40
> 300	300,0 / --	7 (*)	7,61	100,00

(*) Não foi possível realizar a medição em 4 das 92 estruturas da LT, sendo considerados valores superiores a 270 ohms.

TABELA 2 - Valores de resistência de aterramento e correntes críticas obtidas.

Trecho	Número de estruturas	Resistência média (Ω)	Corrente crítica (kA)
0 a 30 Ω	30	18,0	150,0
30 a 60 Ω	17	44,0	70,3
60 a 90 Ω	13	71,0	50,8
90 a 150 Ω	9	117,0	39,1
150 a 210 Ω	8	185,0	32,0
210 a 300 Ω	8	254,0	28,1
> 300 Ω	7	300,0	26,6

A análise de desempenho da linha apresentou um índice de desligamento de 7,4 desligamentos por ano, correspondente a uma taxa de 15,4 desligamentos por 100 km / ano. Esse índice corresponde a uma taxa de falha da linha de 27,1%. O desempenho da linha no ano passado foi de 10 desligamentos por 100 km / ano

A Figura 3, apresenta os perfis de tensão ao longo das cadeias de isoladores externas em função da impedância de aterramento, para surtos de corrente com amplitude de 42 kA.

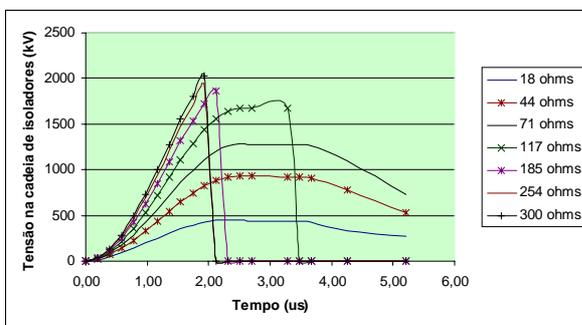


FIGURA 3 – Tensão nas nas cadeias de isoladores.

Com base nos resultados apresentados na Figura 3, pode ser verificada a forte influência da impedância de aterramento no desempenho da linha, sendo observado o aumento na tensão ao longo das cadeias de isoladores com o aumento da impedância de aterramento. Para valores de impedância acima de 117 ohms, verifica-se a ocorrência da descarga de retorno para um surto de corrente de 42 kA.

4.1.2 DESEMPENHO DA LINHA CONSIDERANDO A MELHORIA DO ATERRAMENTO

Um dos métodos para a melhoria do desempenho de linhas por descargas atmosféricas consiste na melhoria do sistema de aterramento. A melhoria do sistema de aterramento acarreta na redução da tensão no topo das estruturas, com a conseqüente redução da tensão nas cadeias de isoladores.

A CEMIG vem trabalhando no sentido de reduzir a impedância de aterramento das estruturas, através da utilização de novas configurações de aterramento e da disposição dos cabos contra peso nas estruturas de suas linhas de transmissão.

No estudo foi considerada a melhoria do sistema de aterramento de todas as estruturas da linha que apresentem valores acima de 30 ohms. A análise de desempenho foi realizada para dois trechos de linha, com impedâncias médias de 18 ohms e 30 ohms. Os resultados obtidos são apresentados na Tabela 3.

TABELA 3 – Valores de corrente crítica obtidos

Trecho	Número de estruturas	Resistência média (Ω)	Corrente crítica (kA)
0 a 30 Ω	30	18,0	150,0
Melhorado	62	30,0	95,3

A análise de desempenho da linha apresentou um índice de 1,7 desligamentos por ano, correspondente a uma taxa de 3,3 desligamentos por 100 km / ano, com uma taxa de falha da linha de 5,7 %.

Com base nos resultados pode ser verificado que a melhoria do sistema de aterramento proporciona uma redução de aproximadamente 80% no índice de desligamento relativo da linha.

4.1.3 APLICAÇÃO DE PÁRA-RAIOS DE LINHA

A aplicação de pára-raios ao longo da linha ou em trechos considerados críticos tem proporcionado melhorias significativas no desempenho das LT's. De modo a se verificar possíveis melhorias na linha sob estudo foi analisada a aplicação de pára-raios para as seguintes condições:

- (1) Aplicação de dois pára-raios por estrutura, em todas as estruturas da linha com valores de impedância de aterramento superiores a 30 ohms.
- (2) Dois pára-raios em todas as estruturas.

- (3) Aplicação de três pára-raios por estrutura, em todas as estruturas da linha com valores de impedância de aterramento superiores a 30 ohms.
- (4) Três pára-raios em todas as estruturas.
- (5) Dois pára-raios por estrutura, em estruturas com impedância de aterramento de até 71 ohms e três pára-raios por estrutura, nas demais estruturas.

Uma síntese dos resultados encontra-se na Tabela 4.

TABELA 4 – Aplicação de Pára-raios de linha

Arranjo	Icrítica (kA)	desl./ano	Deslig. por 100 km por ano	Taxa de falha (%)
(1)	57,0 (*)	3,2	6,3	11,1
(2)	57,0 (*)	3,0	5,9	10,5
(3)	≥ 200,0	0,2	0,4	0,6
(4)	≥ 200,0	0,0	0,0	0,0
(5)	96,9 (**)	0,7	1,4	2,2

(*) Corrente crítica que provoca backflashover na cadeia de isoladores central para uma impedância de aterramento igual ou superior a 300 ohms.

(**) Corrente crítica que provoca backflashover na cadeia de isoladores central para uma impedância de aterramento igual ou superior a 71 ohms.

A partir dos índices de desempenho apresentados na Tabela 4 pode-se verificar que os arranjos com dois pára-raios por estrutura (arranjos (1) e (2)) apresentam índices de desligamento maiores do que o índice obtido considerando-se a melhoria do sistema de aterramento. Já o arranjo (3) apresenta uma melhoria relativa no índice de desempenho de aproximadamente 90%, quando comparado ao método de melhoria do sistema de aterramento. No caso da aplicação de três pára-raios por estrutura em todas as estruturas, a taxa de desligamento é muito baixa e está associada à taxa de falha dos pára-raios.

O efeito dos pára-raios no desempenho de uma LT pode ser melhor visualizado a partir da Figura 4, que apresenta a tensão ao longo da cadeia de isoladores central com e sem pára-raios, para impedâncias de aterramento de 44 ohms e 71 ohms, quando da incidência de um surto de 100 kA sobre a estrutura.

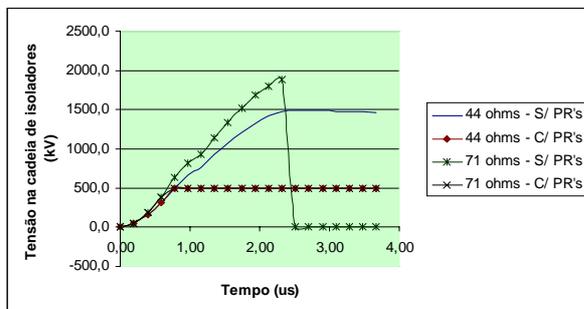


FIGURA 4 – Perfil de tensão na cadeia central

A instalação de pára-raios reduz a tensão ao longo da cadeia no caso de uma impedância de 44 ohms e evita a ocorrência da descarga de retorno em estruturas com impedâncias superiores a 71 ohms.

4.2 ESTUDO DE CAPACIDADE DE ABSORÇÃO DE ENERGIA PELOS PÁRA-RAIOS

O estudo de capacidade de absorção de energia tem por objetivo determinar as energias máximas a serem absorvidas pelos pára-raios, quando da sua atuação. Foram consideradas duas situações:

- a incidência de uma descarga com amplitude de 200 kA sobre a estrutura, para impedâncias de aterramento médias de 18, 71 e 300 ohms.
- uma falha de blindagem com a incidência de uma corrente de descarga de 6,5 kA, para impedâncias de aterramento de 18 e 300 ohms.

A análise das energias a serem absorvidas pelos pára-raios foi realizada utilizando-se o programa ATP (Alternative Transient Program). Foram simuladas 7 torres ao longo da linha. Os parâmetros da linha de transmissão foram calculados utilizando-se a rotina JMARTI. As torres foram modeladas por suas impedâncias de surto, consideradas igual a 150 ohms e o tempo de propagação das ondas calculados em função da altura das torres. A impedância de aterramento foi modelada como uma resistência concentrada. O surto de corrente incidente foi simulado por uma fonte de corrente, tipo rampa com tempo de frente de 2,6 μ s e um tempo de meia onda de 65 μ s e injetado na torre número 4. O pára-raios utilizado foi o tipo 99, considerando a tensão nominal do pára-raios é de 192 kV e sua MCOV de 156 kV.

Uma síntese das energias absorvidas pelos pára-raios está apresentada na Tabela 5.

TABELA 5 – Energia nos pára-raios

Impedância aterramento (ohms)	Energia absorvida pelos pára-raios (kJ)		
	Descarga na estrutura		Falha de blindagem
	2 PR's	3 PR's	
18,0	82,0	72,0	13,0
71,0	291,0	237,0	-----
300,0	494,0	398,0	10,0

Dos resultados obtidos, verifica-se para a condição de descarga sobre a estrutura uma energia máxima de 398 kJ quando da utilização de 3 pára-raios por estrutura e de 494 kJ para dois pára-raios por estrutura (300 ohms). Em caso de falha de blindagem a energia máxima obtida foi de 13 kJ (18 ohms). Considerando um pára-raios com tensão nominal de 192 kV, as máximas energias a serem absorvidas pelos pára-raios serão de 2,6 kJ / kV e 2,07 kJ / kV, para 2 e 3 pára-raios, respectivamente.

4.3 ANÁLISE DE INVESTIMENTO

Uma análise econômica foi realizada para se avaliar o método de melhoria mais adequado, considerando-se um prazo de análise de 10 anos. Foi considerada a instalação dos pára-raios em linha viva e um custo de energia não fornecida de R\$ 582,00 / MWh, que corresponde a 10 vezes o valor médio da tarifa. Para simplicidade de cálculo, assumiu-se um número de desligamentos constante ao longo dos 10 anos, e que cada desligamento acarreta em uma energia média não fornecida de 336 MWh, obtida de forma aproximada da Figura 2. Cabe ressaltar, que o montante de energia não atendida é função do tipo e localização da falta na linha, nesse caso específico foi decorrente de um curto trifásico próximo à barra de Ipatinga. Para a configuração atual, considerou-se a condição de 10 desligamentos por 100 km / ano. Considerou-se, de forma bastante conservativa, uma taxa média constante de falha para os pára-raios de 3% ao ano

O critério adotado para a escolha do melhor método foi o do Valor Presente Líquido (VLP). Para a determinação do tempo de retorno do investimento utilizou-se o método do "Payback" descontado, com um custo de capital de 14% ao ano. Os procedimentos de análise são apresentados na referência [8]. As Tabelas 6 e 7 apresentam uma síntese da análise.

TABELA 6 – Custos para melhoria do desempenho da Linha de transmissão

Arranjo da linha	Custos de instalação (R\$)		Perda por ano (k R\$)
	Material	Instalação	
Atual	-----	-----	997,315
Sist. Ater.	155,000	-----	332,438
(1)	669,600	18,870	647,975
(2)	993,600	28,000	619,969
(3)	1.004,400	28,300	72,423
(4)	1.490,400	42,000	44,417
(5)	1.166,400	32,870	175,751

TABELA 7 – Avaliação dos métodos propostos

ARRANJO	Nº. DESL / ANO	TEMPO DE RETORNO	VPL (R\$ x 1000)
Aterramento	1,7	0,27	3.313,075
(1)	3,2	1,84	1.623,178
(2)	3,0	3,65	946,680
(3)	0,2	1,31	3.791,643
(4)	0,0	1,95	3.438,026
(5)	0,7	1,76	3.086,103

Apesar da melhoria do sistema de aterramento apresentar o menor prazo de retorno de investimento, a melhor opção, sob os pontos de vista técnico e econômico ao longo dos 10 anos, consiste na melhoria proposta no arranjo (3).

5.0 CONCLUSÕES

- A comprovação da melhoria de desempenho de LT's atualmente providas de pára-raios demonstra a eficiência e a confiabilidade desse método e justifica a realização de estudos para a melhoria do desempenho de linhas de 230 kV.
- A definição quanto a quantidade, localização e especificação dos pára-raios requer uma análise técnica específica da linha, incluindo simulações computacionais. Uma avaliação econômica deve ser realizada, permitindo analisar a opção mais viável sob os pontos de vista técnico e econômico.
- O dimensionamento adequado da capacidade de absorção de energia dos pára-raios é um fator de vital importância quando da realização de estudos de desempenho de LT's.
- Em regiões com solos de elevada resistividade, a solução mais viável pode ser a aplicação de pára-raios em conjunto com a melhoria da impedância de aterramento e/ou modificação das configurações dos cabos contra-pesos.

6.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Carvalho, A.M. et ali, "Tecnologias para análise e melhoria do desempenho de instalações de transmissão frente a descargas atmosféricas", XV SNTPEE, Foz do Iguaçu, 1999.
- [2] CIGRÉ WG 33.11, "Application of Metal Oxide Surge Arresters to Overhead Lines", ELECTRA n° 186, pp. 83-112, Outubro 1999.
- [3] Cherchiglia, L. C. L. et ali, "Estudos para Aplicação de Pára-raios de ZnO em Linhas de Transmissão da CEMIG", XV SNTPEE, Foz do Iguaçu, Outubro, 1999.
- [4] De Franco, F. L. & Lira, E. A., "Pára-raios de linha: A Solução para a Melhoria da Performance de Linhas de Transmissão de 69 kV a 230 kV frente a Descargas Atmosféricas", VIII ERLAC, Paraguai, 1998
- [5] Comber, M. G. & Zinser, R. L., "Lightning Protection of Transmission Lines with Polymer-Housed Surge Arresters", CIGRE International Workshop on Line surge Arresters and Lightning - RJ, Abril 1996.
- [6] De Franco, J. L. et ali, "Aplicação de Pára-raios – Uma Solução para a Melhoria do Desempenho de Linhas de Transmissão", IV Congresso Latino Americano de Generación y Transporte de Energia Elétrica, Viña del Mar, Chile, Novembro de 2000.
- [7] Brocard, E. & Tartier, S., "Simulation and Optimisation of the Lightning Protection of Overhead Lines", CIGRE International Workshop on Line surge Arresters and Lightning, Rio de Janeiro, Abril 1996.
- [8] Laponi, J. C., "Avaliação de Projetos de Investimento – Modelos em Excel", Laponi treinamento e Editora Ltda, São Paulo, 1996.