



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

GLT 21  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

### **GRUPO III**

#### **GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT**

#### **RESULTADOS DA APLICAÇÃO DE METODOLOGIA INOVADORA PARA MELHORIA DE DESEMPENHO DA LT GUILMAN AMORIM – IPATINGA 1, 230 KV, FRENTE A DESCARGAS ATMOSFÉRICAS**

**Dimas Carneiro de Miranda \***  
**Leandro Veloso Cunha**

**Silvério Visacro**  
**Rosilene Nietzsche Dias**  
**Cláudia Rejane Mesquita**

**CEMIG – GERAÇÃO E TRANSMISSÃO**

**LIGHTNING RESEARCH CENTER – LRC/UFMG**

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Desempenho de Linhas de Transmissão, Proteção frente a Descargas Atmosféricas, Pára-raios, Aterramentos, Índice de Severidade.

#### **RESUMO**

A LT Guilman Amorim - Ipatinga 1, 230kV da CEMIG percorre uma região com alta resistividade do solo e alto índice de incidência de descargas atmosféricas. Com o objetivo de melhorar seu desempenho, desenvolveu-se uma série de ações: aplicação de metodologia não-convencional para seleção de estruturas críticas para o desempenho da linha, reconstituição do aterramento, reestricamento de cabo OPGW e instalação de pára-raios de óxido de zinco em pontos críticos selecionados. O resultado é a minimização do número de desligamentos devido a descargas atmosféricas e das reclamações de clientes atendidos pela LT.

#### **1.0 - INTRODUÇÃO**

O Estado de Minas Gerais possui dois fatores extremamente desfavoráveis ao desempenho de linhas de transmissão: altas densidades de descargas atmosféricas e elevados valores de resistividade do solo. Com esta situação desfavorável, a CEMIG necessita atuar para evitar que algumas de suas LTs apresentem AK (nº de desligamentos/100km/ano) elevado. O número significativo de interrupções da linha pode ocasionar degradação da confiabilidade do sistema elétrico, perda de faturamento e reclamações de grandes consumidores da Região Leste do Estado como USIMINAS, ACESITA, etc.

O objetivo deste trabalho é apresentar as ações desenvolvidas e executadas visando a melhoria de desempenho da LT Guilman Amorim – Ipatinga, 230kV e a eficiência da metodologia utilizada em termos de resultados e ganhos para a operação e manutenção.

#### **2.0 - DESCRIÇÃO DO PROBLEMA**

De 1998 a 2001, a LT Guilman Amorim – Ipatinga1, 230 kV apresentava um desempenho frente a descargas atmosféricas não satisfatório. As Tabelas 1 e 2 a seguir apresentam as características da LT e os desligamentos de 2000 e 2001 (AK = 7,96 / 100 km.ano).

A cada ocorrência verificava-se um afundamento de tensão e conseqüente rejeição de carga na região leste do estado. Em função disso os grandes consumidores atingidos apresentavam freqüentes reclamações junto a Cemig. Além disso, desses desligamentos foi verificado que em 90% dos casos havia descargas atmosféricas ocorrendo no trecho da LT onde os desligamentos foram localizados.

TABELA 1 – Características da LT  
**LT Guilman Amorim – Ipatinga 1**

Tensão	230 kV
Cabo Condutor	CAA 322,3 mm <sup>2</sup> - 26/7 GROSBEAK
Cabo Pára-raios	Lado direito: aço galvanizado $\phi$ 9,5mm <sup>2</sup> 3/8" HS Lado esquerdo: OPGW 24 fibras $\phi$ 15mm - 80 mm <sup>2</sup> / 591
Comprimento	50,25 km
Nº de Estruturas	92
Vão Médio	550m
Altura Média das Torres	18m
Resist. Média pé-de-torre	91,4 $\Omega$
Altitude Média	685,9 m

TABELA 2 – Desligamentos na LT Guilman Amorim – Ipatinga 1, 230 KV de 2000 a 2001

Data	Horário	Tipo	Vão
31/1/2000	15:32	TRIFÁSICA	142-143
9/2/2000	04:38	VM-BR-TERRA	142-143
20/8/2000	13:37	AZ-BR-TERRA	129-130
6/10/2000	18:00	BR-TERRA	102-103
19/11/2000	20:05	VM-TERRA	77-78
10/12/2000	13:42	VM-TERRA	78-79
8/2/2001	14:59	AZ-TERRA	94-95
8/2/2001	14:59	VM-TERRA	91-92
10/3/2001	16:51	VM-BR-TERRA	129-130
17/12/2001	23:41	TRIFÁSICA	129-130
19/12/2001	17:19	VM-TERRA	91-92

### 3.0 - METODOLOGIA DE ESTUDO

A melhoria de desempenho da linha consistiu de várias medidas. A primeira delas foi a aplicação da metodologia do índice de severidade desenvolvida em pesquisa dentro de uma concepção moderna e inovadora, que utiliza informações de descargas atmosféricas providas pelo Sistema de Localização de Tempestades (SLT) e parâmetros da linha para determinar as torres mais críticas que requerem o foco na manutenção (1). Partiu daí um projeto otimizado e preciso de melhorias localizadas na LT com custo bem inferior ao processo de melhoria de desempenho adotado anteriormente pela empresa. Tal projeto, que foi concluído com sucesso em setembro de 2005, teve foco principalmente na melhoria de aterramento de algumas torres da linha, reestricamento de um trecho de cabo OPGW e instalação de pára-raios de óxido de zinco em alguns pontos. Desde então houve uma redução no número de desligamentos por descarga atmosférica, melhoria de até 80% de alguns de seus índices de desempenho e redução de reclamações por parte dos consumidores.

#### 3.1- Índice de Severidade

A metodologia utilizada no estudo de desempenho da LT tem como bases principais os dados do SLT no entorno da linha, as suas características físicas e informações de desligamentos ocorridos e localizados na LT. Esse assunto é abordado com mais detalhes nas referências bibliográficas (1) e (2).

O índice de severidade é composto pelo produto de dois índices de desempenho, um associado ao número de vezes que flui corrente devido a descarga através da torre (índice de frequência) e o outro relacionado à amplitude da sobretensão provocada pelo fenômeno (índice de amplitude).

$$I_{sev} = I_{freq} \times I_{amp} \quad (1)$$

O índice de frequência ( $I_{freq}$ ) é calculado estatisticamente, com base nas descargas atmosféricas ocorridas numa faixa ao longo da LT. Para cada torre são consideradas as descargas incidentes em seu vão anterior e posterior no cálculo dos seus índices de frequência em relação à média de incidência por torre da LT como um todo. Por fim estes índices são multiplicados por um fator que considera a altitude da torre.

$$I_{torre i}^* = \frac{N_{descargas\_no\_vão(i-1)} + N_{descargas\_no\_vão(i)}}{2 \sum_{k=1}^n \frac{N_{descargas\_no\_vão(k)}}{n}} \quad (2) \quad I_{freq} = I_{torre i}^* \cdot K_{alt} \quad (3)$$

O índice de amplitude ( $I_{amp}$ ) é calculado considerando a relação linear entre as amplitudes da sobretensão no topo da torre e da sobretensão na cadeia de isoladores. Para cada torre é calculada a relação entre a amplitude da sobretensão máxima da estrutura e da amplitude da sobretensão de referência considerada para a LT assumindo-se algumas hipóteses (2).

$$I_{amp} = \frac{V_{max\ torre_i}}{V_{max\ referência}} \quad (4)$$

### 3.2- Seleção de Estruturas

Com os dados da linha de transmissão e do SLT foram calculados os índices de severidade para cada estrutura. Foram selecionadas as quinze estruturas com maior índice para se estudar as melhorias a serem implementadas nelas e em suas proximidades para melhorar o desempenho da linha (Ver Tabela 3).

TABELA 3 – Torres selecionadas pelo índice de severidade

Posição	Torre	Isev
1	120	9,66
2	92	8,85
3	98	7,64
4	122	7,21
5	90	7,16
6	99	6,96
7	143	6,01
8	106	5,03
9	91	4,75
10	89	4,74
11	78	4,42
12	142	4,29
13	107	3,42
14	88	3,38
15	84	3,27

Foi verificada uma correlação entre os trechos onde ocorreram esses desligamentos e as torres indicadas pelo índice de severidade como críticas para o desempenho da LT. Por exemplo, as estruturas 78, 92, 142 e 143 selecionadas pelo índice de severidade tiveram em seus vãos dois desligamentos cada, conforme Tabela 2, o que demonstra a consistência da metodologia proposta para seleção de estruturas.

### 4.0 - MELHORIAS EXECUTADAS NA LT

Com base no resultado apresentado pela metodologia do índice de severidade, a etapa seguinte se baseou no estudo das melhorias a serem aplicadas na LT de forma a melhorar seu desempenho. Devido a fatores desfavoráveis como terreno, altos valores de resistência, foi constatado que somente a aplicação das medidas mais convencionais não seria efetivo, havendo necessidade de aplicação de medidas não-convencionais.

#### 4.1 - Reconstituição de Aterramento

Foram calculados novos comprimentos para os contrapesos das 15 estruturas indicadas e mais 7 estruturas em suas proximidades que estavam inadequados. Nem todas as estruturas apresentaram melhorias na resistência/impedância com a instalação de novos contrapesos, mas ficou garantida a integridade do sistema de aterramento das estruturas críticas. Foi adotada uma configuração otimizada para o sistema de aterramento (Figura 1), utilizando o comprimento efetivo do cabo contrapeso e um anel equalizador ligando os pontos de injeção de corrente. Esta configuração otimizada garantiu em alguns casos a redução de até 50% do valor da resistência de aterramento e conseqüentemente da impedância de aterramento das estruturas (3).

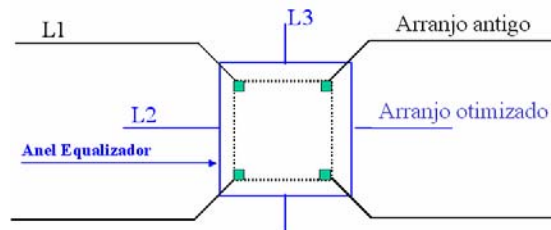


FIGURA 1 – Sistema de aterramento com anel equalizador

#### 4.2 - Tratamento Químico ÉRICO GEM

Para as estruturas 89, 93 e 120, todas entre as dez estruturas com maior índice de severidade, sendo a 120 a estrutura considerada mais crítica, foi necessária a aplicação de redutor químico, pois ainda apresentavam o valor elevado da resistência de aterramento. Os redutores químicos de aterramento são materiais de alta condutividade, desenvolvidos para melhorar a eficiência de sistemas de aterramento principalmente em terrenos rochosos ou arenosos (4). O redutor foi instalado nos primeiros 10 metros de cada “perna” do contrapeso lançado (Figuras 2 e 3):



FIGURAS 2 e 3 – Aplicação de redutor químico nas estruturas 89, 93 e 120

#### 4.3 - Reestricamento de Cabo OPGW

Além da melhoria do aterramento das estruturas também foram reesticados os pára-raios OPGW em vãos de estruturas crítica. Foi aplicada uma tensão de esticamento aos cabos de forma a melhorar a blindagem das fases e manter esses cabos mais afastados, pois alguns desligamentos nessas estruturas foram identificados na fase do lado referente ao cabo OPGW (Figura 4).

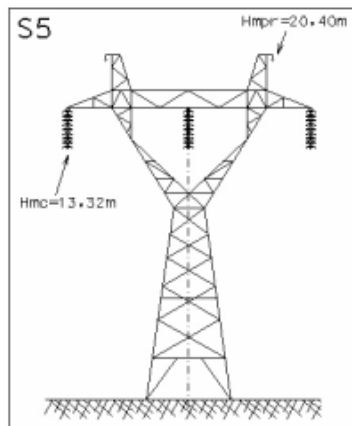


FIGURA 4 – Perfil da estrutura típica da LT Guilman Amorim – Ipinga 1

#### 4.4 - Instalação de Pára-raios ZnO

A conclusão das ações para melhoria de desempenho da LT aconteceu em setembro de 2005, quando foram instalados pára-raios de óxido de zinco (ZnO) nas três fases das estruturas 91, 92 e 93, complementando todas as etapas previstas. As características dos pára-raios instalados constam na Tabela 4.

TABELA 4 – Características dos Pára-raios instalados

Características	Valor
Tensão de operação contínua – kV eficaz	154
Tensão nominal do sistema – kV eficaz	192
Absorção de energia – kJ/kV	2,5
Classe de descarga de linhas de transmissão	2
Corrente nominal de descarga, com forma de onda 8/20 $\mu$ s - kA	10
Freqüência nominal - Hz	60
Corrente suportável de freqüência industrial, sob chuva, no invólucro sem parte ativa – 1min – kV eficaz	100
Descargas parciais - pC	$\leq 10$

O pára-raios funciona como uma resistência não linear: em uma situação de sobretensão atmosférica na estrutura ou nos condutores da LT ele irá permitir a passagem de uma parcela da corrente de surto por seus terminais mantendo uma tensão sobre os mesmos e limitando a sobretensão sobre as cadeias de isoladores.



FIGURA 5 – Instalação de pára-raios ZnO nas estruturas

A localização e a disposição dos pára-raios foi determinada através de estudos específicos e simulações pela área de Planejamento de Operação da CEMIG GT com base nas informações históricas a respeito do desempenho da LT na qual foi constatado que a taxa de desligamentos da linha com a aplicação de três pára-raios por estrutura seria baixa e associada somente à taxa de falhas do pára-raios (5). A Figura 6 mostra um electricista de linhas de transmissão instalando um dos pára-raios.

#### 5.0 - RESULTADOS OBTIDOS

Pela convergência das informações e a possibilidade de execução de investimentos localizados na engenharia de manutenção da LT, obtiveram-se excelentes resultados em termos de qualidade de energia e satisfação dos grandes consumidores do Leste em relação ao desempenho desta linha.

A Figura 6 ilustra um dos resultados obtidos com o processo de melhoria de desempenho da LT, a primeira coluna de cada ano apresenta o total de desligamentos observados naquele ano, e a segunda o número de desligamentos por descarga atmosférica. Percebe-se a redução significativa no número de desligamentos na LT após 2002 quando o trabalho foi realizado.

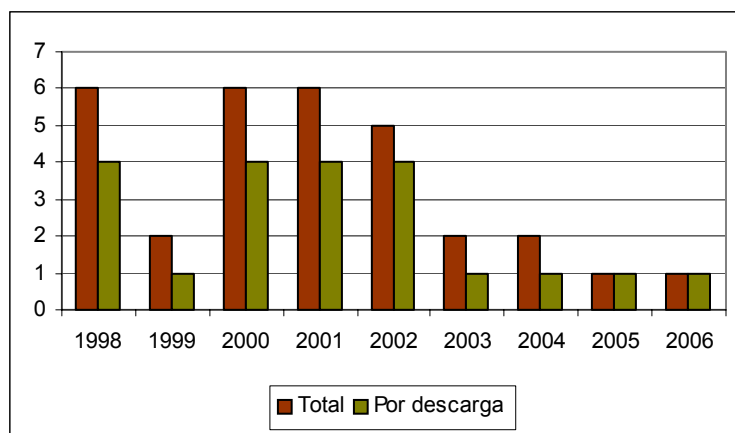


FIGURA 6 – Desligamentos por ano na LT

O índice de desempenho frente a descargas atmosféricas da LT (AK) também ilustra os efeitos das melhorias realizadas. Houve uma redução de 75% no valor do índice dos anos anteriores a 2002 quando foram executados os serviços, para os anos posteriores (Ver Figura 7).

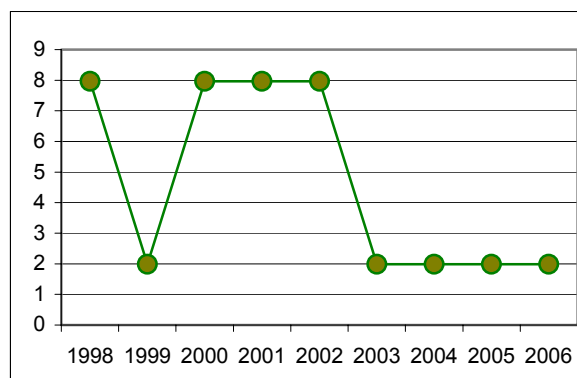


FIGURA 7 – AK - Índice de Falhas por Descarga Atmosférica (Deslig./100km/ano)

## 6.0 - CONCLUSÃO

O desempenho da LT Guilman Amorim obteve considerável melhoria com os serviços executados em trechos críticos determinados pelo índice de severidade, que por sua vez mostrou-se eficiente e coerente com as informações do localizador de faltas. A partir de agora, com a necessidade de redução de custos de manutenção, metodologias como essa serão cada vez mais necessárias para estudos de desempenho de linhas de transmissão.

A utilização de redutores químicos, configurações otimizadas de aterramento apresentaram uma boa alternativa para regiões com alta resistividade e incidência de descargas chegando a reduzir em até 50% alguns valores de resistência de aterramento o que também contribuiu significativamente na redução do número de desligamentos da linha nos últimos quatro anos. Nos trechos mais críticos onde foram instalados pára-raios de óxido de zinco até então não foram localizados desligamentos.

O mais importante num processo de melhoria localizada de desempenho é analisar a linha de transmissão detalhadamente, levantar os problemas encontrados e cercá-los de forma a buscar as soluções viáveis para cada um individualmente, reduzindo assim a possibilidade de reincidência de falhas.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) VISACRO F., S; DIAS, R.N; MESQUITA, C.R; CAZETTA, A; DO CARMO, L.S; A Novel Approach for Determining Localized Actions for TL Lightning Protection Using Data Provided by Lightning Location System. Proceedings of International Conference on Grounding and Earthing and 3<sup>rd</sup> Brazilian workshop on Atmospheric Electricity (GROUND'2002 & 3<sup>rd</sup> WAE), Rio de Janeiro, Brasil – November 4-7, 2007.
- (2) VISACRO F., S; DIAS, R.N; MESQUITA, C.R; CAZETTA, A; DO CARMO, L.S; Aplicação Não Convencional de SLT como Elemento Auxiliar na Definição de Ações de Proteção de Linhas de Transmissão. XVII SNPTEE, 2003.
- (3) VISACRO, S. F; SOARES, A. J; CHERCHIGLIA, L.C.L; CARVALHO, A.M; Investigação de Configurações Otimizadas para o Aterramento das Torres do Sistema de Transmissão da CEMIG para Melhoria de Desempenho frente a Descargas Atmosféricas. XIV SNPTEE. 1997.
- (4) CLEBICAR, P. J. N; CAMPOS FILHO, O; SILVA, A. E; CEMIG's Experience in The Use Of BackFill in Transmission Line Grounding Systems. GROUND'2002 and 3rd WAE - International Conference on Grounding and Earthing and 3rd Brazilian WorkShop on Atmospheric Electricity. GROUND'2002 and 3rd WAE. Rio de Janeiro. 2002.
- (5) ROCHA, A. C. O.; CHERCHIGLIA, L.C.L; CARMO, L.S; FRANCO, J.L; Aplicação de Pára-raios – Uma Solução para Melhoria de Desempenho de Linhas de Transmissão. 2000.
- (6) 30.000-TR/MN-229a – Relatório de Melhoria de Desempenho da LT Guilman Amorim – Ipatinga 1, 230kV. Arquivo Tecnológico da CEMIG. 2005.
- (7) 30.000-ER/LT-3368a – Instruções para Aterramento de Estruturas de Linhas de Transmissão de 69 a 500kV. Arquivo Tecnológico da CEMIG. 2003.
- (8) 30.000-ER/LT-2619a. LT Guilman Amorim – Ipatinga 1 , Melhoria de Aterramento. 2002