



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

GLT 09  
14 a 17 Outubro de 2007  
Rio de Janeiro - RJ

### **GRUPO III**

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

#### **PLANO DE ATENDIMENTO A EMERGÊNCIAS COM QUEDA DE TORRES EM LINHAS DE TRANSMISSÃO: MEDIDAS CORRETIVAS E PREVENTIVAS**

**Alecsandro Broio Oliveira\***

**FURNAS CENTRAIS ELÉTRICAS S.A.**

### **RESUMO**

No atual contexto, das estatísticas incrementadas de acidentes com queda de estruturas, se torna necessário às empresas responsáveis pelas linhas de transmissão - LTs, a manutenção de planos de contingência montados através de parâmetros padronizados, funcionando de acordo com a criticidade do sistema e correlações com o Sistema Interligado Nacional - SIN.

Nesse artigo, traçamos paralelos das experiências de mais de vinte anos do Sistema de Transmissão Itaipu, operado e mantido por FURNAS, de fundamental importância para o SIN e que já teve testado praticamente todas as configurações de quedas de LTs nas tensões de  $\pm 600\text{kV}$  CC e  $750\text{kV}$  CA.

### **PALAVRAS-CHAVE**

Linha de Transmissão, Plano de Emergência, Queda, Acidente, Recuperação.

#### **1.0 - INTRODUÇÃO**

Dentro do atual contexto atmosférico, a intensidade dos ventos incrementa as estatísticas de acidentes com queda de estruturas e sobrepõem tanto as técnicas de projeto quanto às de manutenção, onde as repercussões destes acidentes atingem os âmbitos legais, regulatórios e até mesmo políticos. Paralelamente as melhorias conseguidas através dos sistemas de proteção visam minimizar os impactos que estes acidentes causam ao SIN. Entretanto torna-se imprescindível que as empresas responsáveis pela transmissão de energia elétrica, envolvendo as linhas de transmissão, mais especificamente, tenham planos de contingência montados através de parâmetros padronizados e que funcionem de acordo com a criticidade do sistema e suas correlações com o SIN.

Nesse escopo através das experiências advindas de mais de vinte anos de ocorrências no maior sistema de transmissão de energia do país, o Sistema de Transmissão de Itaipu, operado e mantido por FURNAS Centrais Elétricas S.A., de fundamental importância para o SIN e que já teve testado praticamente todas as suas possíveis configurações de quedas de linhas de transmissão. Sistema de transmissão esse que envolve as maiores estruturas civis e eletromecânicas de subestações e linhas de transmissão da América Latina, operando nas tensões de  $\pm 600\text{kV}$  CC e  $750\text{kV}$  CA.

O estudo proposto busca, através de modelos gerais e aplicáveis a qualquer sistema, apresentar de forma sucinta e clara, utilizando de exemplificações práticas, métodos de avaliação de risco e principalmente de sistemáticas de atendimento e restabelecimento de linhas de transmissão, sem perder de vista as variáveis: tempo de recomposição do sistema, importância da(s) linha(s), topografia, localização das falhas, possibilidades de utilização de torres de emergência e esquemas de prontidão e treinamento de pessoal técnico envolvido em atendimentos desta modalidade.

(\*) Av. Tarquínio Joslin dos Santos, 3555 – Bairro Cidade Nova – CEP 85870-650 - Foz do Iguaçu, PR – Brasil  
Tel: (+55 45) 3522-3520 – Fax: (+55 45) 3522-3386 – Email: abroio@furnas.com.br

Pode-se desta forma observar as evoluções obtidas através da busca da melhoria contínua, onde com a utilização de soluções perspicazes de engenharia se obtém redução dos tempos de restabelecimento das linhas de transmissão, melhorias na segurança pessoal e patrimonial. Envolvendo os tipos de materiais empregados, bem como toda a infra-estrutura para o pleno atendimento das normas vigentes e mesmo assim não perdendo o foco na agilidade necessária para o restabelecimento do sistema ou linha de transmissão.

O aspecto prevencionista quanto às ocorrências em questão também não se perde de foco, uma vez que além da busca de correção rápida se deseja ainda mais, embora se pense até utópica, a não reincidência de quedas de estruturas, haja vista a impossibilidade de controle total das condições atmosféricas. Destarte, se observam alguns pontos de melhoria de projeto que podem vir a trazer uma maior estabilidade, principalmente para estruturas estaiadas: sistemas de reforço, controle, monitoramento e melhoria geral das condições estruturais frente às intempéries que se agravam.

Melhorias de processo no que tangem à manutenção destas estruturas, visando maior produtividade e agilidade no atendimento de estruturas que porventura já tenham recebido cargas acidentais, provavelmente nos limites dos coeficientes de segurança de projeto, somente se danificaram, porém sem falha ao sistema e que em muitos casos se encontram inclusive em situações inseguras de acesso para manutenção.

## 2.0 - APRESENTAÇÃO E HISTÓRICO DOS ACIDENTES OCORRIDOS NO TRONCO DE TRANSMISSÃO DE ITAPU

Na sistemática adotada são examinados primeiramente, em separado, os dois sistemas de transmissão, em corrente alternada e contínua, verificando através de pesquisa histórica, a frequência, quantidade e localização dos acidentes ocorridos.

Na figura 1, a seguir, pode-se observar a distribuição geográfica das ocorrências ao longo do sistema de transmissão de Itaipu. Nota-se claramente a aglomeração de ocorrências no estado do Paraná, principalmente entre os municípios de Cascavel e Foz do Iguaçu.

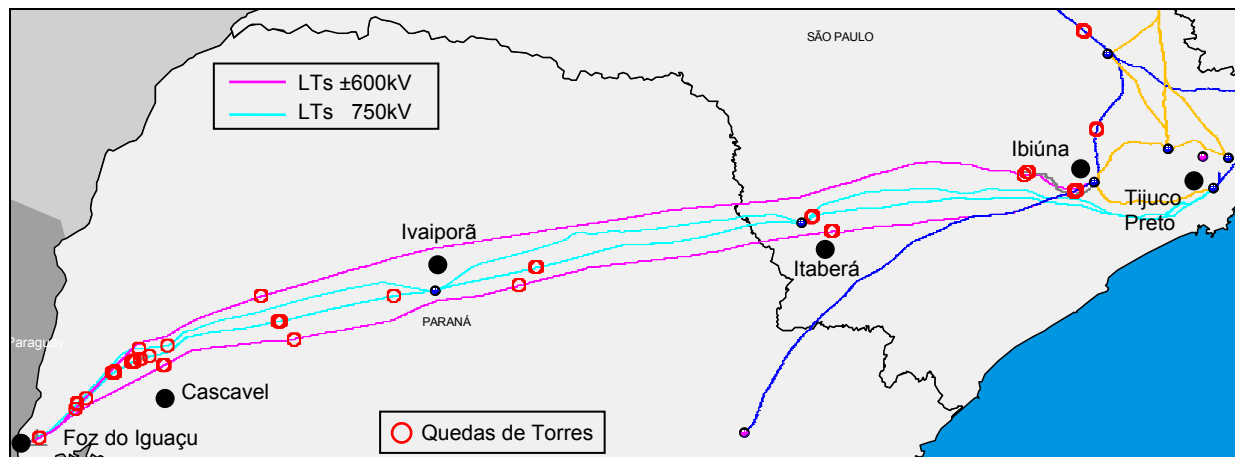


FIGURA 1 – Distribuição geográfica das quedas de torres no Sistema de Transmissão de Itaipu

### 2.1 Sistema de Corrente Contínua $\pm 600\text{kV}$

O sistema CC é composto de duas linhas bipolares, denominadas de LTs Foz-Ibiúna 1 e 2 (LTFIINBP1-2), tendo sido energizados em abr/85 e ago/87, respectivamente.

A incidência das quedas de torre nesse sistema é relativamente inferior ao sistema CA, totalizando sete ocorrências e dezesseis estruturas, iniciando em nov/87 (única queda por choque de caminhão) e em out/92 (primeira queda por vento), com sua última ocorrência em set/06, conforme detalha a tabela 1, a seguir.

Pelo histórico se observa que os períodos de maior incidência são os meses de setembro e outubro e que os ciclos de reincidência se deram nos anos de 1992, 1997/98 e 2005/06, ou seja, uma média de intervalo de ocorrências de seis anos.

Das ocorrências de queda por vento, 67% das torres caídas eram do tipo estaiada e os outros 33% de autoportantes, sendo que a proporção destas ao longo das LTs é de cerca 70% de estaiadas.

O vento máximo de projeto dessas estruturas é de 150Km/h, ou seja, 41,67m/s.

REGIÃO	~ %	QUANT. TORRES	LT	MÊS/ANO QUEDAS	TEMPO RECUPERAÇÃO
Foz-Cascavel (PR)	14	2	FIINBP1	Set/2006	4,1
Centro-Norte (PR)	43	1	FIINBP1	Out/1992	3,3
		2	FIINBP2	Mai/1997	4,6
		1	FIINBP1	Set/2005	4,9

São Paulo	43	1*	FIINBP2	Nov/1987	3,2
		6	FIINBP1	Out/1998	9,1
		3	FIINBP1	Out/1998	9,1

\* Queda por choque de caminhão. / Nos itens não indicados, queda por vento. – Atualizado até Fev/07.

TABELA 1 – Histórico de quedas de estruturas no sistema CC distribuídos por região de ocorrência.

## 2.2 Sistema de Corrente Alternada 750kV

O sistema CA é composto de três linhas/circuitos trifásicos, denominados de LTs Foz-Ivaiporã 1, 2 e 3 (LTs FIIV1-2-3), Ivaiporã-Itaberá 1, 2 e 3 (IAIV1-2-3) e Itaberá-Tijuco Preto 1, 2 e 3 (IATP1-2-3), tendo sido energizadas em ago/89-dez/86-mar/99, ago/89-out/82-mai/00 e jul/89-out/82-mai/01, respectivamente.

A maior incidência das quedas de torre nesse sistema, totalizando dezoito ocorrências e quarenta e cinco estruturas, iniciando em jun/82, com duas quedas não provocadas por vento em set/98 e jan/04, com sua última ocorrência em set/06, conforme detalha a tabela 2, abaixo.

Pelo histórico se observa que os períodos de maior incidência coincidentemente também são os meses de junho, setembro e outubro, e acrescentando-se o mês de novembro, e que os ciclos de reincidência se deram nos anos de 1982, 1990, 1994, 1997/98 e 2005/06, ou seja, uma média de intervalo entre ocorrências de cinco anos e meio.

Das ocorrências de queda por vento, 68% das torres caídas eram do tipo estaiada e os outros 32% de torres autoportante de quatro pernas, sendo que a proporção destas ao longo das LTs é de 70% de estaiadas.

O vento máximo de projeto dessas estruturas era de 150Km/h, ou seja, 41,67m/s, tendo sido elevada em 1999 para 182Km/h (50,56m/s), devido à instalação de reforço estrutural na maior parte das estruturas do sistema.

REGIÃO	~ %	QUANT. TORRES	LT	MÊS/ANO QUEDAS	TEMPO RECUP. (DIAS)
Foz-Cascavel (PR)	67	1	FIIV2	Out/90	11
		2	FIIV2	Nov/94	7
		6	FIIV1	Nov/97	13
		4	FIIV2	Nov/97	7
		1 <sup>1</sup>	FIIV3	Jan/04	5
		4	FIIV1	Jun/05	15
		5	FIIV2	Jun/05	10
		1	FIIV1	Out/05	3
		2	FIIV2	Out/05	6
		2	FIIV3	Out/05	8
		1	FIIV2	Set/06	6
		1	FIIV3	Set/06	3
Centro-Norte (PR)	28	1	IAIV1	Jun/94	5
		3	IAIV2	Jun/94	12
		2	FIIV1	Abr/98	6
		5	FIIV2	Abr/98	15
		1 <sup>2</sup>	FIIV1	Set/98	3
São Paulo	5	3 <sup>3</sup>	IATP2	Jun/82	-

<sup>1</sup> Queda por choque de trator. / <sup>2</sup> Queda por explosão da base/vandalismo. / <sup>3</sup> LT ainda estava fora de operação. / Nos itens não indicados, queda por vento. – Atualizado até Fev/07.

TABELA 2 – Histórico de quedas de estruturas no sistema CA distribuídos por região de ocorrência.

## 3.0 - MEDIDAS CORRETIVAS E PREVENTIVAS PARA OCORRÊNCIAS DE QUEDAS DE ESTRUTURAS

Após as primeiras ocorrências de queda de estruturas já em 1990, foram criados planos de atendimento emergencial em linhas de transmissão, inicialmente divididos em planos de atendimento técnico e administrativo. Posteriormente foram agrupados em aplicação Web, de modo a centralizar e disponibilizar a todas as partes interessadas o acesso para consulta de suas funções, níveis de emergência e áreas de atuação.

### 3.1 Configurações de Falha nas LTs

Em geral, as falhas no sistema de transmissão definem sua configuração em questão de poucos minutos, tornando assim, praticamente imediata, a possibilidade identificação de distâncias e de busca “in loco”, com conseqüente caracterização da extensão dos danos. No entanto, em todas as ocorrências de queda de estruturas devido ao vento, estas ocorreram no período entre 16h e 19h, e em todas elas a tentativa de localização da falha

real, caracteristicamente já em período noturno se tornou ineficaz, com sua real localização somente no período matutino do dia seguinte. Destarte, aliado a margem de erro dos sistemas de localização de falha na linha – LFA no sistema CA e LFL no sistema CC, que na média geral ficam em torno de  $\pm 5\text{Km}$ , em “todos os casos”, somente houve caracterização total da extensão dos danos por volta das 9h do dia seguinte à ocorrência.

Na figura 2 abaixo, de forma a situar melhor, temos a potência a ser transmitida pelos dois sistemas e as capacidades de cada linha de transmissão do sistema.

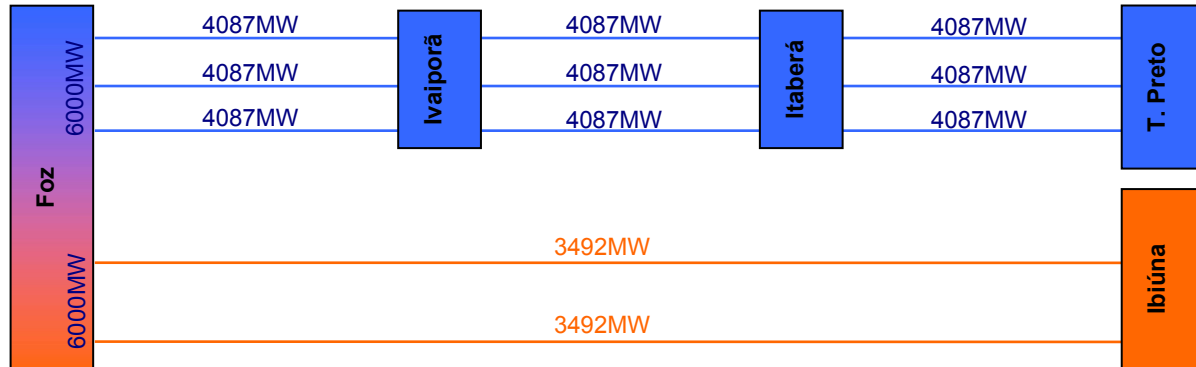


FIGURA 2 – Esquema do sistema de transmissão e potências médias a transmitir e limites de potência por LT.

Pelo sistema ilustrado e pelas suas características, temos que:

- No sistema CA (em azul), um dos circuitos é basicamente redundância dos demais;
- No sistema CC (em laranja), embora pelas suas características, se possa transmitir grande parte da potência através de apenas um dos bipolos, ainda assim “existe” a restrição energética;
- No sistema CA, em caso de falta em mais de um circuito entre Foz e Ivaiporã, pode-se dependendo das condições do SIN, utilizar potência disponível pela interligação com a Eletrosul em Ivaiporã.

Assim, podemos adotar como critérios básicos para priorização de atendimento, quando da queda de mais de uma LT, o que segue:

- Quantidade total de estruturas caídas;
- Quantidade de estruturas estaiadas (peso 1);
- Quantidade de estruturas autoportantes (peso 3);
- Sistema com ou sem restrição energética;
- Circuito com ou sem redundância.

### 3.2 Plano de Atendimento a Emergências em Linhas de Transmissão

Atualmente o plano de atendimento a emergências em linhas de transmissão – PAE LTs, contempla todas as informações necessárias para o pleno conhecimento e atuação dos envolvidos.

Basicamente o plano é composto de uma estrutura organizacional, conforme ilustra a figura 3, a seguir:

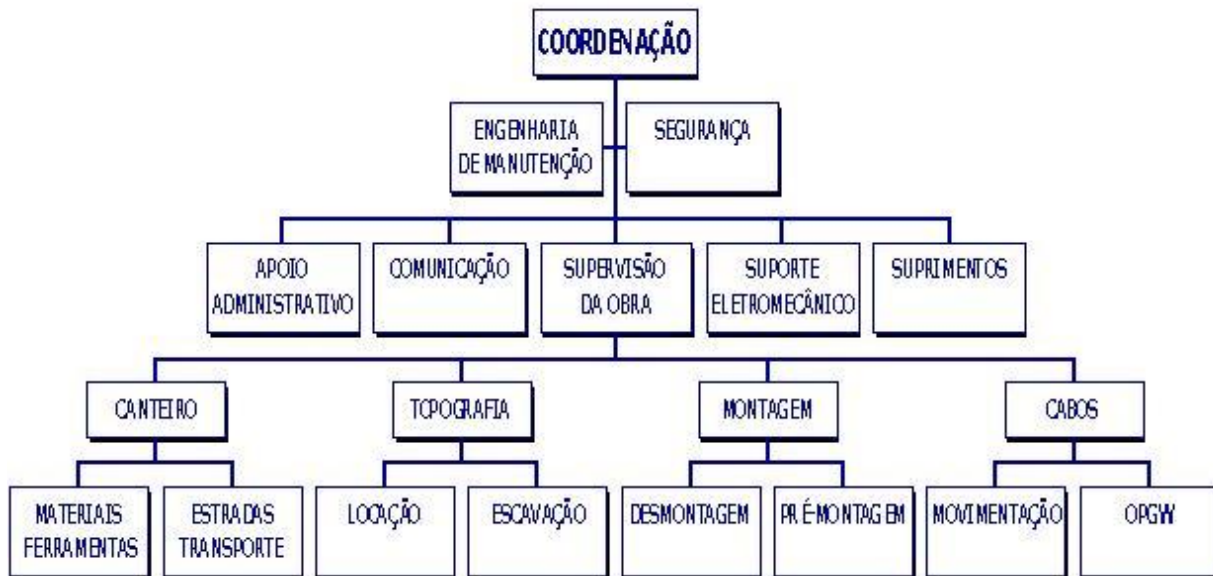


FIGURA 3 – Estrutura organizacional do PAE LTs.

O plano é estruturado operacionalmente pelas equipes formais de apoio administrativo, comunicação, suporte eletromecânico, suprimentos e supervisão da obra que subdivide-se em canteiro, topografia, montagem e cabos.

### 3.3 Tempos de Restabelecimento do Sistema

Os tempos de restabelecimento das LTs também podem ser considerados e analisados de forma a se ter parâmetros a perseguir. Em geral, visando essa parametrização de tempo, são consideradas, para cada ocorrência, a quantidade de estruturas caídas, que chamaremos de “N”, mais um número “X”, em dias, criando assim uma fórmula matemática, onde X é a diferença entre o total de dias necessários para recuperação das estruturas e a quantidade de torres caídas. Alguns padrões e regulamentações internacionais estabelecem critérios, como N+2, por exemplo.

Na prática, o total de estruturas estaiadas, mais o total de estruturas autoportantes (peso três) e mais dois (em dias), em geral pré-define a probabilidade de tempo de recuperação das torres caídas em uma ocorrência, variando geralmente em mais ou menos um dia, de acordo com a topografia local e condições atmosféricas durante a execução da recuperação das estruturas.

Pôde-se observar ao longo do histórico de ocorrências que nas condições mais ou menos desfavoráveis das condições atmosféricas e topográficas houve um incremento no número de dias de recuperação das estruturas variando de três a sete dias.

## 4.0 - CONCLUSÃO

Embora se possa tentar estabelecer parâmetros os mais previsíveis possíveis, ainda assim, devido a característica das linhas de transmissão, que praticamente atravessam todo tipo de condição topográfica e climática, sempre existirão fatores que influenciarão e afetarão o desempenho da recuperação destas em situações emergenciais.

Dentre as principais ferramentas que se vislumbra melhorarem a localização das falhas está o aperfeiçoamento do monitoramento dos ventos e dos esforços sofridos nas estruturas, que poderão assim melhor precisar a real localização e extensão dos danos à LTs. Por outro lado, a promessa tecnológica de melhoria dos localizadores de falha em sistemas de alta tensão, tornaria mais rápida e eficaz a detecção das ocorrências em LTs.

No âmbito corretivo, a utilização de guindastes, maquinário, acessórios e ferramentas aperfeiçoadas também trarão com certeza maior agilizada na recuperação das LTs. Poderemos almejar futuramente a utilização de guindastes aéreos, como os da Erickson Air Crane, americana, com capacidade de carga de doze toneladas, que conjuntamente com a utilização de estruturas em quantidade razoável e montadas em local mais adequado e seguro, poderiam contrapor todo o desempenho histórico até então conseguido.

## 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PAE LTs – Plano de atendimento à emergências em LTs. FURNAS, 2002.
- (2) SIAO – Sistema de informação de apoio da operação.
- (3) Acervo de dados técnicos do Departamento de Produção Paraná.
- (4) Site da Erickson Air Crane. Disponível em: [www.ericksonaircrane.com](http://www.ericksonaircrane.com)

## 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Alecsandro Broio Oliveira

Nascido na cidade de Luz, MG em 02 de fevereiro de 1977

Graduando (2007) em Engenharia Civil: UDC-PR, Pós-graduado (2003) em Gestão Empresarial: UNIVEL/INBRAPE-PR e Graduado (2001) em Administração: UNIOESTE-PR

Empresa: FURNAS Centrais Elétricas, desde 1998

Supervisor de Linhas de Transmissão da Divisão de Manutenção Eletromecânica Paraná

Coordenador do Plano de Atendimento a Emergências em Linhas de Transmissão do Depto. de Produção Paraná