

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

### **MANUTENÇÃO EM LINHAS DE TRANSMISSÃO ULTRA-ALTA TENSÃO 800 KVCC - DESAFIOS E SOLUÇÕES DE ENGENHARIA**

**CLERISSON MARCOS DA PAZ OLIVEIRA(1); AIRTON ZANE JUNIOR(1); CARLOS PERDIGÃO GOMES(2);  
BMTE(1); TEREX BETIM(2);**

#### **RESUMO**

O primeiro bipolo da UHE de Belo Monte, gerenciado pela Belo Monte Transmissora de Energia, é a primeira linha de transmissão a operar no Brasil com tecnologia de corrente contínua de ultra-alta tensão de 800kVCC.

Esta linha de transmissão tem como características construtivas torres com alturas elevadas, longas cadeias de isoladores, grandes vãos entre torres além de cargas de tração elevadas.

Este trabalho visa apresentar os estudos realizados para determinação da distância de segurança e as soluções de engenharia empregadas no desenvolvimento de novas ferramentas para tração, locomoção e suporte, destinadas para a manutenção da primeira linha de transmissão de corrente contínua de ultra-alta tensão do Brasil.

#### **PALAVRAS-CHAVE**

Ultra-alta tensão - corrente contínua - Belo Monte - linha energizada - bipolo

#### **1.0 - INTRODUÇÃO**

O primeiro bipolo da usina de Belo Monte, localizada no estado do Pará, gerenciado pela Belo Monte Transmissora de Energia, é a primeira linha de transmissão a operar no Brasil com tecnologia de corrente contínua de ultra-alta tensão de 800 kVCC. Esta tecnologia permite a redução das perdas no transporte de energia elétrica em longas distâncias.

O bipolo 1 possui 3803 torres e extensão de 2076 km, atravessando quatro estados do Brasil, além de possuir torres com alturas elevadas, longas cadeias de isoladores, grandes vãos entre torres e cargas de tração elevadas.

Por estas características, boa parte das ferramentas para manutenção em linhas energizadas, até então disponíveis no mercado nacional, não atendiam os requisitos necessários para a manutenção deste bipolo, seja pela limitação de tamanho ou pela limitação das cargas de trabalho.

Para desenvolver as novas ferramentas de tração, locomoção e suporte, a Belo Monte Transmissora de Energia selecionou a empresa Terex Ritz como parceira neste projeto, pelo pioneirismo no desenvolvimento de ferramentas para manutenção de linhas energizadas.

## 2.0 - DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Por ser uma linha de ultra-alta tensão de 800 kVCC, inédita no Brasil, tornou-se necessário reunir uma equipe multidisciplinar, composta por especialistas em manutenção, projetos de ferramentas e consultores.

A necessidade de se definir as distâncias mínimas de trabalho e as novas ferramentas para manutenção levou a formação de duas frentes de trabalho neste desenvolvimento. A primeira frente orientada para o planejar e realizar os ensaios elétricos de laboratório e a segunda para desenvolver os ferramentais especiais para manutenção.

### 2.1 Reuniões técnicas

As reuniões técnicas, com equipe multidisciplinar, são importantes para definir os requisitos exigidos, equalizar as informações, nivelar as expectativas e definir o cronograma executivo.

Dentre as diversas ações, necessárias para o bom andamento e sucesso deste projeto, estão elencadas:

- Definir com segurança as distâncias mínimas de aproximação fase-terra.
- Atender aos requisitos das normas internacionais e nacionais para ferramentas de linha viva.
- Desenvolver uma cadeia de suspensão tracionada por dois bastões de tração seccionáveis.
- Elaborar o comprimento máximo das ferramentas de 4,3 metros, para facilitar transporte.
- Racionalizar a quantidade de ferramentas, com o menor número de jugos possível.
- Fabricar os adaptadores com gravação indelével com identificação dos seus respectivos jugos.
- Desenvolver parafusos tensores com uso obrigatório de porca de segurança.
- Prazo máximo para projeto e entrega das ferramentas de 150 dias.
- Ensaio mecânico de todas as ferramentas na presença do cliente.

### 2.2 Visitas in loco

As visitas *in loco* são importantes para se ter uma visão real das estruturas, principalmente por ser uma linha de transmissão com características construtivas diferenciadas do padrão brasileiro atual.

A Terex Ritz esteve presente em um trecho da linha de transmissão e também no pátio da sede de manutenção, onde estão estocadas as peças para reposição (material de reserva técnica).



Figura 1 - Torres do bipolo 1 que foram analisadas durante visita

### 2.3 Projeto das ferramentas

A Terex Ritz, atuante a mais de 50 anos no mercado de ferramentas de linha viva, possui uma metodologia própria para desenvolver ferramentas de acordo com os requisitos de normas nacionais e internacionais.

Fazem parte do projeto e desenvolvimento de ferramentas a modelagem computacional 3D, memória de cálculo estrutural, análise de elementos finitos e ensaios elétricos e mecânicos em laboratório próprio.

Uma análise criteriosa do projeto da linha de transmissão se faz necessário. Fazem parte desta análise as condições de carregamento mecânico específicos da estrutura sob manutenção (vão de peso e tensão de tracionamento) comparados com os valores máximos de esforços mecânicos dos materiais empregados na fabricação.

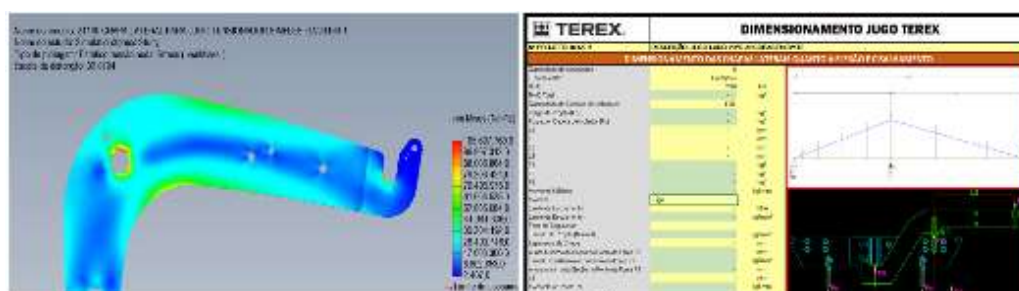


Figura 2 - Etapas do desenvolvimento das ferramentas – FEA e Memória de calculo

O emprego da tecnologia de impressão 3D, na fabricação de protótipos possibilitou agilizar os ensaios funcionais das ferramentas, proporcionando uma maior assertividade do projeto.



Figura 3 - Uso de impressão 3D

#### 2.4 Ensaaios de laboratorio das ferramentas

A validação do projeto se deu através de ensaios elétricos e mecânicos, realizados no laboratório da Terex Ritz, com o acompanhamento da BMTE, onde um conjunto de ferramentas passou por ensaios destrutivos.

Devido às dimensões dos jugos e das elevadas cargas de ensaio, tornou-se necessário projetar e fabricar uma exclusiva máquina para ensaios de tração e compressão com dimensões e capacidade de carga compatíveis com os ferramentais projetados.

Esta máquina foi projetada para realizar ensaios de tração e compressão em ferramentas, sendo a capacidade de carga limitada à 75 toneladas.



Figura 4 - Ensaio mecânico para validação do projeto

## 2.5 Ensaio elétrico para definição das distâncias de segurança

Uma das formas de se determinar a distância de trabalho segura é através de ensaios de laboratório, onde são simuladas as condições reais da operação da linha de transmissão.

Os ensaios elétricos de laboratório foram realizados conforme descritos a seguir:

### a. Arranjo Físico

Estrutura típica de suspensão da linha de corrente contínua de 800 kV, montada em um laboratório de alta tensão externo, com as cadeias de isoladores de suspensão, ferragens, acessórios e cabos condutores instalados conforme projeto, com painel metálico na mísula, distante 6,70 e 6,20m do plano da cadeia de isoladores.

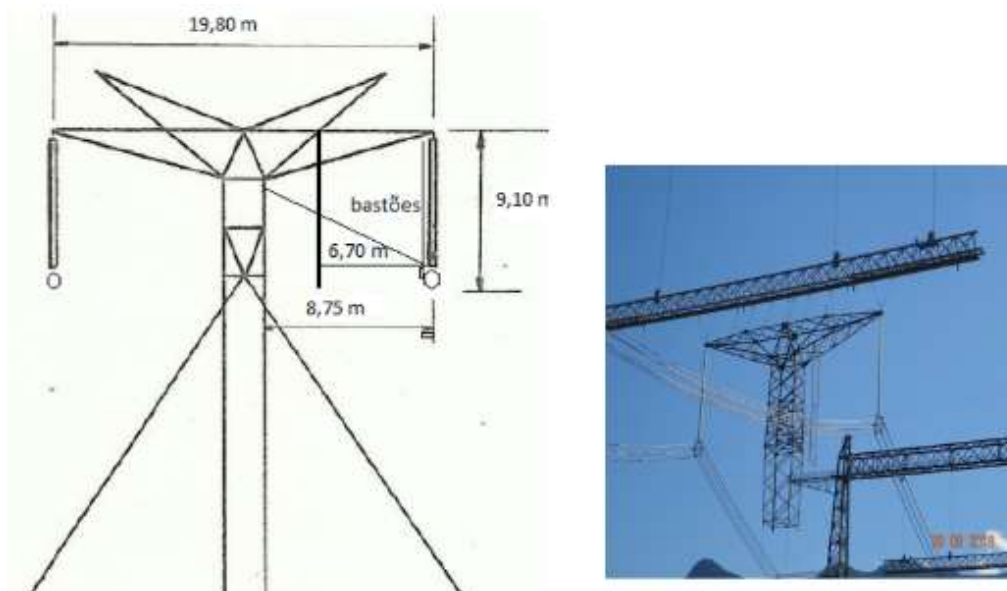


Figura 5 - Arranjo físico para ensaio elétrico

#### b. Forma de Onda e Metodologia

A forma de onda, a ser aplicada para simular o maior impulso de manobra, foi de 250/2500  $\mu$ s, na polaridade positiva.

Para determinação da tensão crítica disruptiva ( $V_{50}$ ), utilizou-se o método “*up and dow*”, com 30 aplicações. A figura 5 apresenta a disposição para determinação da tensão disruptiva para as distâncias determinadas.

#### c. Resultados

Uma das principais tarefas na manutenção de linhas energizadas é a troca de isoladores danificados. Logo é fundamental identificar o número mínimo de isoladores em bom estado que ainda possibilitam a manutenção em linha energizada.

A tabela 1 indica a quantidade de isoladores em bom estado e danificados por cada tipo de cadeia.

Tabela 1 - Quantidade mínima de isoladores para trabalho em linha energizada

Cadeias de isoladores	Quant. isolador em perfeito estado	Quant. isoladores danificados	Distância Mínima de Trabalho
Suspensão 320 kN	33	6	6,7 metros
Suspensão 420 kN	34	6	
Ancoragem	34	7	



## 2.6 Treinamento da equipe antes da atividade em campo

As atividades em linha energizada, requerem muita atenção, treinamento e principalmente segurança na manobra, tanto dos técnicos/eletricistas como também dos ferramentais e equipamentos envolvidos.

O treinamento realizado em solo, com toda a equipe de manutenção, para familiarização e compreensão do funcionamento do ferramental mostrou-se como um dos fatores determinantes para o sucesso da atividade prática final, realizada em campo.



Figura 6 - Jugos lado energizado e lado desenergizado – Treinamento em solo



Figura 7 - Jugo tipo caixote lado energizado e cadeira de acesso ao potencial – Treinamento em solo

## 2.7 Reconhecimento da estrutura

Devido às características particulares desta linha de transmissão como classe de tensão, dimensões e cargas elevadas, foram realizados estudos criteriosos quanto ao procedimento e aplicação dessas ferramentas nas estruturas, de maneira a ser possível a movimentação de carga, neste tipo de manutenção programada.

Ainda como parte do treinamento, a equipe de eletricitas, orientada por consultores, realizou a atividade de reconhecimento da torre, inclusive com a escalada da torre, por parte da equipe.



Figura 8 - Detalhe da ponta da mísula e adaptador para instalação de jugo – Verificação de montagem

## 2.8 Remoção da cadeia de suspensão de isoladores

A atividade pratica final, onde foi realizada a remoção da cadeia de isoladores na suspensão, ocorreu em uma torre desenergizada do bipolo 2.

Com suporte tecnico de consultores, a instalação das ferramentas e retirada da cadeia de isoladores foi considerada por toda a equipe envolvida como bem sucedida.

Esta atividade foi executada de maneira bastante didática com a finalidade de fixar os conceitos e a metodologia para manutenções desta magnitude.





Figura 9 - Instalação das ferramentas no bipolo 2 em regime desenergizado



Figura 10 - Içamento e posicionamento da cadeia de isoladores na mísula

### 3.0 - CONCLUSÃO

Em atividades desta natureza é indispensável um bom planejamento que contemple o treinamento da equipe

sobre o uso e manuseio das ferramentas, análise *in loco* do local de trabalho, além de uma análise de risco bastante criteriosa.

A atividade de manutenção em linhas de transmissão de ultra-alta tensão de corrente contínua requer uma metodologia própria e treinamento específico. O treinamento em solo, para reconhecimento e orientações sobre o uso e instalação das ferramentas, foi fundamental para a segurança e sucesso da operação.

Os ensaios elétricos realizados em laboratório, com estruturas em escala real, foram necessários e suficientes para garantir a distância de segurança para a operação em linha energizada com tecnologia de corrente contínua de ultra-alta tensão de 800kVCC.

Os ensaios mecânicos realizados pelo fabricante das ferramentas, foram fundamentais para garantir a confiabilidade do equipamento durante a operação de remoção da cadeia de isoladores.

A remoção da cadeia de isoladores foi realizada com segurança e toda atividade foi executada de forma bastante didática, com a supervisão de consultores e especialistas.

A vestimenta condutiva para linha transmissão de corrente contínua de ultra-alta tensão de 800kVCC, ainda não está regulamentada no Brasil. Contudo ela fez parte do ensaio elétrico realizado.

Os desafios impostos e as soluções de engenharia desenvolvidas, trouxeram para este projeto elementos únicos e inovadores e que poderão ser compartilhados com o todo o mercado.

O sucesso deste desenvolvimento está diretamente relacionado com a interação entre os departamentos de engenharia das empresas envolvidas, com a qualidade e confiabilidade das informações compartilhadas.

#### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5422: Projetos de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica. Rio de Janeiro, 1985.
- (2) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60985: Live working – Conductive clothing for use at nominal voltage up to 800kV a.c. and  $\pm 600$  kV d.c.. Geneva, 2002.
- (3) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 60832-1: Live working – Insulating sticks and attachable devices – Part 1: Insulating sticks. Geneva, 2010.
- (4) INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. IEC 61472: Live Working – Minimum approach distances for a.c. systems in the voltage range 72,5 kV to 800 kV – A method of calculation. Geneva, 2013.

#### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

**Clerisson Marcos da Paz Oliveira**



Graduação: Engenheiro Eletricista/2008/Centro universitário de Lins

Pós-graduação: MBA Gestão de Projetos/2020/IBMEC

Experiência: Gerenciamento de manutenção de linha de transmissão de energia elétrica. Implantação de sedes de apoio e formação de equipes. Criação de métodos e planos de manutenção preventiva e corretiva. Elaboração e controle de inspeções aéreas e terrestres.

#### **Airton Zane Junior**

Graduação: Bacharel em direito/2005/Universidade Paulista

Pós-graduação: MBA Gestão de Projetos/2020/IBMEC

Técnico Eletrônico/Eletrotécnico/1989 CTI/ Unesp

Eletricista de Manutenção/1986/ SENAI

#### Experiência:

Eletricista de Linhas de Transmissão Manutenção LT Energizada e Desenergizada/CESP/CTEEP/1997;

Inspeção Terrestre e Aérea de Linhas de Transmissão/CTEEP/2001

Técnico Eletricista, Encarregado da Equipe de Manutenção de Lt's Energizada e Desenergizada de Bauru/CTEEP/2003;

Sócio Diretor/Administrativo/2007/ Zane & Zane Industria e Comercio

Supervisor da Belo Monte Transmissora de Energia/2017

#### **Carlos Perdigão Gomes**

Graduação: Matemática/1990/Centro Universitário Newton Paiva – Engenharia mecânica/2008/Universidade Católica de Minas Gerais – Engenharia Civil/2016/ Faculdade Pitágoras

Pós-graduação: Gestão de projetos/2001/Instituto de Educação Tecnológica – MBA Gestão de negócios/2011/ IBMEC – Estruturas de concreto e fundações – 2018/Universidade Paulista

Experiência: Gerente de produtos e desenvolvimento, gerente de engenharia, gerente de operações e projetista sênior. Artigo apresentado internacionalmente: “Desenvolvimento de um jugo especial para troca de ferragens na maior linha de transmissão de 600kv do mundo” apresentado no ICOLIM – International Conference on Live Maintenance, o principal evento sobre linha viva na Europa, ocorrido em 2009 na cidade de Torun na Polônia e no Congresso Internacional sobre "Trabajos con Tensión y Seguridad en Transmisión y Distribución de Energía Eléctrica" ocorrido em 2009 na cidade de Buenos Ayres na Argentina.