



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

BR/GLT/29
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – III

GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO- GLT

**ESTUDOS, GESTÃO E IMPLANTAÇÃO DO PROJETO DE RECAPACITAÇÃO DA LT 230 kV COXIPÓ-NOBRES
NO ESTADO DO MATO GROSSO**

Gastão Adolfo Oncken (*)

KAC Engenharia

Marcos César de Araújo
Mario Noboru Takai
Erivelto Gomes Reguero

Eletrobras Eletronorte

Rogério A. C. Favoretto

Cristal Engenharia

RESUMO

Este Informe Técnico tem por objetivo relatar as principais características, resultados e experiência adquirida com o estudo e execução da recapacitação da LT 230 kV Coxipó – Nobres, da Eletrobras Eletronorte, com extensão de 110 km e integrante do tronco de suprimento elétrico à Região Norte do Mato Grosso implantado na década de 90 e em operação comercial desde então.

Inicialmente são apresentadas as características originais da LT, bem como aspectos técnicos e econômicos relativos às alternativas de recapacitação estudadas, vantagens e desvantagens das mesmas e objetivos pretendidos. Posteriormente, são abordados os aspectos relacionados à alternativa de recapacitação escolhida, critérios de projeto adotados, avaliações estruturais e de desempenho da LT, levantamentos de campo e detalhes construtivos.

PALAVRAS-CHAVE

Linha de Transmissão, Torre, Condutor, Recapacitação, Repotenciação, Retensionamento, Retracionamento.

1.0- INTRODUÇÃO

A LT 230 kV Coxipó – Nobres tem como características principais:

- Extensão: 110 km;
- Tensão: 230 kV;
- Número de circuitos: 1;
- Cabo condutor: CAA 795 MCM, código TERN (1 por fase);
- Cabos para-raios: 1 EHS 5/16" e 1 OPGW;
- Estruturas: autoportantes tronco-piramidais tipo Delta;
- Capacidade de transmissão máxima original: 243 MVA em condição normal (a 60°C no condutor) e 348 MVA em condição de emergência (a 80°C no condutor).

Os estudos inicialmente realizados com o objetivo de verificar possíveis acréscimos na sua capacidade de transporte, bem como os respectivos custos e prazos envolvidos, demonstraram ser mais vantajosa a alternativa de recapacitação através do retensionamento dos cabos condutores da LT, considerando o EDS de 18% originalmente adotado e a possibilidade de aumentá-lo para 20%.

Consequentemente, a menor flecha resultante no cabo pode ser compensada com o acréscimo de potência transmitida, garantidas as condições operativas do cabo em temperaturas extremas admissíveis.

2.0- ALTERNATIVAS DE RECAPACITAÇÃO

Dentre as possíveis soluções de recapacitação existentes, foram selecionadas e estudadas as alternativas relacionadas na Tabela 1.

Tabela 1 – Alternativas de Recapacitação

Alternativa	Potência Final (MVA)	Ganho Percentual	Custo Previsto (Milhões de R\$)	Prazo de Execução (Meses)
Retensionamento do cabo TERN EDS = 20%	387	60%	4,4	3 a 4
Recondutoramento com cabo ACCC Amsterdam	486	100%	18,2	6 a 8
Recondutoramento com cabo ACCC Brussels	520	114%	19,5	6 a 8

Os custos previstos para as alternativas de recondutoramento com cabos ACCC (cabos termorresistentes de alumínio com núcleo de material compósito), levando-se em conta tanto os significativos preços dos próprios cabos quanto os das ferragens aplicáveis aos mesmos, equipararam-se, em ordem de grandeza, aos custos de implantação de uma nova LT com características idênticas (23 a 25 milhões de reais). Portanto, a alternativa de retensionamento do cabo TERN, apesar de proporcionar um menor ganho de potência, mostrou-se como mais atrativa sob os pontos de vista técnico e econômico.

A alternativa de retensionamento, aumentando o EDS de 18% para 20% da carga de ruptura do condutor, considerou também a elevação do limite de temperatura do cabo de 60°C para 90°C, sob regime de operação normal da LT, permitindo economicidade e reduzido impacto ambiental, pois não houve a necessidade de reforços nas fundações das estruturas. O custo investido na implantação da recapacitação corresponderia a R\$ 30 mil por MVA acrescido, menos de 1/3 do custo de investimento de uma LT nova, ou seja, R\$ 100 mil por MVA.

Ressalta-se que o limite de temperatura indicado pelos fabricantes para cabos tipo CAA, operando em regime contínuo de trabalho e sem que haja deterioração de suas características mecânicas, é de 90°C, limite também adotado neste caso.

3.0 - AVALIAÇÕES PRELIMINARES E LEVANTAMENTOS DE CAMPO

3.1 Condições dos cabos condutores e para-raios

Durante a realização dos levantamentos de campo, foram constatados alguns vãos que, por motivos diversos, encontravam-se com distância cabo-solo ligeiramente inferior ao mínimo estabelecido para LTs de 230 kV. Tais casos mereceram uma avaliação cuidadosa das equipes de projeto, uma vez que comprometiam a utilização de todo o potencial de aumento da temperatura de operação, reduzindo o ganho de potência pretendido.

A solução encontrada foi, nesses casos, substituir as cadeias de suspensão por cadeias de semi-ancoragem, a fim de altear os pontos de fixação dos cabos condutores nas estruturas e evitar que houvessem riscos operacionais e de segurança sob as novas condições de limite de temperatura de operação (90°C).

Não foi constatada a necessidade de retensionamento do cabo para-raios EHS 5/16" ou do OPGW 14,1 mm, uma vez atendidos os percentuais máximos de 95% e 100%, respectivamente, entre as flechas dos para-raios e a flecha do cabo condutor.

A Figura 1 ilustra a situação de alteamento do ponto de fixação dos cabos condutores em uma determinada estrutura, através da substituição das cadeias de suspensão por conjuntos de semi-ancoragem.

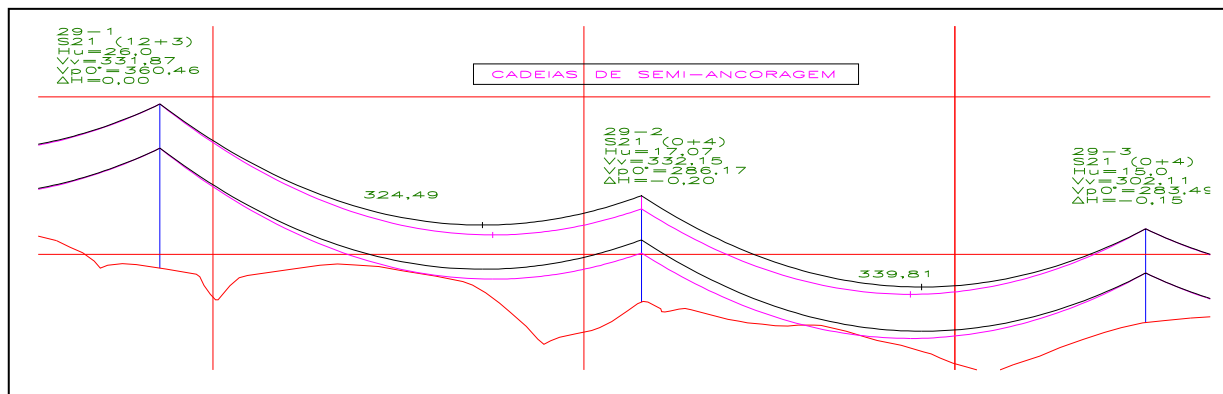


Figura 1 – Vãos com alteamento de cabos e conjuntos de semi-ancoragem

A Figura 2 apresenta o conjunto de semi-ancoragem que substituiu a cadeia de suspensão nos mencionados casos.

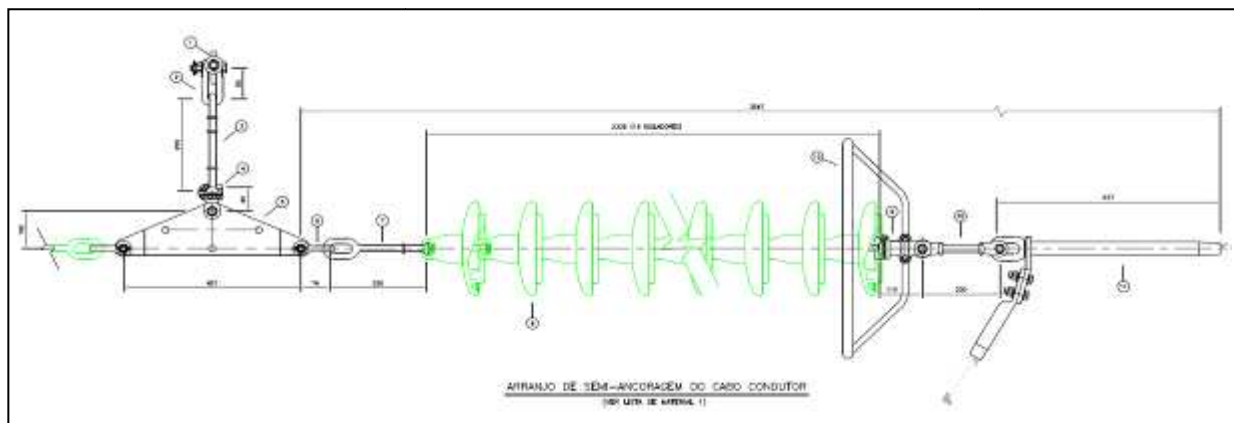


Figura 2 –Conjunto de semi-ancoragem do cabo condutor

3.2 Avaliação do desempenho

Foram efetuadas avaliações quanto às novas condições de operação com base nos parâmetros normalmente empregados para cálculo de desempenho frente às descargas atmosféricas. Utilizando-se o programa FLASH, a nova avaliação demonstrou que o desempenho permanece dentro dos padrões aceitáveis, chegando-se às taxas de desligamentos por 100 km por ano de zero para descargas diretas e 0,65 para descargas indiretas. Por esse motivo, não foram necessárias quaisquer alterações que envolvessem a redução do nível de isolamento da LT, permanecendo o mesmo sistema de aterramento e mesmas condições de isolamento originais.

3.3 Substituição de materiais da LT

De modo a possibilitar os procedimentos de retensionamento dos cabos condutores, foi estabelecida a necessidade de substituição de 50% dos grampos de ancoragem, considerando-se a troca dos grampos em apenas uma das extremidades de cada tramo entre ancoragens, de 15% dos grampos de suspensão, considerando-se a reutilização dos demais, e de todos os amortecedores de vibração, considerando as novas condições de tracionamento mecânico dos cabos.

3.4 Análise das condições estruturais em decorrência dos novos carregamentos

3.4.1- Torres

As novas condições de tracionamento dos condutores impuseram a necessidade de verificação dos projetos estruturais da LT, baseando-se nas hipóteses de carregamento atualizadas, comparativamente àquelas correspondentes às condições originais. As verificações foram realizadas para toda a série de torres da LT, com o objetivo de averiguar a existência de elementos estruturais críticos, propondo-se, para tais elementos, medidas de reforço.

3.4.2 –Fundações

As cargas transmitidas às fundações, calculadas a partir das novas hipóteses de carregamento, mostraram-se sempre inferiores às cargas consideradas na elaboração dos projetos desenvolvidos por ocasião da implantação da LT. Tal fato é devido a possíveis diferenças nas metodologias de cálculo empregadas ou à utilização de coeficientes de segurança diferentes em cada caso.

Ressalta-se ainda que a inspeção em campo não detectou deslizamentos de encostas, erosões ou adensamentos ocorridos por motivos naturais ou causados por intervenção humana, e que também poderiam justificar eventuais reforços de fundações.

4.0 PROJETO DOS REFORÇOS ESTRUTURAIS

As diferenças encontradas entre as cargas das hipóteses de carregamento originais e das hipóteses atualizadas, avaliadas em conjunto com a evolução de critérios de projeto estrutural e folgas existentes nos projetos originais, determinaram a necessidade de pequenos reforços em duas das estruturas da série empregada, as estruturas de suspensão tipos S21 e S23, sendo a primeira a estrutura mais comum na LT. Os reforços necessários ficaram restritos à introdução de algumas barras de contraventamento em elementos das faces transversais e longitudinais dessas estruturas.

Os reforços previstos para a estrutura tipo S21 representaram um acréscimo médio de peso de 34 kgf por estrutura, totalizando 6.970 kgf correspondentes às 205 estruturas desse tipo na LT. Em relação à estrutura tipo S23, o acréscimo médio de peso foi de 41,25 kgf por estrutura, totalizando 330 kgf correspondentes às 8 estruturas desse tipo na LT.

A Figura 3 apresenta imagens das estruturas S21 e S23, bem como ilustra os reforços introduzidos em uma das faces da extensão de 6,0 metros da estrutura S21.

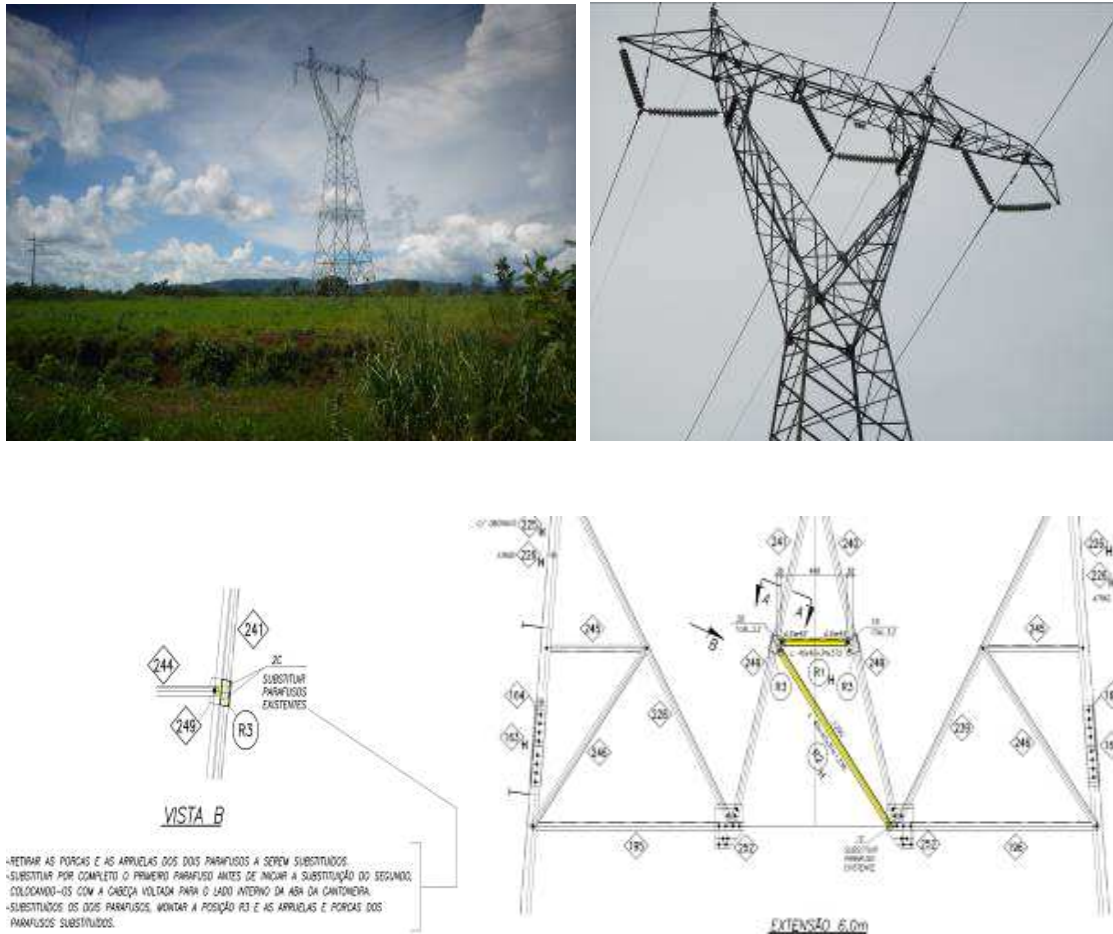


Figura 3 – Estruturas S21 e S23 e reforços estruturais introduzidos

As demais estruturas utilizadas na LT, uma de suspensão (tipo S22), duas de ancoragem (tipos A21 e T21) e uma de transposição (tipo S22T), não necessitaram de reforços para se adequarem estruturalmente ao retensionamento dos cabos condutores, uma vez que suas condições de aplicação são originalmente bastante favoráveis. Entretanto, foi recomendado cuidado especial durante as operações de retensionamento e grampeamento dos cabos, de modo que se evitasse a aplicação desequilibrada de cargas nas pontas das mísulas das estruturas.

5.0 PROCEDIMENTOS PRÁTICOS APLICADOS NA RECAPACITAÇÃO DA LT

5.1 Execução dos reforços estruturais

Devido à pouca quantidade de reforços que se fez necessária, os mesmos foram executados com a LT ainda energizada, o que propiciou grande otimização do tempo de desligamento requerido para as etapas seguintes. As demais etapas da recapacitação foram realizadas com o desligamento da LT por um período determinado e com a respectiva aprovação do Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

5.2 Definição dos tramos de nivelamento

A definição dos tramos de nivelamento para as condições do retensionamento deu-se de maneira similar à utilizada na implantação de linhas novas, com as estruturas de início e fim de cada tramo estaiadas ao solo através de cabos de aço. Os estaiamentos provisórios foram executados pelo método tradicional de utilização dos chamados “mortos”, empregando-se blocos de concreto para tal fim.

5.3 Posicionamento das emendas dos condutores

Durante a retirada dos amortecedores de vibração e substituição dos grampos de suspensão pelas roldanas de nivelamento, foi verificado o posicionamento das emendas, de modo a se evitar que, com as operações de retensionamento, as mesmas passassem pelas roldanas ou ficassem a menos de 15 metros das estruturas.

5.4 Retensionamento dos cabos condutores

O retensionamento dos cabos condutores foi executado por meio de procedimentos convencionais, sem o emprego de equipamentos pesados ("puller" e freio), apenas com o uso de blocos de concreto para estaiamentos provisórios, tirlfor, "come along", cabos de aço, cordas de nylon, etc.

Os trabalhos de retensionamento foram realizados tramo a tramo, sendo que as estruturas de ancoragem localizadas nos extremos de cada tramo receberam estaiamentos provisórios executados através de blocos de concreto de 2,5 toneladas posicionados sob cada fase. Adicionalmente, foram estabelecidos subtramos de nivelamento, nos quais os cabos condutores foram regulados segundo as novas flechas estabelecidas nas tabelas de regulação e grampeamento elaboradas para fins do retensionamento.

As estruturas de suspensão localizadas nas extremidades de cada subtramo de nivelamento também receberam estaiamentos provisórios, propiciando a nova regulação dos condutores e a transferência do excesso de cabo para o subtramo seguinte, até o corte desse excesso na posição de grampeamento da estrutura de ancoragem do final do respectivo tramo.

Resumidamente, as atividades de retensionamento tiveram a seguinte sequência:

- a) retirada dos amortecedores de vibração existentes;
- b) desgrampeamento e transferência dos cabos para as roldanas de nivelamento;
- c) regulação dos condutores com as novas flechas estabelecidas para o EDS de 20%;
- d) retirada das roldanas e regrampeamento dos condutores;
- e) substituição das cadeias de suspensão por arranjos de semi-ancoragem;
- f) descida das cadeias de ancoragem nas estruturas finais de cada tramo, corte do excesso de cabo e substituição dos grampos de ancoragem, seguindo-se a subida das cadeias para suas posições de origem;
- g) instalação dos novos amortecedores de vibração.

Cabe destacar que todas as operações relacionadas aos trabalhos de retensionamento foram executadas com o máximo de segurança, sendo que todas as intervenções nos condutores foram precedidas de aterramentos provisórios às estruturas.

A Figura 4 ilustra uma praça de regulação dos cabos condutores e as operações em uma das fases da LT.



Figura 4 – Praça de regulação dos condutores

5.5 Instalação das cadeias de semi-ancoragem

De modo a propiciar condições adequadas e maior facilidade nos trabalhos de substituição das cadeias de suspensão por cadeias de semi-ancoragem, procedeu-se de forma a escolher estruturas localizadas o mais próximo possível do meio dos subtramos de nivelamento.

Nos vãos a ré e a vante das estruturas em questão, os cabos condutores foram equipados com esticadores presos a catracas, fazendo-se o tracionamento simultâneo dos cabos de aço auxiliares para afrouxamento dos condutores sobre as roldanas, procedendo-se ao corte dos condutores de modo que o comprimento da parte cortada fosse precisamente igual ao dos ramos horizontais dos arranjos de semi-ancoragem, mantendo-se assim os parâmetros de nivelamento. Em seguida foram retiradas as roldanas, montados os balancins das cadeias de semi-ancoragem, descendo-se os condutores já cortados para prensagem dos grampos de ancoragem e instalação dos isoladores.

O içamento de cada uma das fases foi feito através de roldanas e reenvios, com trator, cuidando-se para que, durante a operação, não fossem introduzidos esforços transversais não previstos nas hipóteses de montagem. As fases grampeadas foram então conectadas ao balancim, fechando-se os jumpers e retirando-se os aterramentos provisórios.

A Figura 5 ilustra o estaiamento das mísulas, os aterramentos necessários para substituição dos grampos por roldanas e o dispositivo para alívio das cadeias.

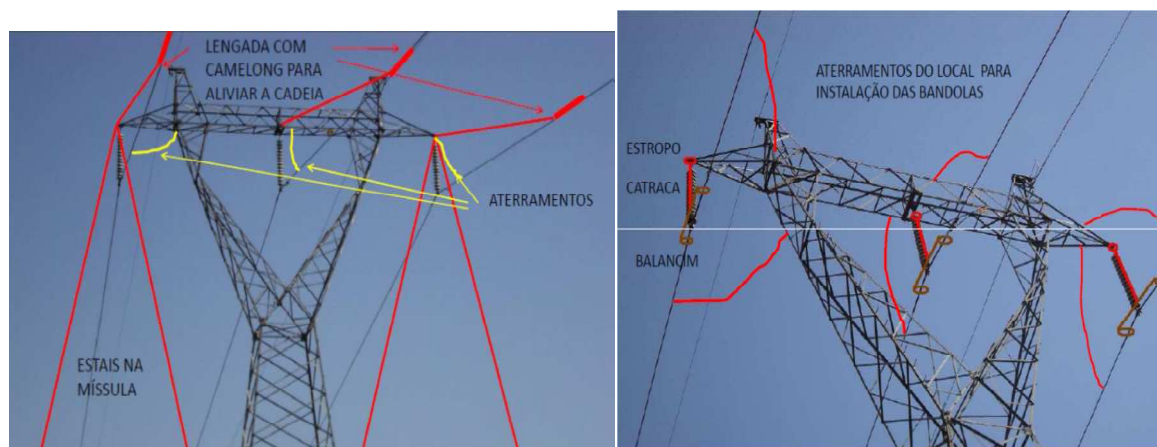


Figura 5 – Preparativos para substituição das cadeias de suspensão por semi-ancoragens

5.6 Comissionamento e serviços finais

Após as etapas específicas do retensionamento, todos os vãos foram inspecionados para verificar se as flechas estavam corretas, em especial nos vãos de travessias. Também foram recuperadas as áreas de trabalho, retirados restos e sobras de materiais utilizados, regularizados terrenos e providenciado o replantio da vegetação afetada durante os trabalhos.

6.0 CONCLUSÕES

Os resultados obtidos com a recapacitação da LT 230 kV Coxipó - Nobres, utilizando-se a metodologia de retensionamento ou retracionamento dos cabos condutores, foram amplamente satisfatórios sob os pontos de vista técnico e econômico, resultando num custo final de, aproximadamente, R\$ 1,8 milhão apurado no contrato de empreitada.

Ressalta-se que, considerando um maior aproveitamento das ferragens e acessórios do que se supunha inicialmente e a não necessidade de reforços nas fundações e no sistema de aterramento das estruturas, houve um ganho em prazo de execução e em recursos financeiros (R\$ 2,6 milhões) em relação ao previsto nos estudos iniciais que apontaram para esta alternativa. Houve também sensível mitigação dos impactos ao meio ambiente.

Finalmente, enfatiza-se a simplicidade de execução da recapacitação pela técnica de retensionamento dos cabos condutores, que não exigiu a utilização de equipamentos pesados, como “puller” e freio, não tendo sido reportadas quaisquer dificuldades nos trabalhos realizados em campo, e resultou em importante aumento na capacidade de transmissão da LT.

7.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) IEC-INTERNATIONAL ELETROTECNICAL COMMISSION-Publicação n° 60826.

(2) IEEE – Guide to Grounding During the Instalation of Overhead Transmission Line Conductors STD 524 - 1993.

(3) ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 5422 - Projeto de Linhas Aéreas de Transmissão de Energia Elétrica – 1985.

(4) ABNT-ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – NBR 8850 - Execução de Suportes Metálicos Trelaçados para Linhas de Transmissão– 1985.

8.0 DADOS BIOGRÁFICOS



***Gastão Adolfo Oncken** – Nascido em São Paulo-SP em 1951, formou-se engenheiro eletrotécnico pelo Mackenzie em 1978. Pós-graduado em Saúde Pública pela FSP- USP em 1999. Atua desde 1978 na área de projeto e construção de empreendimentos de energia elétrica, participando em trabalhos para diversas concessionárias de energia elétrica do país. Como diretor técnico da KAC Engenharia desde março de 2002, presta serviços de consultoria de projeto de linhas de transmissão à Eletrobras Eletronorte, onde atua também nas auditorias internas da qualidade e no grupo de trabalho do banco de dados orçamentários GTBDO/Eletrobras.



Marcos César de Araújo – Nascido em Santos/SP em 1957, graduou-se em Engenharia Elétrica em 1981 pelo Instituto Superior de Educação Santa Cecília, atual Universidade Santa Cecília, em Santos. Sempre atuando na área de projetos de linhas de transmissão, trabalha desde 1987 na Eletrobras Eletronorte, participando de diversos e importantes empreendimentos do setor elétrico. Desde 2003, exerce o cargo de gerente da área de projetos de linhas de transmissão da Eletrobras Eletronorte.



Mario Noboru Takai – graduou-se em Engenharia Elétrica em 1974, pela Escola Politécnica de São Paulo-USP. Trabalhou 15 anos como engenheiro de projetos de linhas de transmissão na THEMAG Engenharia. É funcionário de carreira da Eletrobras Eletronorte desde 1989, onde trabalha na Área de Projeto de Linhas de Transmissão - EETL.



Rogério Antônio Carneiro Favoretto – graduado em Engenharia Elétrica em 1982, pela Universidade Federal de Goiás. Trabalhou na Embrace Ltda. como engenheiro de obras na construção de subestações e linhas de transmissão até 1991. De 1992 a 2007, trabalhou na Centrais Elétricas de Goiás S.A. como engenheiro de projetos de linhas de transmissão. A partir dessa data é sócio e diretor técnico da Cristal Consultoria e Projetos Ltda onde atua na área de engenharia de linhas de transmissão.



Erivelto Gomes Reguero – Atuando na área de construção e montagem de linhas de transmissão desde 1973, atualmente é funcionário da Eletrobras Eletronorte, onde trabalha na Área de Projeto de Linhas de Transmissão - EETL.