



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

GLT-01  
19 a 24 Outubro de 2003  
Uberlândia - Minas Gerais

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

**NOVA LT – UM NOVO CONCEITO DE LINHA DE TRANSMISSÃO**

**Hildebrando Cândido Coelho\*  
Sinergia E C Ltda**

**RESUMO**

Uma nova concepção de linha de transmissão, na qual as fases condutoras são suspensas dos cabos de aço e não das torres, como na linha convencional, permite a eliminação de obstáculos técnicos que impediam uma real compactação das fases condutoras. A nova linha de transmissão - Nova LT- apresenta, ainda, uma maior confiabilidade mecânica, maior capacidade de transmissão e menor faixa de servidão.

**PALAVRAS-CHAVE**

Linha de transmissão. LT de Alta e Extra Alta Potência. Nova concepção de LT. Linha compacta. LPNE. Nova LT

**1.0 - HISTÓRICO**

No Brasil, a busca de novas concepções de linhas de transmissão é constante. O desafio de transportar maiores potências a maiores distâncias é permanente em um país tão grande. As fontes geradoras de energia elétrica ficam cada vez mais distantes dos centros consumidores. Desde o início dos anos 70, com o surgimento das primeiras linhas de 500 kV, os projetistas e construtores têm inovado criando novos desenhos de torres. Em 1974 a CEMIG projetou a primeira linha estaiada para atender ao Projeto São Simão. A partir daí, os projetos foram sendo otimizados e surgiram: a estrutura estaiada modular, a torre "Chainette", a "Cara de Gato", o mastro único estaiado, chegando à "Cross-rope".

Uma análise da tendência destas mudanças revela a intenção de buscar soluções de menor custo, maior

facilidade de construção e manutenção, e, principalmente, a compactação da linha, ou seja, um "desenho" no qual as fases se aproximem ao máximo.

No início da década de 80, o Brasil procurou importar da Rússia a tecnologia da chamada Linha de Potência Elevada – PNE. O básico desta concepção de linhas é a procura de linhas de transmissão na qual os condutores estejam arranjados de maneira a aproximar ao máximo as fases e, ao mesmo tempo, afastar os condutores dentro de cada fase.

A primeira e inovadora experiência de expandir os subcondutores de uma mesma fase foi feita pela CHESF, projetando linhas de 230 kV com fases verticalmente expandidas, aproveitando as facilidades de torres e distâncias de um projeto originalmente em 500 kV.

No sentido de aproximar as fases, há o projeto da Eletronorte, a estrutura "Cross-rope", quando o mastro da torre estaiada convencional foi substituído por um cabo de aço e as fases estão suspensas deste cabo.

Todos estes esforços têm em comum um objetivo e um obstáculo até então intransponível: o objetivo é o de aproximar ao máximo as fases, e o obstáculo é o comprimento incontrolável dos vãos. Linha compacta é possível quando os vãos são pequenos e uniformes, mas isto só acontece em áreas urbanas e onde não há travessias.

\* Hildebrando Cândido Coelho – Rua Santa Catarina, 1011 apt 501 - Bairro de Lourdes  
CEP 30170-080 - Belo Horizonte - MG - BRASIL  
Tel.: (031) 3337-9096 - E-MAIL: hccoelho@uai.com.br

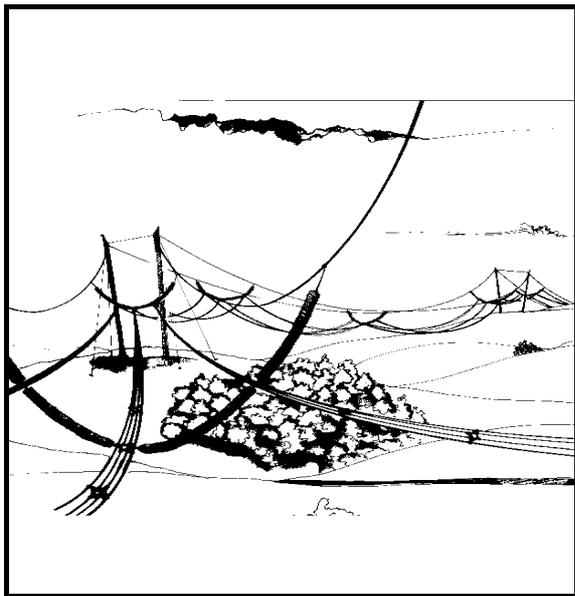
## 2.0 - CONCEPÇÃO DA NOVA LT

À procura de uma linha de transmissão que eliminasse o grande inconveniente dos vãos maiores, o autor percorreu um longo caminho de pesquisa em nível de projeto.

No início foi tentada a utilização do cabo pára-raios como ponto de suspensão auxiliar no ponto médio do vão. Isto exigia um estudo sobre o novo papel como componente mecânico dos cabos pára-raios e sua repercussão no projeto das estruturas. Exigiria, ainda, isoladores de pequeno peso. Os isoladores já são disponíveis no mercado. O novo projeto dos cabos e estrutura também não apresentou maiores problemas. Assim ficariam reduzidos à metade os comprimentos dos maiores vãos.

Um estudo posterior mostrou as vantagens da eliminação da torre como um ponto obrigatório de suspensão, utilizando os cabos de aço como elementos de suspensão preferencial e a definição de pontos de suspensão distantes entre si, livres para definição do projetista. Uma versão estudada define os vãos com comprimento uniforme perto de duzentos metros.

A solução encontrada está visualizada no desenho a seguir (Figura 1)



**Figura 1 - Vista paisagem da linha**

## 3.0 – DESCRIÇÃO DA LINHA

A Nova LT é uma linha de transmissão em que os cabos condutores são suspensos de cabos de aço que, por sua vez, se sustentam das torres. Assim, torres suportam cabos de aço, a partir dos quais são suportados os cabos condutores. Quatro (bastões) isoladores sustentam e mantêm o isolamento entre as fases.

Os suportes são mastros, preferencialmente estaiados, e ficam externos às fases; os cabos de aço são cordoalhas de aço EHS, os isoladores fase-terra e fase-fase são de material polimérico e as fases condutoras formadas de um número livre de cabos de alumínio.

Os cabos de aço, além da função de componentes mecânicos, continuam a dar cobertura à linha contra descargas atmosféricas.

Ficam definidos dois tipos de vãos: os vãos para os cabos de aço, definidos pela distância entre duas torres consecutivas, e os vãos para os condutores, definidos pela distância entre os conjuntos isolantes de suspensão.

Nota: a versão estudada tem o porte de linhas de 345 a 765 kV, com 3 a 12 condutores por fase.

## 4.0 – RESULTADOS OBTIDOS

A linha de transmissão assim definida tem as seguintes características gerais:

a – Uma linha compacta, porque os pequenos vãos dos condutores e as suas pequenas flechas permitirão a máxima aproximação das fases condutoras;

b – Condutores com pequenas exigências mecânicas e leves, porque os pequenos vãos permitirão trações bem menores que as atuais e que os condutores sejam tipo CA – Cabos de Alumínio em lugar dos atuais cabos CAA – Cabos de Alumínio e Aço.

c – Configuração interna das fases livre e fácil, devido às pequenas cargas verticais nos pontos de suspensão. Assim ficarão viáveis as fases circulares de grande diâmetro ou de configuração assimétrica, propostas nos estudos de LPNE;

d – Pequenas cargas nos pontos de suspensão permitirão “balancins” ou duplicadores e grampos mais leves;

e – Os isoladores ficarão sujeitos a cargas mecânicas bem menores, devido aos pequenos vãos de cabos CA. Em comparação com uma linha convencional com o mesmo número de condutores, estas cargas serão até quatro vezes menores.

f – Cargas relativamente pequenas nos isoladores permitirão o aumento do número dos subcondutores e o aumento da seção condutora da fase;

g – Maior confiabilidade mecânica porque o compromisso mecânico ficará concentrado nos cabos de aço, que serão cordoalhas de aço EHS de 37 fios ou similar, eficientes e altamente confiáveis, e nos mastros estaiados.

Os condutores, isoladores, ferragens, acessórios e emendas estarão sujeitos a cargas reduzidas à metade das atuais;

h – Faixas de servidão bem menores que as atuais, devido à conjugação dos fatores de aproximação das fases e relativa rigidez quanto ao balanço do conjunto cabos de aço e cabos condutores;

i – Menores campos elétricos sob a linha e nos limites da faixa, devido à compactação das fases;

j – Melhor desempenho dos cabos de aço contra a incidência de descargas atmosféricas, devido ao melhor ângulo de cobertura. Cordoalhas de aço com 30 mm de diâmetro apresentarão melhor desempenho também nos aspectos de corrente de retorno de falhas e resistência ao rompimento de fios individuais, devido a incidência de raios.

k – Redução ou desaparecimento da vibração eólica devido aos pequenos vãos e tensões reduzidas nos condutores. Os cabos de aço com as cargas concentradas a cada ponto de suspensão dos vãos dos condutores, também não deverão apresentar problemas de vibração;

l – A distância cabo – solo apresentará pequenas variações que serão devidas à variação da flecha do cabo de aço de sustentação, cuja temperatura só variará com a temperatura ambiente, e a variação da flecha do condutor, que será reduzida devido aos pequenos vãos.

## 5.0 – CONSTRUÇÃO E MANUTENÇÃO

Sobre o aspecto operativo mecânico o conjunto torre - cabos de aço reagirá com muita eficiência. Os cabos de aço serão ancorados em cada mastro. Os mastros serão submetidos a cargas axiais, exceto quanto ao vento direto, e os cabos de aço submetidos às cargas de tração, condição nas quais apresentam maior eficiência. Os conjuntos isolantes, duplicadores e os próprios cabos condutores serão privilegiados pelos pequenos vãos e pequenas cargas individuais.

A construção será iniciada com a montagem das estruturas, lançamento e esticamento dos cabos de aço.

O lançamento dos cabos condutores será facilitado devido à baixa tração e por serem facilmente alçados pelos cabos de aços. Assim os lançamentos sobre as travessias, obstáculos e vãos longos serão mais fáceis. Os condutores serão lançados em conjuntos e depois separados e grampeados em fases.

A regulagem será facilitada pelos vãos pequenos, uniformes e devido à baixa tensão mecânica dos condutores.

O conjunto cabos de aço - cabos condutores apresentará uma maior rigidez para balanços do vão. Isto facilitará alguns aspectos de manutenção e dificultará o eventual toque em obstáculos fora da faixa. O corte de árvores de grande porte fora da faixa de servidão será bem menor do que o exigido pelas linhas convencionais.

A hipótese mecânica do “cabo rompido” deixará praticamente de existir porque o elemento mecânico ativo passará a ser um cabo de aço, EHS, com grande número de tentos e elevada confiabilidade.

A manutenção preventiva e corretiva será privilegiada pela menor ocorrência de problemas devido às

soluções mecânicas e elétricas simples e eficientes. As necessidades de intervenção serão menos frequentes.

A manutenção em linha morta será facilitada pela possibilidade de “descida” das fases até um nível próximo ao solo, usando os próprios cabos de aço como sustentação.

A linha apresentará um melhor desempenho na improvável queda tipo “cascata”.

Em casos de acidente a recomposição da linha será muito mais rápida.

Os estoques de manutenção serão menores devido à uniformidade dos componentes, e mais facilmente gerenciados.

## 6.0 – CARACTERIZAÇÃO FÍSICA DA LINHA

Consideremos uma linha de 500 kV, estruturas estaiadas, quatro cabos “Magnolia” CA 954 mm<sup>2</sup>.

A configuração física de uma linha típica seria a seguinte:

O suporte constituído de dois mastros de 38 metros, com bases independentes e afastadas entre si de 20 metros e inclinados 8° para fora. Os mastros são estaiados por quatro cabos de cordoalhas de aço galvanizados de diâmetro 22 mm. Como a carga que atua sobre ele é idêntica ao de uma linha convencional, o peso por quilômetro seria de 14 t/km. Os vãos entre estruturas têm em média 450 metros. O mesmo tipo de estrutura atende facilmente até 1200 metros. Há grande possibilidade de que a série se limite a um tipo único de estrutura, cobrindo as necessidades de suspensão, ângulos e terminal.

Os cabos de sustentação das fases são de cordoalhas de aço galvanizado de 25 mm, apoiados no topo dos mastros. Eles desenvolvem trechos de catenária entre os pontos de suspensão dos cabos.

Ao longo destes cabos, a uma distância média e uniforme de 200 metros, suspendem-se os isoladores poliméricos, classe 120 kN, que sustentam o conjunto das fases. Dois outros isoladores fase-fase mantêm as três fases a uma distância definida. Este conjunto isolante desenvolve também uma catenária cujos pontos de sustentação são os cabos de aço. Dentro destas catenárias as fases estão em configuração triângulo equilátero com lado de 6,20 metros. É interessante notar que pela primeira vez não é a torre que define a geometria das fases.

As fases condutoras ficam assim suspensas em vãos de 200 metros, e independentes das distâncias entre duas estruturas consecutivas. A geometria interna da fase é circular, embora haja facilidade para desenhos variados, que como na teoria das LPNE, otimizem a densidade de corrente nos cabos. Os cabos condutores estão tracionados com EDS de 16% e flechas de 5 metros.

No caso de uma linha de 765 kV com 6 cabos "Carnation" CA 725 mm<sup>2</sup>, os mastros têm 41 metros, o cabo dos estais tem 25 mm de diâmetro, o cabo de sustentação tem 29 mm, os isoladores são da classe 180 kN, e as fases estão distanciadas a 8,0 metros.

## 7.0 – PREVISÃO DE GANHOS

Ganho de 10 a 15% para 500 kV e 20% para 765 kV nos custos no parâmetro "(energia x distância)/ investimento".

Ganho de 40% no item "energia transmitida / faixa de servidão".

Viabiliza linhas com maior número de subcondutores e potências hoje inatingíveis.

Maior confiabilidade mecânica

Menos frequente e mais fácil manutenção.

Menor campo elétrico e eletro-magnético.

Se comparada com uma linha convencional autoportante 500 kV com quatro condutores por fase, podemos estimar ganhos de: 15% no custo das estruturas; 7% nos condutores (CA em lugar de CAA); 40% no custo da faixa; 20% na construção; e 30% na manutenção. Devido ao maior número de cadeias isolantes, haverá um acréscimo no custo das ferragens de cadeias de 70%; nos isoladores, 90%; e cabo pára-raios, 200%.

Se comparada com uma linha de 765 kV com seis condutores, por exemplo, os ganhos serão maiores: 20% nas estruturas; 9% nos condutores; 45% na faixa; 25% na construção; e 35% na manutenção. O acréscimo no custo das cadeias chegará a 20%, 30% nos isoladores e 200% no cabo pára-raios.

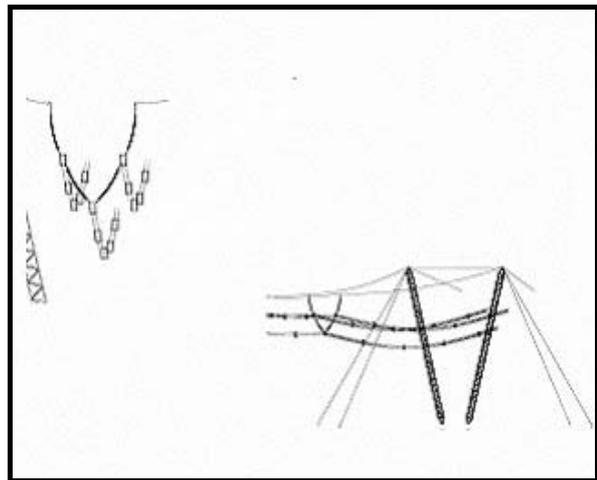
A razão destes ganhos maiores deve-se ao maior porte físico destas linhas. Nas linhas convencionais há desafios técnicos e na Nova LT não os há.

Há a perspectiva da redução de 5% no custo total da linha pela eliminação de pelo menos 90% das estruturas de ancoragem.

Faixa física estimada em 20 e faixa elétrica de 45 metros em lugar das atuais 40 e 80 para linhas de 500 e 765 kV.

Ganhos expressivos para "corredores" de duas ou mais linhas devido à facilidade de compactação do conjunto de linhas. A distância entre eixos de linhas paralelas poderá chegar a 20 metros.

Projeto, compras, transporte, armazenamento, construção e manutenção facilitadas, devido à simplicidade, pequena variedade e padronização dos componentes.



**Figura 2 Vista de Detalhes**

## 8.0 – ESTÁGIO ATUAL DO DESENVOLVIMENTO

Os aspectos de projeto eletromecânico já foram vencidos. O autor está em contato com empresas, institutos de pesquisas e universidades, para possível projeto de pesquisa tecnológica e definição dos parâmetros elétricos e testes em escala real.

## 9.0 - PROTEÇÃO DE DIREITOS

Esta Idéia está sob proteção com Pedido de Privilégio junto ao INPI

## 10.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Alexandrov, George N., Novos Meios de Transmissão de Energia Elétrica em Sistemas de Potência; Ed Universidade de Leningrado, 1987 (Trad. Prof. J.R. Teodosio).
- (2) Guimarães, R. P. e outros, Estrutura Compacta Tipo Cross-Rope para Linhas de Transmissão; XVI SNPTEE, Campinas, SP.
- (3) White, H. Brian, Understanding High Voltage Line Design; Curso na Universidade de Wiconsin, 1995