

# Tecnologia para repotencialização das linhas transmissão urbanas da eletropaulo – com redução de custos e aproveitamento da infraestrutura

Lígia Maria R. Mendes ; Ivo T. Domingues; Julio C. R. Lopes

Sergio Anauate; Sergio L. S. Cabral; Walter Pinheiro

## Resumo

Face ao significativo desenvolvimento das grandes cidades brasileiras nas últimas décadas, vem se tornando cada vez mais necessário o transporte de grandes blocos de potência em áreas urbanizadas. O crescimento da carga na área de concessão da ELETROPAULO exigirá da empresa nos próximos anos, grandes investimentos no aumento da capacidade do seu sistema de subtransmissão (88/138kV).

Os custos proibitivos dos sistemas subterrâneos nestas classes de tensão e as grandes dificuldades presentes para implementação de novas linhas de transmissão aéreas urbanas, especialmente devido às dificuldades para se conseguir novas faixas de servidão e o elevado custo associado, além dos fatores de restrições ambientais existentes e a escassez de recursos para novos investimentos, têm levado as concessionárias brasileiras, em especial a ELETROPAULO, investir na pesquisa de novas soluções que possibilitem o aumento na capacidade de transmissão de suas linhas de 88/138kV existentes, com o aproveitamento máximo da infraestrutura existente.

O aumento da capacidade de transporte de uma linha de transmissão existente, por sua vez, é um processo que exige a pesquisa de uma série de alternativas e soluções que permitam determinar, para cada caso específico, a solução que obedeça a um compromisso de otimização técnico-econômica e seja viável de executar. Por tudo isso, é importante que as concessionárias estudem para a sua situação específica, padrões de linhas até então adotados, as características da sua região de concessão e quais são as melhores soluções.

O principal objetivo desse trabalho é apresentar os desafios e os resultados alcançados no estudo, desenvolvido pela ELETROPAULO no Programa de P&D da ANEEL, para a definição da melhor alternativa técnica e econômica para recapacitação das suas LT's aéreas urbanas, tendo como premissa básica as seguintes diretrizes:

- Necessidade de um aumento de aproximadamente 50% na capacidade de transmissão, de 200 MVA para 300 MVA de uma LT operando em 88/138kV;
- aproveitamento da infraestrutura existente (faixas de passagem, estruturas e fundações), o máximo possível;

- manutenção das condições de segurança;
- execução dos serviços de melhoria com o mínimo tempo de desligamento;
- necessidade de atender às demandas da população no que se refere aos riscos decorrentes dos efeitos dos campos eletromagnéticos (compatibilidade eletromagnética), devido à proximidade das LT's com edificações urbanas.
- obtenção de soluções com redução de custos de implantação em relação às linhas aéreas convencionais.

Os requisitos acima, muitas vezes conflitantes entre si, foram avaliados de um ponto de vista global do projeto da linha de transmissão, desenvolvendo-se um programa de pesquisa específico contemplando alternativas inovadoras tanto do ponto de vista de materiais, como de metodologia de execução dos serviços.

O trabalho apresenta, também, a adequação de um trecho de linha existente (piloto) com o uso das tecnologias selecionadas, comentando os benefícios, bem como, a avaliação comparativa do comportamento em campo de uma linha de transmissão urbana típica da Eletropaulo, antes e após a implantação dessas modificações, frente às condições operativas e ambientais da região de instalação, principalmente no que se refere: perdas, distância de segurança (flecha da LT sob diferentes condições de carregamento), compatibilidade eletromagnética (devido à proximidade das LT's com as edificações urbanas) etc.

## METODOLOGIA DE PESQUISA ADOTADA

- LEVANTAMENTO DA SITUAÇÃO ATUAL:** Levantamento de dados da situação existente (materiais utilizados, restrições de ocupação do solo, dificuldades de manutenção), análise e avaliação dos critérios de projeto e de operação hoje utilizados, definição dos valores desejáveis de desempenho e análise de risco das instalações existentes e levantamento bibliográfico de referências de soluções já implantadas internacionalmente.
- PESQUISA DE TECNOLOGIAS DISPONÍVEIS:** Levantamento das tecnologias e

materiais disponíveis e passíveis de utilização no curto prazo (incluindo cabos, isoladores e estruturas), avaliação de soluções de compactação das linhas.

- c) **DEFINIÇÃO DE SOLUÇÕES E ANÁLISE DE VIABILIDADE:** Definição das soluções possíveis e análise de viabilidade das mesmas, buscando determinar a de melhor relação custo-benefício. Análise da exequibilidade prática da mesma, com avaliação dos riscos envolvidos. Serão pesquisadas soluções com cabos fabricados com diversos materiais (como alumínio de alta resistência mecânica e alumínio termo resistente), soluções de modificação geométrica e mecânica das estruturas para as novas configurações e soluções de isolamento (como isoladores poliméricos ou configurações compactas de cadeias).
- d) **EXECUÇÃO DE ENSAIOS EM LABORATÓRIO:** Os produtos que apresentarem inovação em termos de materiais, processos de fabricação ou comportamento operacional, serão submetidos a ensaios de laboratório para confirmação de suas características.
- e) **DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UM PROJETO PILOTO:** Com base nos resultados obtidos nos itens anteriores será selecionada a solução mais viável para atender aos critérios de desempenho desejados. Esta solução terá seu projeto desenvolvido para uma linha-piloto e será implantada para execução de ensaios operacionais e de manutenção.

## ESTADO DA ARTE EM TECNOLOGIA DE LINHAS URBANAS

Os resultados dos levantamentos efetuados na Etapa 1 e descritos na Nota Técnica 1 “Estado da Arte das Técnicas Utilizadas Para Recapitação de Linhas Aéreas de Transmissão Urbanas”, mostraram principalmente que as principais técnicas tradicionalmente utilizadas, no Brasil e no restante do mundo para aumentar a capacidade de transmissão de uma linha urbana existente não atendem algumas das principais premissas básicas descritas acima, sendo elas:

- **Aumento da tensão de operação:** *para a viabilidade dessa solução é necessário que as estruturas existentes e a faixa de servidão permitam manter as distâncias de segurança para a nova tensão de operação. A sua implantação implica na necessidade do reisolamento da linha, e substituição dos equipamentos das subestações, inclusive transformadores, o que a torna uma solução de custo muito elevado.*
- **Construção de uma nova linha:** *este tipo de solução (que pode ser compacta ou convencional), além de ser altamente dispendiosa, para a sua viabilidade é necessário que exista uma nova faixa de servidão disponível ou que seja possível sua construção na faixa existente.*
- **Troca dos condutores por outros de maior seção:** *esta solução implica, na grande maioria dos casos,*

*na necessidade de reforçar ou substituir algumas das estruturas existentes, para que possam suportar os novos esforços mecânicos, além de introduzir novas estruturas para manter as distâncias de segurança.*

Todos estes métodos mostraram ser altamente dispendiosos, uns mais, outros menos, na medida em que exigem intervenções nas estruturas existentes, sendo contrário, portanto, às premissas básicas desse projeto de P&D, principalmente no que se refere ao: **“Aproveitamento da infraestrutura existente (faixas de passagem, estruturas e fundações), o máximo possível”.**

## ANÁLISE DOS CABOS CONDUTORES

A solução atualmente adotada pelas concessionárias japonesas para recapitação das suas LT's com o uso de condutores que utilizam ligas de alumínio termorresistentes, cujas características de recozimento e fluência em altas temperaturas foram significativamente melhoradas em relação ao alumínio 1350, normalmente utilizado pelas concessionárias brasileiras, é a melhor solução técnica e econômica para fazer frente às necessidades das LT's da Eletropaulo.

Estes condutores podem operar em regime contínuo de trabalho em temperaturas acima de 100°C, atingindo, para alguns tipos de liga, temperaturas limites de até 230 °C sem que haja deterioração das suas características mecânicas como tração, alongamento e dureza, tornando possível, aumentar em muito a capacidade de condução de corrente em regime permanente, comparativamente aos cabos de alumínio de mesma seção. Acrescenta-se ainda o fato de que estas ligas também igualam ou superam o alumínio de uso comum em termos de resistência à tração, resistência à fadiga mecânica e a corrosão.

Nesse ponto da pesquisa ficou claro que a solução a ser adotada seria o uso de cabos de alumínio termorresistente de mesma seção do condutor existente. O resultado do estudo mostra ainda que a melhor alternativa técnica e econômica que atende as principais premissas básicas desse projeto, ou seja: proporcionar aumento de aproximadamente 50% na capacidade de transmissão com o máximo aproveitamento da infraestrutura existente (faixas de passagem, estruturas e fundações); propiciar a execução dos serviços de melhoria com o mínimo tempo de desligamento; com o menor custo possível, é o cabo de alumínio termorresistente de mesma seção em liga 60 Tal (TACSR).

Ressalta-se, no entanto, que esse cabo construído com liga de alumínio termorresistente operando em regime contínuo na sua máxima temperatura (150 °C), tem sua máxima flecha superior à correspondente do condutor de alumínio operando na sua temperatura máxima (90 °C). Vale dizer que se a LT a ser recapitada possuir vãos cujas distâncias de segurança cabo-solo se encontram críticas com o cabo de alumínio, continuarão com o mesmo problema ou até mesmo terão esse problema acentuado com o cabo com alumínio termorresistente.

Para solucionar esse problema, os resultados, também constantes na referida Nota Técnica 2 apontam como solução atraente a alteração do material da alma de aço

do cabo de ACSR para alma de aço Invar. Trata-se de uma liga de aço cujo coeficiente de dilatação corresponde a  $\frac{1}{4}$  (um quarto) do aço convencional o que permite assegurar as distâncias de segurança mesmo com o aumento de temperatura do cabo. Isto é conseguido, pois, a partir de uma certa temperatura denominada temperatura crítica (ao redor de 100°C), a dilatação maior dos fios de alumínio faz com que toda a carga mecânica do cabo seja suportada somente pela alma de aço Invar e assim a dilatação do cabo é bastante reduzida, reduzindo-se, portanto, o aumento da flecha. O cabo de alumínio termorresistente com alma de aço Invar tem a denominação de TACIR.

Ficaram evidenciadas assim as grande vantagens técnica e econômica do uso de cabos TACSR/TACIR como solução para a recapacitação das linhas áreas urbanas de transmissão da Eletropaulo face as outras alternativas possíveis. De qualquer forma, as características peculiares das LT's da Eletropaulo em zonas urbanas, com densa ocupação comercial e residencial no limite da faixa de servidão, pode exigir soluções complementares no que tange ao isolamento e adaptações estruturais para garantir a segurança e confiabilidade das mesmas, o que foi motivo de estudos realizados nas Etapas 3 e 4 do projeto, respectivamente, "Análise do isolamento" e "Análise de estruturas". Além disso, a temperatura de operação mais elevada exigirá também a avaliação do comportamento dos acessórios em face desta maior solicitação e eventualmente sua adequação, dependendo dos resultados do "Programa de Ensaios".

## ANÁLISE DO ISOLAMENTO

A aplicação das soluções disponíveis às linhas existentes depende de análise da situação específica de cada linha, em particular da largura de faixa disponível, da ocupação do solo sob a faixa, situação das distâncias de segurança condutor-solo nos pontos mais críticos, do tipo de condutor a ser aplicado na recapacitação e da utilização mecânica das estruturas e eventual reserva de capacidade disponível.

Para o caso das Linhas de Transmissão Aéreas Urbanas da Eletropaulo, as seguintes características foram levadas em consideração:

- As linhas têm sérias restrições operacionais de desligamento para os trabalhos de construção.
- As linhas estão construídas utilizando cadeias de suspensão tipo V e cadeias de ancoragem, utilizando isoladores em material cerâmico ou em vidro.
- Os cabos condutores a serem instalados têm as mesmas características geométricas e mecânicas dos cabos existentes, ou seja, não haverá aumento de cargas atuantes nas estruturas e nas cadeias.
- Os cabos condutores a serem instalados permitirão o aumento de capacidade de transmissão sem necessidade de inclusão de novas estruturas.
- A grande maioria das estruturas e suas fundações está próxima de seu limite de utilização mecânica.
- As linhas possuem diversos pontos em que as distâncias condutor-solo encontram-se em condições

críticas, necessitando em algumas situações de correção.

Com base na situação atual das linhas e considerando a solução adotada para o cabo condutor de forma a atender a premissa básica de aproveitar o máximo da infraestrutura existente, foi diagnosticado que a solução de isolamento para as linhas poderia permanecer como em sua configuração original, à exceção dos vãos considerados críticos, onde a distância mínima do condutor ao solo já está comprometendo a sua segurança.

Nesse sentido, efetuou-se uma análise para as seguintes alternativas disponíveis:

- Cadeia de Suspensão em I
- Cadeia de Suspensão em V
- Cadeia de Suspensão em V assimétrico
- Cadeia de Suspensão em L
- Cadeia de Ancoragem
- Cadeia de Ancoragem Suspensa ou Semi-Ancoragem
- Cruzeta Isolante Rígida
- Cruzeta Isolante Articulada em V

Para caso de uma Linha típica de Transmissão Aérea Urbana da Eletropaulo a solução de menor impacto executivo e de custo é a transformação das cadeias de suspensão em cadeias de ancoragem, permitindo assim elevar o condutor em aproximadamente 1,8m (o correspondente ao comprimento da cadeia de suspensão) eliminando assim os pontos críticos de clearance.

Quanto aos materiais dos sistemas isolantes verificou-se que o uso de isoladores poliméricos vem apresentando um aumento considerável, especialmente em linhas urbanas operando na faixa de tensão de 138kV, particularmente pela facilidade de manuseio, menor peso, menos atratividade ao vandalismo e maior compactação das soluções como um todo. Pesa em seu desfavor o custo mais elevado, que, no entanto, vem diminuindo em função do aumento de escala de uso e da maior simplicidade das cadeias e conectores quando se analisa o conjunto.

Porém, com a solução de troca do cabo condutor ACSR por outro de mesma bitola tipo TACSR combinado à alternativa com alma de aço INVAR nos trechos mais críticos no que se refere às distâncias de segurança ao solo, foi possível reduzir ao mínimo a intervenção sobre os sistemas de isolamento da linha, sendo necessário em algumas situações apenas à troca de algumas cadeias de suspensão por cadeias de ancoragem, o que é uma operação bastante convencional para execução. Desta forma, a solução adotada é a de menor custo global e a mais viável do ponto de vista de logística de implantação.

## ANÁLISE DAS ESTRUTURAS

O estudo do aumento da capacidade de transporte das linhas de transmissão existentes no sistema da

Eletropaulo tem como premissa fundamental o máximo aproveitamento da infraestrutura existente sem comprometer a segurança operacional, o desempenho da linha e as restrições ambientais.

Considerando o tempo de vida das estruturas existentes, apesar das soluções propostas para condutor e de isolamento não aumentarem as cargas atuantes nas estruturas, foi efetuada a verificação da segurança das mesmas para as solicitações impostas pelas novas condições de aplicação da LT, levando em consideração dados mais recentes que possam eventualmente refletir eventuais mudanças das características ambientais ocorridas, em relação àquelas empregadas no projeto original (projeto com mais de 25 anos), como por exemplo: coeficientes de rugosidade do terreno, velocidades básica do vento, aumento de temperatura, e outras que possam implicar em alterações nos carregamentos.

Para tanto, foi elaborado um procedimento específico, cujas ações principais estão relacionadas a seguir:

#### a) Levantamento de dados

#### b) Determinação das cargas e respectivos diagramas

Com o objetivo de utilizar dados mais atuais, foram empregadas as indicações das normas NBR 5422 e IEC 826 para o cálculo de novos diagramas de carregamentos.

#### c) Metodologia de verificação da estrutura

Com base nos diagramas de carregamento foram determinados os esforços em cada barra e ligação da estrutura por meio de um programa de computador específico que considera a estrutura como uma treliça espacial e, utilizando análise matricial, aplica o método dos deslocamentos para o cálculo.

Com base nestes esforços, e nas características físicas das barras do grupo (geometria e tipo do aço), foi efetuada a verificação das barras e ligações da estrutura com base no guia da ASCE.

Em função dos resultados obtidos na análise estrutural poderão ocorrer as seguintes situações:

- **A estrutura encontra-se apta a trabalhar na nova condição de utilização:** ou seja, a verificação mostra que todos os seus elementos estão solicitados com valores dentro dos limites de capacidade para os quais foram projetados e, portanto estarão aptos a operar com a nova condição sem a necessidade de modificações.
- **Alguns elementos da estrutura necessitam de reforços ou adaptações:** no caso podem representar desde a troca de barras ou parafusos, correção do comprimento de flambagem por adição de barras secundárias, troca de material, etc e que representam operações viáveis, de fácil execução e baixo custo. É de fundamental importância neste estudo a análise conjunta do ponto de vista estrutural e de execução da obra, pois é prioritário que a solução proposta seja possível de ser implantada com a estrutura montada e com mínimo risco.

- **A necessidade de reforços é tal que inviabiliza a nova condição de utilização da estrutura:** como nestes casos de recondução sempre existe a agravante de evitar o desligamento prolongado da linha, o reforço pode inviabilizar a operação, ou então o número de barras que necessitem de reforços seja tal, que não compense o trabalho necessário, e nesse caso recomenda-se a inserção de uma nova estrutura que reduza as cargas atuantes na estrutura analisada ou até mesmo a sua substituição por outro tipo mais adequado às cargas.

## ANÁLISE DAS FUNDAÇÕES

Para análise das fundações existentes foi elaborado um procedimento específico, sendo apresentadas a seguir algumas das principais ações:

#### a) Levantamento de dados necessários

- **Características das fundações:** tipo e geometria
- **Parâmetros físicos do solo:** cálculo da tensão admissível do solo com base em resultados de sondagens em pontos escolhidos na área de concessão da Eletropaulo.

#### b) Metodologia para determinação das cargas nas fundações

Os esforços nas fundações foram calculados com o mesmo programa utilizado para a verificação das estruturas metálicas. Foram calculados os esforços máximos de arrancamento e de compressão, bem como as horizontais associadas.

#### c) Metodologia utilizada para verificação das solicitações impostas nas fundações

Foram utilizados programas computacionais que determinam as tensões no solo e os esforços nos elementos estruturais da fundação. As tensões atuantes foram então comparadas com os limites estabelecidos para os materiais e para o solo.

## LINHA PILOTO

De forma a dar uma visão prática para aplicação das metodologias, era previsto pelo projeto a escolha de uma LT piloto para implantação das tecnologias selecionadas/desenvolvidas. Para tanto, foi eleita a Linha de Transmissão Sul – Bandeirantes, com comprimento aproximado de 3,5km, para a qual foi elaborado o projeto básico considerando as alternativas de condutores selecionadas.

### Análise estrutural da linha piloto

Foram considerados os dados reais da linha piloto bem como suas alterações devido às mudanças propostas (ex: vão de peso, flecha, etc.) na determinação dos diagramas de carregamento. Estes dados resumem-se em diagramas de carga do projeto original (fornecidos pela Eletropaulo), silhueta e desenhos de detalhamento das estruturas SA, SB, AA, AB, AC (fornecidos pela Eletropaulo) e lista de construção que é a referência de vãos e ângulos de deflexão da linha.

Para a velocidade máxima de vento foi considerado um período de retorno de 50 anos, e período de integração de 30 segundos para os cabos, e de 2 segundos para as estruturas.

A ação do vento resultou em uma carga unitária de 1,531 kgf/m nos cabos condutores, e de 0,862 kgf/m nos cabos pára-raios.

Nas estruturas a pressão de vento máximo atuante resultou em 80,6 kgf/m<sup>2</sup>, referida à altura de 10 m, este valor foi corrigido em função da altura do centro de gravidade de cada painel considerado para efeito de cálculo.

Para as hipóteses de ruptura dos cabos foi considerado o tempo de maior duração, ou seja, tração em EDS (everyday stress).

Neste projeto os diagramas de carregamentos foram criados de modo a representar todas as possibilidades de cargas que a estrutura possa estar submetida durante sua vida útil e nas fases de construção e manutenção, utilizando a variável “período de retorno da velocidade do vento” como referência no estabelecimento da confiabilidade mecânica requerida para cada estrutura, e empregando-se os fatores de majoração e/ou minoração adequadamente considerados e combinados de forma a dar a segurança necessária para as cargas não determinadas por critérios probabilísticos, conforme recomendado pela NBR 5422.

Para a verificação dos elementos estruturais foi utilizada a norma ASCE 10-97 (“Design of Latticed Steel Transmission Structures”).

Os materiais considerados na verificação estrutural foram:

- Perfis: ASTM A-36 e ASTM A-572 grau 50 (indicado com a letra “H”)
- Parafusos: ASTM A-394

O primeiro procedimento foi comparar os diagramas de carregamento calculados para a situação da recapacitação com os diagramas de carregamento do projeto original e verificada a necessidade ou não de fazer uma análise mais completa a respeito das estruturas, Tendo sido obtidos os seguintes resultados:

- **Estrutura 1SA (suspensão) e Estrutura 1SB/A, AA e AB (ancoragem):** O resultado do cálculo nos permitiu considerar estas estruturas como aptas à nova condição de utilização.
- **Estrutura 1SB (suspensão):** esta estrutura apresentou a alternativa de ser utilizada tanto em suspensão como em ancoragem (para permitir o alteamento dos condutores). Visto que a condição mais desfavorável para a mesma é a de ancoragem, foi realizada análise estrutural e considerada apta para a nova condição de utilização.
- **Estrutura 1SD/A (suspensão):** também é uma estrutura que foi transformada em ancoragem. Em virtude da falta de informações do projeto original (desenhos de fabricação), foi feita uma análise das cargas, onde se verificou que todas elas se mostraram menores que as do projeto original, o que

permitiu aprovar essa estrutura como apta à nova condição de utilização da linha.

- **Estrutura AC (ancoragem):** para o caso desta estrutura constatou-se que a mesma estava sendo utilizada em situação mais desfavorável do que prevista em seu projeto original, motivando a análise detalhada da mesma.

Na verificação notou-se que a estrutura, embora no seu limite de utilização, ainda encontrava-se apta para a nova condição de utilização.

#### **Análise das fundações da linha piloto**

Para análise das fundações da linha piloto foram consideradas as características do projeto original, disponibilizado pela Eletropaulo, onde se destacam as informações:

- Todas as grelhas do trecho foram construídas com laje de concreto na base;
- Em algumas grelhas foram cravadas estacas de madeira sob a sua base;
- Como o documento não continha informação clara do tipo de grelha empregada, utilizou-se a informação da geometria da cava. Para a linha piloto concluiu-se que as grelhas são do tipo II;

Para a Linha Piloto, os seguintes resultados foram obtidos:

- A análise das grelhas metálicas, sem considerar a laje de concreto e as estacas, concluiu que não poderiam ser assim empregadas.
- A análise do tipo de grelha empregada concluiu que as lajes de concreto são necessárias.
- Foram analisados os casos onde houve aplicação de estacas de madeira e concluiu-se que seriam necessárias, sendo o diâmetro mínimo de 25cm para todas as torres, exceto para a torre 1AB, cujo diâmetro mínimo desejável seria 30 cm;
- Concluiu-se pela necessidade da investigação da integridade das estacas de madeira e partes metálicas enterradas;

Como resultado destas análises, algumas recomendações foram sugeridas. Para as grelhas das torres tipo 1AC, deverão ser construídos, no vértice onde se encontram os 4 (quatro) montantes, um bloco de concreto a ser detalhado com dimensões mínimas de 50 x 50 x 50 cm com a finalidade de diminuir o comprimento de flambagem dos montantes, ficando assim compatível com os esforços atuantes.

Foram realizadas investigações de campo como forma verificar as características das estacas de madeira, bem como sua integridade.

#### **PROGRAMA DE ENSAIOS**

Foram realizadas as seguintes atividades:

- Ensaios de tipo nos materiais (cabo termorresistente e INVAR e nos acessórios, de forma a comprovar seu desempenho quando submetido a temperaturas elevadas).
- Sondagens do solo onde está construída a linha piloto e investigação das fundações.
- Campo eletromagnético - considerando que não houve alteração significativa na parte estrutural e de isolamento da linha piloto, foram realizadas as seguintes atividades para esta finalidade:

- Cálculo teórico do campo eletromagnético esperado para a linha piloto utilizando um programa do Laboratório de Eletromagnetismo da EPUSP, especificamente desenvolvido para o cálculo de campos. Foram analisadas as situações de máxima carga nas tensões de 88kV e 138kV, tendo sido obtido os seguintes resultados:

Os valores de indução magnética estão sempre abaixo do valor limite recomendado, tanto no perfil horizontal a 1,5m de altura como no perfil vertical no limite da faixa de 10m, nas tensões de operação de 88kV e de 138kV.

Com a tensão de operação de 88kV os valores de campo elétrico estão sempre abaixo do valor limite recomendado, tanto no perfil horizontal a 1,5m de altura como no perfil vertical sobre o limite da faixa de 10m.

Com a tensão de operação de 138kV os valores de campo elétrico estão abaixo do valor limite recomendado em todos os perfis calculados, exceto no perfil vertical sobre o limite da faixa de 10m, entre as alturas de 6,4m e 10,6m.

- Foram também realizadas medições de campo elétrico e magnético na linha atual para comparar com os resultados teóricos obtidos dos cálculos de campo eletromagnético para a mesma situação, de forma a comprovar a validade da metodologia utilizada, tendo sido obtidos os seguintes resultados:

Os valores medidos apresentaram diferenças inferiores a 20% em relação aos valores simulados.

Os valores de campo elétrico são os que apresentam maiores discrepâncias em alguns pontos, particularmente nos perfis verticais. Devido à perturbação do campo introduzida pela presença da cesta, grua e operadores, esta é uma dificuldade esperada e de difícil correção.

As simulações realizadas permitem estimar o valor dos campos com um grau de incerteza aceitável para a avaliação de riscos da exposição humana a campos elétricos e magnéticos. As diferenças entre os valores medidos e simulados são devidas às incertezas inerentes a um processo de medição e por questões de perturbação de campo elétrico.

## CONCLUSÕES

Todas as soluções resultantes dos estudos e projeto para a linha piloto foram realizadas com sucesso, tendo-se obtido os seguintes resultados:

- aumento efetivo de 50% na capacidade de transmissão da linha, passando de 200MVA para 300MVA na tensão de 88kV.
- a infraestrutura existente (faixas de passagem, estruturas e fundações) foi aproveitada totalmente, com pequenos ajustes em algumas fixações dos cabos, sem nenhum tipo de impacto significativo na instalação.
- as condições de segurança operacional da linha foram melhoradas;
- os serviços de melhoria foram executados com desligamento parcial de apenas um dos circuitos, não ocasionando problemas no fornecimento de energia.
- foram efetuados ensaios que comprovaram o atendimento da segurança ambiental quanto aos riscos decorrentes dos efeitos de campos eletromagnéticos (compatibilidade eletromagnética), devido à proximidade da LT com edificações urbanas.
- os custos resultantes das melhorias mostraram-se mais favoráveis do que as soluções convencionais.

## AUTORES

**Ligia M. R Mendes**, nascida em São Paulo em 13 de Novembro de 1955. Graduada na FA AP em Engenharia Química e engenharia civil pela FESP. Trabalha na Eletropaulo desde 1986 em fundação de Linhas de Transmissão Aérea, e em atendimento a consumidores do sistema subterrâneo da distribuição.



**Sergio L. Salomon Cabral** nasceu em Itajubá, MG, Brasil, em julho de 1940, graduado em engenharia elétrica pela UNIFEI – Universidade Federal de Engenharia de Itajubá . Sua experiência profissional inclui a CESP – Centrais Elétricas de São Paulo, CPFL – Companhia Paulista de Força e Luz e o CED – Centro de Excelência em Distribuição. Atualmente é Diretor Técnico da MATRIX Engenharia em Energia



**Walter Pinheiro** nasceu em São Paulo/SP, Brasil, em 11 de dezembro de 1956. É engenheiro eletricista pela FESP, 1981, bacharel em física pelo IFUSP, 1982, e mestre em engenharia elétrica pela EPUSP-Universidade de São Paulo, 1997. Trabalhou na engenharia de distribuição da CESP – Companhia Energética de São Paulo no período de agosto de 1982 a maio de 2000. Atualmente é consultor na área de engenharia elétrica.

***Sidnei Ueda*** – Eng. Eletricista formado pela UNICAMP.  
Coorden. do B2-12 da CIGRE Brasil,  
Aspectos Elétricos das LTs. Atualmente é  
Gerente de Marketing Tecnológico  
da Nexans Brasil S.A.

