



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

GLT - 11  
16 a 21 Outubro de 2005  
Curitiba - Paraná

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

**RECAPACITAÇÃO DE LINHA DE TRANSMISSÃO 230KV UTILIZANDO CABO TERMORRESISTENTE  
TACSR**

**Ricardo Santos Wiedmer**

**COPEL TRANSMISSÃO**

**RESUMO**

Com o acelerado crescimento da demanda de energia elétrica e conseqüente redistribuição de fluxos de potência, as linhas de transmissão existentes são submetidas a novos níveis de carregamento[1], que na maioria dos casos exigem providências para atender a tais solicitações.

Este trabalho mostra uma experiência da COPEL em uma situação deste tipo, na qual decidiu-se recapacitar a linha de transmissão em 230 kV Pilarzinho – Campo Comprido, circuito simples, substituindo os condutores ACSR (CAA) 636 KCM – Grosbeak por cabos TACSR (T-CAA), com liga de alumínio termorresistente, de mesma seção, possibilitando assim o aumento na capacidade de transporte da linha.

Desde junho de 2004, a linha opera comercialmente, com limites de temperatura de 110°C (operação normal) e 130°C (operação de emergência).

**PALAVRAS-CHAVE**

Recapacitação, Liga Termorresistente, Linha de Transmissão, Condutor, Capacidade.

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A linha de transmissão 230 KV Pilarzinho – Campo Comprido foi construída há 36 anos atrás, em estruturas metálicas para circuito simples, condutores CAA 636 KCM – Grosbeak, dispostos horizontalmente, para operar a uma temperatura de projeto de 55°C. Os cabos pára-raios eram do tipo cordoalha de aço 7/8". Inicialmente ligava a usina Parigot de Souza à subestação Campo Comprido e posteriormente foi seccionada para a subestação Pilarzinho. Com uma extensão atual de 17,4 km, esta linha de transmissão situa-se em área predominantemente rural, nos arredores de Curitiba. Devido ao crescimento da região metropolitana, alguns trechos desta linha de transmissão hoje estão circundados por loteamentos e agrupamentos habitacionais. O relevo apresenta-se acidentado, com vãos médios da ordem de 480 metros e vão máximo de 670m.

A cerca de dois anos atrás, foi realizada uma obra de manutenção geral nesta linha, envolvendo também a troca de cadeias. Nas estruturas em suspensão, foram trocadas algumas cadeias antigas com isoladores de vidro, de maior comprimento, por cadeias de isoladores poliméricos, com ganho de altura nos condutores. Nos vãos onde esta solução não atendeu os requisitos, foram implantadas cadeias de ancoragem suspensa (semi-ancoragem).

Estudos da área de planejamento, indicaram a necessidade de aumento na capacidade de transmissão para 398 MVA, correspondendo a uma temperatura de 110°C em regime permanente, para eliminar sobrecargas, quando a

\*Rua José Izidoro Biazzetto, 158 - Bloco A - CEP 81200-240 - Curitiba - PR - BRASIL  
Tel.: (041) 310-5682 - Fax: (041) 331-3959 - e-mail: rwiedmer@copel.com

futura subestação Santa Mônica (230 kV) entrar em operação e houver da perda ou redução da geração da usina Parigot de Souza.

## 2.0 - ALTERNATIVAS ANALISADAS

O recurso de recapacitação (ou repotenciação) de linhas de transmissão vem sendo utilizado por diversas empresas transmissoras de energia, principalmente pela relação custo-benefício apresentada. Abaixo, relacionamos as outras alternativas analisadas, mesmo aquelas que se apresentavam inviáveis à primeira vista.

### 2.1 Construção de nova linha de transmissão

Um dos motivos que determinou a recapacitação da linha existente foi o alto custo para implantação de uma nova linha, principalmente por tratar-se da região metropolitana da cidade de Curitiba, densamente urbanizada, o que representaria um maior custos de indenizações com nova faixa de servidão. Consideramos também o fato de que a região é um dos mais importantes mananciais de captação de água para a Grande Curitiba, constituindo área de preservação ambiental. Este fator restringiria muito a escolha de um novo traçado devido à necessária preservação dos remanescentes florestais e matas ciliares.

### 2.2 Substituição da linha existente por outra de maior capacidade

Esta alternativa aproveitaria a mesma faixa de servidão, porém apresentou-se muito onerosa, pois teríamos os custos de desmontagem e montagem da nova linha de transmissão. Também havia o agravante de que a referida linha apresenta restrições extremas quanto a viabilidade de desligamentos para serviços desta ordem, pois atende a demanda da região Norte de Curitiba, através da subestação Pilarzinho, incluindo um grande consumidor em tensão de 230 kV.

### 2.3 Recapacitação com o condutor existente

O limite térmico para operação dos condutores CAA é uma temperatura de 90°C em regime permanente, visando evitar deterioração das características mecânicas do condutor devido ao recozimento do alumínio. Sendo assim a recapacitação mantendo os mesmos condutores e estruturas metálicas foi inviabilizada, pois a nova temperatura de projeto deveria ser de 110°C.

### 2.4 Substituição por condutores de seção maior

Consideramos nesta análise o condutor CAA 795KCM – Drake, o qual atenderia a nova carga a uma temperatura limite de 90°C para os condutores CAA. No entanto, seria necessário efetuar um redimensionamento estrutural completo na série de estruturas utilizadas. Isto porque os parâmetros deste cabo, tais como peso unitário de 1,6286 Kg/m e diâmetro de 28,13 mm causariam esforços verticais, transversais e longitudinais além dos limites de carregamento mecânico previstos no projeto original das estruturas. Esta alternativa também foi considerada inviável.

## 3.0 - PROJETO DE RECAPACITAÇÃO

Face às restrições citadas anteriormente, a alternativa adotada para atender o carregamento pretendido, foi substituir os condutores CAA por condutores com alumínio liga termorresistente tipo TACSR (T-CAA) 636KCM – T-Grosbeak, o qual possui praticamente as mesmas características mecânicas e elétricas do condutor CAA, admitindo temperatura de operação de até 150°C em regime permanente, e 180°C em operação de emergência. Este tipo de condutor, ainda de pouca utilização no Brasil, já é largamente aplicado em linhas de transmissão no Japão, em substituição ao CAA. Esta é a primeira experiência da COPEL com este cabo.

### 3.1 Parâmetros Iniciais

O primeiro passo foi determinar à qual temperatura o condutor transportaria o carregamento solicitado. O gráfico da figura 1 mostra a corrente elétrica em função da temperatura do condutor, obtido com os parâmetros atmosféricos e geográficos para a região de Curitiba.

Método de cálculo: IEEE Std. 738-1993  
 Temperatura ambiente: 25°C  
 Velocidade de vento: 0,61 m/s  
 Angulo de incidência do vento: 90°  
 Altitude acima do nível do mar: 900m  
 Direção do vento: Leste - Oeste  
 Latitude: 25°S  
 Atmosfera: limpa

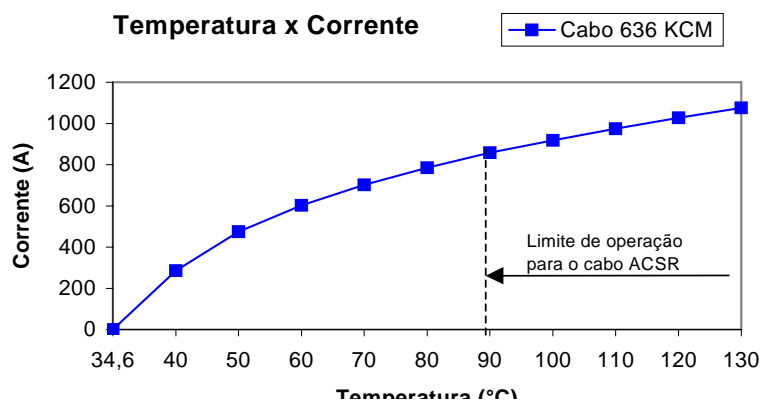


FIGURA 1: Gráfico temperatura x corrente

Horário de máxima ensolação: 12:00h

Capacidades de corrente calculadas:

**à temperatura de 55°C : 543,3 Ampère**

**à temperatura de 110°C: 974,4 Ampère**

Esta última atendeu ao carregamento solicitado.

### 3.2 Utilização do software PLS\_CADD

Para iniciarmos o projeto, realizamos novo levantamento topográfico planialtimétrico sob a linha de transmissão, pois o original já não traduzia a realidade do perfil topográfico, dos obstáculos e ocorrências existentes. Foram necessárias, também, realizar o georreferenciamento do traçado da linha de transmissão, para a reemissão (ou revalidação) do Decreto de Utilidade Pública Estadual, tendo em vista este estar com a validade vencida.

De posse das medições de altura cabo-solo em todos os vãos, com indicação do dia, hora e temperatura ambiente e com os informações da corrente elétrica no circuito, pudemos determinar a temperatura presumida no condutor, durante as medições. Para este empreendimento, utilizou-se o software PLS\_CADD [2] para projeto de plotação da estruturas, lançamento dos cabos e obtenção da catenária. Então, alimentando o PLS\_CADD, com os dados do levantamento topográfico, velocidades de vento, tipo de condutor, estruturas utilizadas e temperatura presumida do condutor, determinamos o tracionamento mecânico médio ao qual estavam submetidos os condutores, este na ordem de 17,5% da tração de ruptura na EDS.

Conforme pode-se observar na figura 2, a qual mostra um trecho típico do perfil da linha de transmissão, o condutor CAA existente, à temperatura de projeto original de 55°C (catenária mais alta), já não atendia as alturas cabo-solo pré-estabelecidas para este projeto. A catenária mais baixa, mostrada na figura 2, é a projeção do condutor para a temperatura de 110°C, nas mesmas condições de tracionamento, situação esta bem mais crítica quanto ao atendimento das alturas cabo-solo.

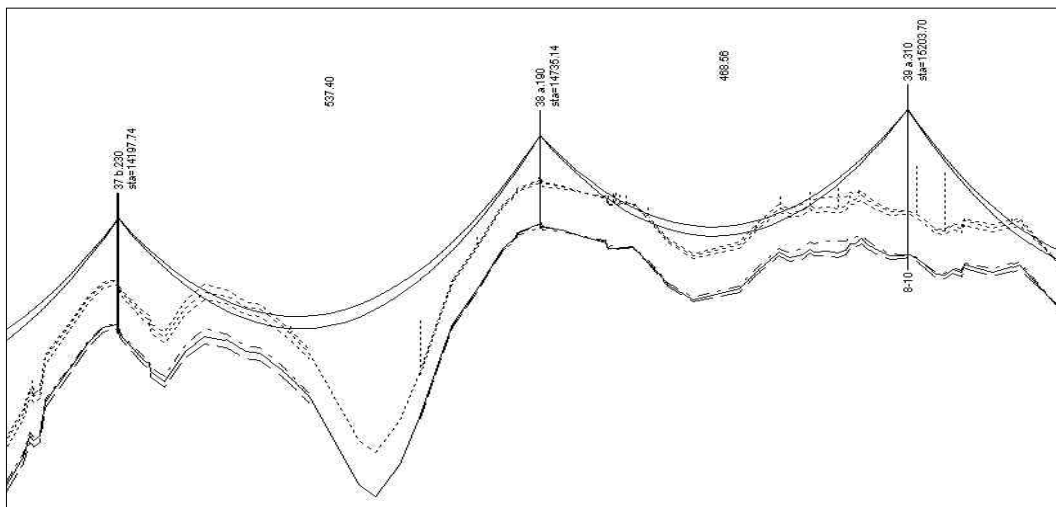


FIGURA 2: trecho da linha, antes da recapacitação, com a catenária às temperaturas de 55°C e 110°C

Conclui-se então que a recapacitação não teria os resultados esperados somente com a simples substituição dos condutores, mantendo o mesmo nível de tracionamento. Foi necessário também algumas providências, conforme descrito a seguir:

### 3.3 Medidas complementares

- Aplicação de um novo nível de tracionamento para os condutores termorresistentes, na ordem de 20% da tração de ruptura na EDS, pois os antigos CAA estavam com tracionamento da ordem de 17,5%. Desta forma, obteve-se ganho na altura cabo-solo da linha, sem exceder os limites de tensão mecânica longitudinal sobre as estruturas e mantendo-se o mesmo critério utilizado para aplicação de amortecedores para compensar a vibração eólica.
- Substituição das cadeias de suspensão, padrão antigo, com isoladores de vidro, com comprimento total de 3,0 m, por cadeias com isoladores poliméricos, com comprimento de 2,5 m, elevando os condutores em boa

parte dos vãos. Esta ação visou também minimizar os danos às cadeias de isoladores, proveniente de ação de vândalos sobre os isoladores de vidro e também renovação das ferragens.

- Inserção de 12 estruturas em suspensão, nos vãos mais longos e críticos no que diz respeito à altura cabo-solo. As estruturas foram inseridas nos vãos onde as duas ações anteriores não tiveram efeito. Também foi substituída uma estrutura por outra de maior altura. A linha de transmissão que tinha um total de 45 estruturas passou a contar com 57. A inserção das 12 novas estruturas também teve reflexo na redução do balanço de cabos, pois foram locadas em grandes vãos, alguns deles localizados em regiões em processo de urbanização. Houve reflexo também na divisão de esforços transversais verificados em algumas estruturas, com vãos grandes até então.

Neste ponto podemos fazer um comparação de custos entre a solução adotada (cabo termorresistente) e a alternativa do item 2.4. Com a substituição do cabo Grosbeak pelo cabo Drake, além da necessidade da revisão estrutural, a qual teria um custo dos serviços de cálculos, teríamos o custo adicional referente ao custo de aquisição dos cabos, na ordem de 25%. O utilização de condutores Drake à temperatura de 90°C também necessitaria das mesmas estruturas metálicas adicionais aplicadas na linha.

A figura 3 mostra o perfil da linha de transmissão com o catenária do condutor à temperatura de 110°C, após executadas as ações acima.

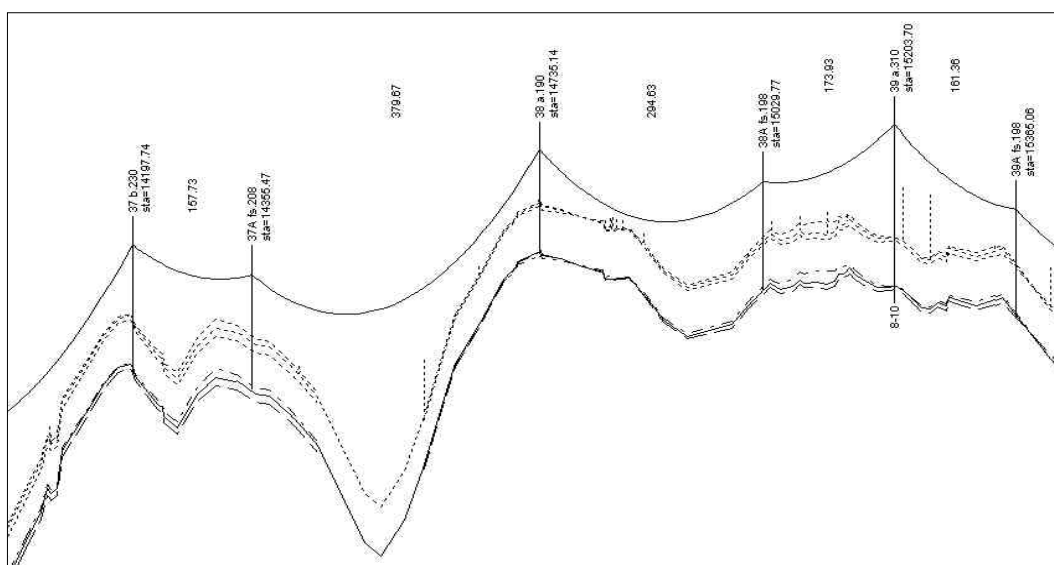


FIGURA 3: trecho da linha, após a recapacitação, com a catenária à temperatura de 110°C

#### 4.0 - ESPECIFICAÇÃO DE MATERIAIS

Foram especificados além do condutor T-CAA, ferragens e demais acessórios, conforme tabela 1 a seguir. Algumas ferragens já são utilizadas pela COPEL nos condutores CAA e tiveram suas características reavaliadas pelos fabricantes para a nova situação.

TABELA 1: Materiais e ferragens especificados

Código COPEL	Descrição	Situação
016543-3	Cabo de alumínio liga termorresistente com alma de aço T-CAA 636 KCM, T-Grosbeak	Nova especificação
016545-0	Luva de emenda para cabo T-CAA, código T-Grosbeak, NTC 870450	Nova especificação
016546-8	Grampo de ancoragem a compressão para cabo T-CAA, T-Grosbeak; NTC 870460	Nova especificação
016568-9	Luva de reparo à compressão para cabo T-CAA, T-Grosbeak; NTC 870470	Nova especificação
733064-2	Grampo, suspensão armado; cabo CAA 636 MCM	Reavaliação

A especificação do novo cabo e seus ferragens constituíram a principal diferença deste projeto para as tradicionais recapacitações realizadas pela COPEL.

## 5.0 - ASPECTOS CONSTRUTIVOS

A montagem das 13 novas estruturas foi realizada no início do ano de 2004, em um contrato de montagem exclusivo, com desligamentos em fins de semana, com a intenção de concentrar e facilitar os trabalhos de substituição dos condutores com a linha energizada, a ser executado por empresa especializada.

Após a montagem das estruturas, o planejamento inicial para a execução da obra sofreu alterações. Devido às restrições de desligamentos, a execução dos serviços com a linha energizada mostrou-se, além de bastante onerosa, inviável face as dificuldades operacionais quanto à montagem de infraestrutura de apoio e aspectos de segurança de terceiros, tendo em vista que a referida linha atravessa uma região de grande adensamento populacional.

Em estudos mais aprofundados chegou-se a uma programação de serviços para troca dos condutores com a linha desenergizada, em desligamentos programados para os finais de semana, período em que a linha pode ser disponibilizada para os serviços. Foram necessários 12 desligamentos, com retorno aos finais das tardes de sábado e novos desligamentos aos domingos. Os condutores foram substituídos tramo a tramo, um a um, com o auxílio de *puller* e freio. Uma das atividades que mais requereu tempo durante os desligamentos foi a desmontagem das cadeias em arranjo tipo ancoragem-suspensa, pois foi necessário dar continuidade elétrica após a desmontagem das mesmas, para retorno à operação ao final dos serviços. Nestes casos, a substituição dos condutores foi finalizada nos desligamentos subsequentes. Com o ganho de altura dos condutores devido às intervenções na linha (ver item 3.3), as cadeias de ancoragem suspensas existentes puderam ser substituídas

Os dois cabos pára-raios tipo cordoalha de aço 7/8" foram substituídos por cabos CAA 101,8 KCM "Petrel", num trecho de 4 km, na chegada da subestação Campo Comprido. Estudos mostraram que o nível de curto-circuito na linha, nas proximidades desta subestação, seria acima dos limites suportados pelo cabo tipo cordoalha, sendo necessária a sua substituição.

As figuras 4 e 5 mostram a linha de transmissão recapacitada, já com as estruturas adicionadas e com o cabo termorresistente instalado, em uma área rural e em canteiro central de avenida .



FIGURA 4: trecho da linha de transmissão recapacitada



FIGURA 5: trecho da linha de transmissão recapacitada

Por ocasião dos trabalhos de manutenção, conforme citado no item 1.0, já haviam sido recuperados os pés das estruturas, com remoção de pontos de ferrugem, aplicação de pintura anticorrosiva e envelopamento dos pés na região próxima ao solo com bloco de concreto. Também haviam sido recuperados os contrapesos.

#### 6.0 - CONCLUSÃO

Com duração de 2 meses, foi efetuada com sucesso a troca dos cabos e trecho de pára-raios. A linha de transmissão foi liberada para operação comercial com limites de 110°C em regime permanente e 130°C em operação de emergência, atendendo aos requisitos propostos inicialmente e com baixos custos. A capacidade da linha, que era da ordem de 220 MVA em 55°C, passou para 398MVA a temperatura de 110°C, representando um ganho aproximado de 80%.

Conforme explicado no item 3.3, conclui-se que apenas a substituição dos condutores não seria o suficiente para alcançarmos este ganho na capacidade de transmissão. Ainda assim, com todas as medidas complementares, o benefício foi compensador, considerando os custos envolvidos e também o exíguo prazo para o empreendimento.

A utilização freqüente de recapacitações de linhas de transmissão para solucionar o problema de aumento de capacidade do sistema elétrico, em detrimento aos novos empreendimentos, deve ser analisada cautelosamente pelas empresas do setor. Os motivos considerados, tais como a economia e rapidez na implantação da solução, não devem ser tomados como principais balizadores nesta escolha. O aumento da confiabilidade do sistema elétrico, advindo da construção de novas linhas, também deve ser considerado pelos agentes responsáveis pelo planejamento, pois a malha de do sistema transmissão brasileiro pode ser expandida, com ganhos bem-vindos a longo prazo.

#### 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] "A utilização de Condutores de Liga de Al Termo-resistente na Repotencialização de LT de Transmissão e Sub-transmissão" – Oswaldo Régis Jr., J. Maurício de Barros Bezerra, L. A. M. Cabral Rodrigues, Sidnei Massami Ueda – XV SNPTEE – Foz do iguaçu, 1999

[2] "Otimização de Projetos de Linhas de Transmissão em Ambiente Computacional com Interface Amigável (Software PLS\_CADD)" - Hoffmann, J. N. – XIV SNPTEE – Belém, 1997