



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

GLT-07  
19 a 24 Outubro de 2003  
Uberlândia - Minas Gerais

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

**NOVAS TECNOLOGIAS E PLANEJAMENTO DA INSTALAÇÃO RESULTAM EM**  
**REDUÇÃO DE CUSTOS DE LINHAS DE TRANSMISSÃO SUBTERRÂNEAS**

**Aloísio José de**  
**Oliveira Lima\***  
**Pirelli**

**Woong Jin Lee**  
**Pirelli**

**Francisco Henrique**  
**L. de Almeida**  
**Selfh Engenharia**

**Wagner Plenas Santos**  
**Eletropaulo**

**RESUMO**

No passado era considerando que no Brasil a relação entre Linhas de Transmissão Subterrâneas e Aéreas era de 6 a 8:1 para a classe de tensão de 138kV.

Hoje com a utilização das novas técnicas de instalação em conjunto numa mesma obra, com um planejamento térmico e elétrico e das obras civis é possível manter a mesma confiabilidade das linhas e chegar a uma relação de 2 a 3:1.

Isso pode viabilizar muitos projetos considerados muito caros e ainda existem desenvolvimentos a serem feitos que podem reduzir ainda mais essa relação

**PALAVRAS-CHAVE**

Linhas de Transmissão subterrâneas; cabos isolados; instalações de cabos; tecnologia de instalação; valas; dutos; método não destrutivo, "trenchless".

**1.0 - HISTÓRICO**

Até 1960, haviam sido instaladas no Brasil, algumas linhas de transmissão subterrânea com cabos isolados do tipo PIPE.

Essas linhas eram de comprimentos curtos e a maioria instaladas em sub-estações e usinas.

Em 1959 foram produzidos no Brasil os primeiros cabos de alta tensão, para a instalação da linha Saúde – Aliperti em 88kV, em São Paulo que ocorreu em 1960. Logo em seguida, 1962 foram produzidos e instalados os cabos 138kV para a linha Jardim Botânico – Lebrum, no Rio de Janeiro.

Esses cabos produzidos no Brasil eram do tipo a Óleo Fluido, Cabos OF, até por volta de 1998.

A sua evolução para classes de tensão mais altas foi relativamente rápida, pois em 1968 foi instalada a primeira linha em Cabos OF 220kV no Paraná e em 1977 a primeira linha 345kV foi instalada em São Paulo.

Nesses 40 anos em que os Cabos OF preponderaram nas linhas subterrâneas, foram instalados cerca de 1.800km de cabos em industrias, usinas, sub-estações e nas grandes cidades (Florianópolis, Salvador, Belo Horizonte, Rio de Janeiro e São Paulo).

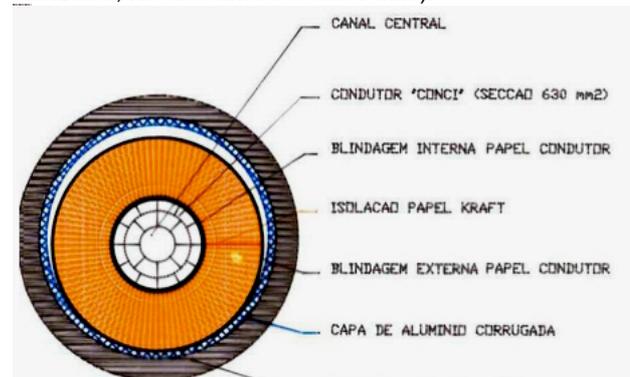


FIGURA 1 – Cabo OF 345kV, capa de Alumínio.

A partir do início da década de 80 passou a se utilizar também os cabos extrudados, principalmente em Borracha EPR, primeiramente em 69kV e a partir de 1986 em 138kV.

Na década de 90 foram feitas algumas instalações utilizando cabos XLPE, polietileno reticulado, tanto em 69kV e em 138kV.

No início dos anos 2000 foi iniciada a produção desse cabo no Brasil.

Tradicionalmente as linhas subterrâneas nas cidades eram de dois tipos: diretamente enterradas ou totalmente em dutos. As linhas diretamente enterradas possuíam apenas as travessias das principais vias públicas em dutos.

A visão da construção de obras na época, procurava manter, mesmo dentro das cidades, as instalações em valas, mantendo-se trechos de 600m e até 800m de valas abertas por tempos longos. Muitas vezes as valas tiveram de ser refeitas em grandes trechos devido a estragos causados pela chuva, causando atraso e prejuízo na construção das Linhas de Transmissão Subterrâneas (LTS).

Já as linhas em dutos eram adotadas em áreas de grandes concentrações de comércio e eram construídas de trecho em trecho (da ordem de 40 metros cada trecho).

O projeto térmico e elétrico das LTS era baseado nessas premissas.

## 2.0 - NOVAS METODOLOGIAS

### 2.1 – Túneis

A utilização de túneis para a instalação de cabos de potência e outros serviços é muito comum no Japão. No Brasil a LTS Terminal Norte Miguel Reale, da CTEEP, em 345kV, tendo cerca de 10km diretamente enterrado e 5km em túnel é um bom exemplo da utilização dessa técnica <1>.

Todavia dado o elevado custo da construção dos túneis, são necessárias condições especiais para viabilizá-los, tais como potência a ser transmitida elevada, dificuldades técnicas e elevado custo social para a sua instalação na superfície.

### 2.2 – Método Não Destrutivo

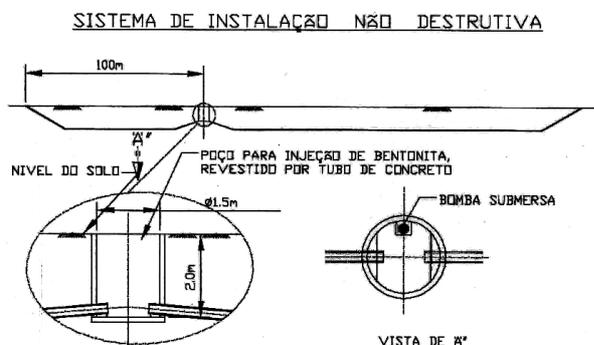


FIGURA 2 – Campo de prova para puxamento utilizando MND.

O Método Não Destrutivo (MND) para a instalação de dutos, “trenchless”, consiste em instalar um ou mais dutos simultaneamente, sem abertura de valas, com a utilização de equipamentos apropriados.

Esse método é muito utilizado no Brasil, para as instalações de cabos ótico, tubulações de água e gás, mas ainda não foi utilizado para cabos de energia, especialmente em trechos longos.

Em 1997 foi feita uma instalação experimental <2>, onde se comprovou a viabilidade do método, inclusive instalando três cabos simultaneamente (figura 2).

O MND substitui o uso de dutos nos trechos onde a abertura de valas, mesmo em trechos curtos, causará grandes transtornos para a população.

### 2.3 – Dutos

A instalação em dutos já bastante tradicional vem sofrendo evoluções através dos anos e hoje já são utilizados lances de 600m contínuos e se pretende chegar a 1000 metros. Inicialmente eram utilizados tubos de PVC de paredes finas, que colapsavam ao se tentar realizar curvas com os mesmos ou ovalizavam ao serem recobertos com concreto, impedindo o puxamento dos cabos.

A utilização de dutos corrugados (interna e externamente) em polietileno de alta densidade, embora resistentes ao achatamento e possibilitar curvas, podem ter como inconveniente o fato de gerar serpenteados contínuos, devido a sua flexibilidade, que aumentam em muito o esforço de tracionamento dos cabos.

Hoje é preferida a utilização de dutos rígidos, em polietileno de alta densidade, lisos internamente e possui anéis externos que confere alta resistência a deformação.

As curvas devem utilizar elementos pré-moldados ou serem feita utilizando pequenos trechos em valas abertas.

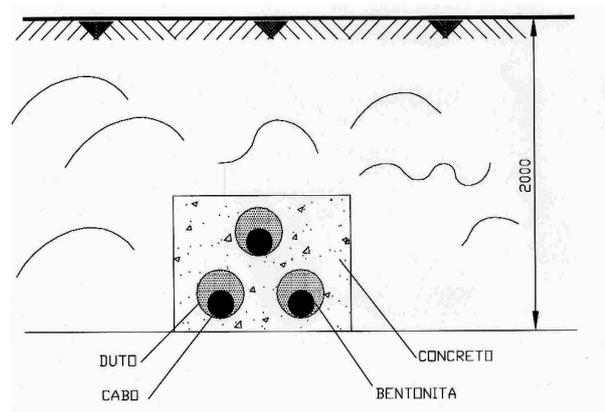


FIGURA 3 – Corte de banco de dutos para cabos instalados em trifólio.

### 2.4 - Valetadeiras

São equipamentos dotados de um disco de grande porte que é capaz de abrir uma valeta com largura da ordem de 20 cm, de modo contínuo. É utilizado para cabos Óticos, mas já existe experiência para cabos de energia. Pode ser utilizado em locais sem interferência e representa uma grande redução de custo.

Como o cabo não terá lajotas de proteção ou mesmo backfill é conveniente utilizar uma proteção adicional, como por exemplo, capa interna de polietileno expandido, que não sofre induções magnéticas.

### 2.5 – Cabos Extrudados

Como já citamos anteriormente, a partir do final dos anos 80 e principalmente nos anos 90, o uso de cabos OF em novas LTS foi sendo substituído pelos cabos extrudados, isolados em EPR ou XLPE, para tensões até 138kV.

No final dos anos 90 e início dos anos 2000, a substituição dos cabos a óleo em novas linhas foi total e em todas as classes de tensão.

A substituição do uso de cabos OF pelos cabos extrudados se deveu a vários fatores:

- Menor número de acessórios necessários (eliminação dos circuitos hidráulicos);
- Verticalização da produção nas fábricas (o mesmo equipamento pode produzir cabos de média e alta tensão);
- Maior difusão das tecnologias de produção;
- Em função dos dois últimos itens, maior número de fornecedores pôde ingressar no mercado;
- Menor qualificação da mão de obra para a montagem dos acessórios (acessórios pré-moldados);
- Acessórios pré-moldados de menor custo e maior rapidez de montagem.

Com essas vantagens as linhas com cabos extrudados passaram a ter maior facilidade de instalação e menor custo, substituindo definitivamente os cabos a óleo.

Por outro lado os cabos isolados em Polietileno Reticulado (XLPE) passaram a ser preponderante no mercado devido aos seguintes fatores:

- O desenvolvimento de matérias (isolantes, semicondutoras, etc.) passou a ser feito pelos fornecedores de matérias primas ao contrário do EPR onde boa parte da tecnologia era desenvolvida pelos fabricantes de cabos;
- Maior disponibilidade de matérias primas e menor custos das mesmas;
- Possibilidade de produção de cabos até 400kV com XLPE, devido a sua menor perdas e maior rigidez dielétrica, enquanto o EPR não foi além de 145kV.

Como regra apenas os cabos subaquáticos até 138kV ainda são preferencialmente isolados em EPR, pelo seu maior peso e resistência à presença de umidade.

### 3.0 PLANEJAMENTO DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO SUBTERRÂNEA

#### 3.1 Planejamento da rota

O custo final de uma linha subterrânea é dependente principalmente da rota a ser escolhida, em função de interferências do subsolo, perfil do terreno e principalmente do fator social.

O planejamento da rota deve considerar que a ocorrência de embargos durante a sua execução representa um forte aumento de custos além do atraso no seu cronograma. A escolha do método construtivo é primordial.

Tomaremos como exemplo a LTS Tucuruvi V. Medeiros, cujo planejamento é recente e sua construção ainda está em andamento.

Esse projeto consiste na substituição de uma antiga linha de cabos OF, 88kV 95mm<sup>2</sup>, por uma nova linha para operar em 88kV, mas prevendo a possibilidade de operar em 138kV, com cabo 400mm<sup>2</sup> 500mm<sup>2</sup>.

Após verificar as dificuldades de rotas alternativas, foi decidido manter a mesma rota do cabo anterior e a mesma posição no solo, sempre que possível.

Isso garante uma posição livre no subsolo, bastante ocupado por outros serviços públicos.



FIGURA 4 – Cabo isolado em XLPE para 138kV

#### 3.1.1 – Cabos Isolados em XLPE

Dadas às características da região foi necessário prever quase todos tipos de instalação:

- Na avenida Tucuruvi, quase toda ela deve utilizar o MND devido ao trânsito e ao forte comércio;
- Na Avenida Guapira se utilizar o método não destrutivo tanto devido ao trânsito quanto devido ao grande número de interferências existentes;
- No pequeno trecho da R. Maj. Dantas Cortez, foram previstos dutos e trecho em valas;
- Ao longo da Avenida Gustavo Adolfo várias situações se apresentaram. Em trechos de forte declive foi necessário utilizar bancos de dutos, em função de fortes chuvas no período de construção. Nos cruzamentos de avenidas importantes foi utilizado o MND, para evitar dificuldades com o trânsito. Nos demais trechos, foram utilizadas valas.

Esse planejamento teve como objetivo viabilizar as licenças de obra, reduzir o custo social para a população e manter as características técnicas do sistema.

#### 3.2 Planejamento térmico e elétrico.

##### 3.2.1 Corrente máxima a ser transportada.

Continuando com o exemplo da LTS Tucuruvi – V. Medeiros, o cálculo da corrente máxima a ser transportada pela linha, foi feito utilizando a norma IEC 60287 <3>, considerando fator de carga diferente de 100%, no caso 75%.

Cada trecho de dutos, MND ou valas, terá uma capacidade de corrente a ser transportada diferente e que dependem da característica de cada trecho, tais como profundidade, distância entre cabos, característica do terreno e materiais utilizados na instalação.

Na tabela 1 é mostrada a corrente para cada tipo individual de instalação.

TABELA 1: Corrente máxima em cada tipo de instalação.

Seção (mm_)	Instalação	Potência transporta em MVA	
		Para cada tipo individual de instalação	Considerando o trecho entre aterramentos
<b>Entre V.Medeiros e caixa 5</b>			
400	Cabos em vala prof. 1,7m	102	98
400	Cabos em Bco Dutos prof. 1,7m	95	103
400	Não Destrutiva prof. 2m	97	103
500	Não -Destrutiva prof. 4m	96	105
<b>Entre caixa 5 e Tucuruvi</b>			
400	Não -Destrutiva prof. 2m	97	97

3.2.2 Correção do fator de perdas na blindagem.

Quando se considera que entre dois pontos de aterramento da blindagem metálica, existem dois ou mais tipo de instalação, é necessário corrigir o fator de perdas para o trecho todo.

Os cálculos dos parâmetros elétricos e térmicos foram baseados na norma IEC 60287.

Para cada tipo de instalação (vala, banco de dutos e MND) o cálculo da reatância da blindagem é dada por:

$$X_n = 2 \cdot \rho \cdot 10^7 \cdot \ln \left( \frac{2 \cdot s}{d} \right)$$

A reatância da blindagem, considerando o trecho entre os aterramentos é dada por:

$$X_T = \frac{I_a \cdot X_a + I_b \cdot X_b + \dots + I_n \cdot X_n}{I_a + I_b + \dots + I_n}$$

Na tabela 2 mostra os resultados dos cálculos das reatâncias em cada tipo de instalação e da reatância do trecho entre os aterramentos.

Para essa tabela temos a seguinte legenda:

S = distância entre condutores;

D = diâmetro médio da blindagem;

Xn = reatância da blindagem metálica, para o tipo de instalação;

Ln = comprimento do trecho para cada tipo de instalação;

XT = reatância da blindagem metálica para o trecho entre aterramento da mesma.

Os diâmetros médios das blindagens são: 64.34mm para o cabo de seção 400mm<sup>2</sup> e 67.59 para o cabo de seção 500mm<sup>2</sup>.

Com o valor equivalente de XT do respectivo trecho entre os aterramentos, calcula-se o valor do fator de perdas na blindagem metálica ( $\rho_1$ ), para os trechos A e B respectivamente:

$$\rho_{1A} = \frac{R_s}{R} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_s}{X_{TA}}}$$

$$\rho_{1B} = \frac{R_s}{R} \cdot \frac{1}{1 + \frac{R_s}{X_{TB}}}$$

TABELA 2 – Cálculo da reatância equivalente entre a S/E V. Medeiros e Caixa 5 e caixa 5 e S/E Tucuruvi.

A – Trecho entre aterramentos: sub-estação V. Medeiros e caixa nº5					
Seção - (mm_)	Tipo de Instalação	Comprimento L (m)	s (mm)	Xn (ohms / m)	Xn*Ln (ohms)
400	vala	1015	80	6.864 E-05	0.0697
400	Dutos	667	130	1.052 E-04	0.0702
400	MND	75	130	1.052 E-04	0.0078
500	vala	442	82	6.686E-05	0.0295
500	Dutos	97	130	1.015 E-04	0.0098
500	MND	463	130	1.015 E-04	0.0470
$\rho = 2759$					$\rho = 0.2346$
Resultado XTA =	8.491E-05 (ohms/m)				
B – Trecho entre aterramentos: caixa 5 até sub-estação Tucuruvi					
Seção do cabo (mm_)	Tipo de Instalação	Lance (L) da Instalação (m)	s (mm)	Xn (ohms / m)	Xn*Ln (ohms)
400	MND	1437	130	1.052 E-04	0.1513
$\rho = 1437$					$\rho = 0.1513$
Resultado XTB =	1.052E-04 (ohms/m)				

Com os novos valores do fator de perdas, para cada trecho entre aterramentos, calcula se as novas capacidades de corrente dos trechos, calculando-se para cada tipo de instalação e prevalecendo o menor valor.

Na tabela 1, é mostrado esse valor, que pode ser confrontado com o anterior.

Com a mudança do fator de perdas, aumentado para os cabos em trifólio e reduzindo para os cabos em dutos, ocorre uma inversão na corrente máxima que pode ser transportada em cada trecho, reduzindo na primeira e aumentando na segunda.

Nessa segunda etapa é necessário já estar definido, portanto, os tipos de instalações a serem utilizadas e em qual comprimento.

### 3.3 .2 Aterramento da linha

Para LTS é aconselhável que seja feito o aterramento das capas metálicas e/ou blindagens metálicas a cada 3000m. Esse aterramento tem a função de melhor distribuir as correntes circulantes.

Todavia utilizamos essa divisão de trechos para evitar sobre aquecimento nos cabos em trifólio originado do aumento da corrente circulante nas blindagens devidas estarem os cabos mais afastados nos trechos em dutos.

### 4.0 - PLANEJAMENTO DE CUSTO DA OBRA CIVIL

A definição dos tipos de instalação e os trechos nos quais devem utilizados na obra, pode interferir na capacidade de corrente dos cabos e, portanto deve interagir com os cálculos térmicos e elétricos da linha.

#### 4.1 Cabos diretamente enterrados

Os cabos serão instalados em trifólio, em uma vala padrão de 1.8m de profundidade por 0.80m de largura. Ao entorno do cabo será colocado "backfill" cuja finalidade é manter uma camada com resistividade térmica máxima de 1.0 K.m/w, mesmo quando o cabo estiver na sua temperatura máxima de operação e tender a secar o solo ao seu redor.

O "backfill" utilizado é do tipo bimodal <1>.

Os cabos em valas têm menor custo, da ordem de R\$700,00/m, mas tem contra si a necessidade de manter a vala aberta em toda a sua extensão, durante toda a sua construção e até o enterramento dos cabos, o que representa até 650m durante 15 a 20 dias. É utilizada sempre que possível.

#### 4.2 Cabos em bancos de dutos

Os bancos de dutos devem ser construídos de modo a resultar uma canalização retilínea, pois o serpenteamento dos tubos durante a instalação seja devido ao seu mau posicionamento ou devido a flutuar quando da colocação de cimento, pode causar um aumento inesperado da tensão de puxamento de 2 a3 vezes o valor previsto.

Deve-se usar tubos lisos internamente e reforçados externamente para não sofrer ovalização que possa travar o cabo. Não deve ser flexível para não sofrer encurvamento (flutuar) quando da colocação do concreto.

Pode ser utilizado como padrão da instalação ou para transpor interferências, substituir as valas nos lugares onde a encurvada pode representar perigo de danificação das mesmas.

Seu custo é mais alto que o das valas, mas se bem projetados podem ficar próximo, cerca de R\$800,00/m, e pode representar economia, por ser solução contra os danos causados por encurvadas e segurança em transpor alguns obstáculos.

No caso atual os dutos foram projetados em triângulo, os mais próximos possíveis, conforme figura 3.

O seu preenchimento com uma mistura de bentonita, cimento e areia, melhora a condição térmica dos cabos e serve também para mantê-los travados.

### 4.3 Método Não Destrutível (MND)

Assim denominado por permitir a instalação de dutos sem a necessidade de abrir a superfície em toda a sua extensão.

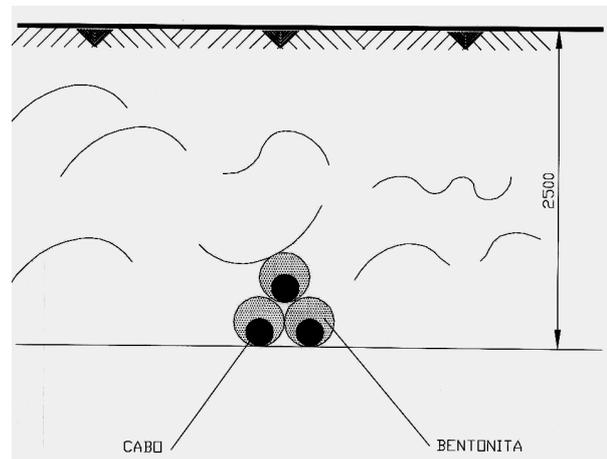
É necessário abrir alguns metros de valas no início e no final, para evitar que os dutos fiquem com curvas desnecessárias.

Os dutos começam já na profundidade em que vão se manter o mais plano possível. Algum serpenteamento é possível de resultar quando se usa essa técnica e o principal objetivo é evitar ao máximo esse efeito.

Por esses motivos além dos equipamentos e equipe de perfuração é necessário uma equipe de obra civil apoiando os trabalhos.

O custo do MND é da mesma ordem dos dutos, R\$800,00/m, porém distribuídos em 3 vozes: materiais, serviços de perfuração e apoio de escavação.

No caso presente, como seriam instalados trechos longos e contínuos de MND, foi necessária a instalação de três dutos juntos, figura 5, ao invés de três dutos separados, para reduzir o fator de perdas. O uso de três cabos em um único duto, possível teoricamente, apresenta muitas dificuldades práticas.



\_FIGURA 5 – MND utilizando três dutos instalados juntos.

#### 4.4 Custos de Construção de uma LTS 138kV

Quando se analise o custo de obras em geral devemos considerar que as particularidades de cada uma podem diferenciar bastante os custos.

Todavia na linha que tomamos como exemplo, se temos a vantagem de substituir uma linha já existente e, portanto ter um lugar no subsolo já assegurado, por outro lado temos que considerar a retirada do cabo anterior sempre que possível ou assegura sua vedação permanente como uma dificuldade adicional.

Assim como essa linha percorre bairros comerciais e com forte trânsito e bairros residenciais ela pode representar exemplo válido para comparações de custos.

Na tabela 3 está uma referência do custo para essa linha.

#### 4.5 Comparação de Custos LTS – LTA

É sempre difícil comparar uma LTS com uma LTA, pois nem sempre o percurso que é melhor para uma é o

melhor para a outra. Também em condições ideais para as duas é evidente que a linha aérea deverá prevalecer.

Seção	tipo de instalação	Comprimento	Obras civis	Cabos	Acessórios
mm_		L (m)	kR\$	kR\$	kR\$
		L(total)=4196m			
400	Vala	1015	710,50	517,70	Materiais
400	Dutos	667	533,60	340,20	e
400	MND 2m	75	60,00	38,20	serviços
500	Vala	442	309,40	251,90	de
500	Dutos	97	77,60	55,30	Montagens
500	MND 4m	463	370,40	263,90	
400	MND 2m	1437	1.149,50	732,80	
Subtotais (KR\$)			3.211,00	2.200,00	1.225,00
<b>Total Geral</b>					
<b>R\$6.636.000,00</b>					

A partir dessa idéia, se vamos construir uma LTS é porque existem dificuldades de meio ambiente ou social ou técnica para se construir uma linha aérea.

Por esse motivo devemos considerar sempre nessa comparação, um custo de linha aérea construída em área urbana e com dificuldades técnicas ou com percurso mais longo.

Um valor de referência para LTA 138kV, em áreas urbanas, sem desapropriação é da ordem de R\$550,00/m, incluído materiais, mão de obra e construção civil.

Se considerarmos, o mesmo trajeto da linha Tucuruvi – V. Medeiro, com 4.196 m resulta um valor total de R\$2.300.00,00.

Comparando com o valor da tabela 3, resulta uma relação de 2.9 vezes, certamente muito baixa comparada com valores do passado.

No caso em que for necessário adquirir a faixa de segurança para a LTA dentro da cidade, certamente os custos para a LTA ficarão maiores.

O “Working Group 21/22-01 da CIGRÉ” <4>, fez um levantamento dessa relação em vários países do mundo, com variações das exigências legais de um país para outro e uso de diferentes técnicas, chegando a uma faixa de 3,6 a 16:1 entre subterrâneo e aéreo com uma média de 7:1.

No Brasil é considerado como valor de referência uma faixa entre 6 a 8:1.

As instalações subterrâneas utilizadas para essa comparação no Brasil, eram feitas com cabos OF (óleo fluído), valas com escoramento contínuo, abertura simultânea de valas, necessidades de caixas de emendas com grandes dimensões, caixas para tanques de óleo, etc, o que tornava o custo total elevado.

A evolução dos cabos de Alta Tensão incluiu o uso de novos materiais e processos produtivos mais econômicos, sem perda da necessária confiabilidade de um sistema de transmissão. Da mesma forma, os acessórios pré-moldados, que exigem menor

habilidade e tempo de montagem, se consolidaram como a melhor solução no campo de AT.

Assim sendo, hoje existe disponibilidade de cabos com isolamento de XLPE e acessórios pré-moldados de EPDM até 400 kV, de custo inferior aos dos acessórios para cabos OF e sendo reduzido a cada ano, inclusive com o uso de novos materiais.

## 5.0 - CONCLUSÕES

- O planejamento das obras civis para LTS, com utilização das técnicas hoje disponíveis, pode representar uma redução de custos diretos da própria instalação, como ganhos adicionais com os custos indiretos, tais como custos sociais, velocidade de instalação e segurança da obra.

- Os novos materiais disponíveis, tais como cabos com isolamento extrudados, emendas pré-moldadas, terminais sem uso de óleo, representam por si só um forte ganho de custos e indiretamente ganhos nas obras civis, devido a caixas menores e com menos exigências construtivas e também na montagem dos acessórios por serem mais fáceis e rápidas suas execução.

- A redução da relação de custo ente linhas aéreas e subterrâneas se deve as maiores exigências sociais e ambientais nas grandes cidades, mas também a uma forte redução de custos das linhas Subterrâneas.

- Hoje podemos considerar viável trabalharmos como uma relação de custos entre LTS e LTA entre 2 e 3:1 o que representa um grande avanço com a relação de 6 a 8:1 considerada no passado, quando se estudava a viabilidade de se construir uma LTS.

- O projeto térmico e elétrico de uma linha subterrânea é também uma necessidade maior, quando se usa vários tipos de instalação.

## 6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) A. J. de O. Lima et all  
Norte Miguel Reale: A modern Design of a 345kV underground Power Line  
CIGRÉ – Reunião Bi-anual de Paris 2000.
- (2) Francisco H. Lourenço e Aloísio J.º Lima  
Aspectos Econômicos de Dimencionamento de uma Linha de Transmissão Subterrânea.  
XIV SNTPEE – Belém 1997
- (3) IEC 60287 Electric Cables - Calculation of the Current Rating.  
First edition 1994
- (4) CIGRE Joint Work Group 21/22-01.  
Coparasion of High Voltage Overhead Lines and UnderGround Cables.  
Relatório apresentado no “meeting” de 1995.