



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

CB/GLT/23

22 a 25 de outubro de 2017  
Curitiba - PR

**GRUPO - III**

**GRUPO DE ESTUDO DE LIHAS DE TRANSMISSÃO - GLT**

**TRAVESSIA DO CANAL DE SANTOS  
A EVOLUÇÃO DA TECNOLOGIA EM LT - DE 1910 A 2015**

**Roberto Felizardo Moreno(\*)  
EPTE**

**Gerson Fernandes Jr  
EPTE**

**Patricia Fernandes  
EPTE**

**Leonardo Zanotti  
3M**

**RESUMO**

Apresentar a linha de transmissão LT ITATINGA - SANTOS 44 kV, instalada em 1910, e os estudos para remanejamento desta instalação visando possibilitar a implantação da ligação subaquática entre os Municípios de Guarujá e Santos. São apresentadas as principais características da linha de transmissão, tais como traçado, inserido em região de Mata Atlântica, obstáculos naturais e desafios sobrepujados, em uma época na qual ainda poucos os recursos tecnológicos disponíveis.

O informe técnico detalha, também, os estudos desenvolvidos na fase de projeto da nova instalação, com ênfase para a travessia do Canal de Santos, na qual houve necessidade de aplicação de condutores especiais visando manter a atual condição de navegabilidade na área do Porto de Santos.

**PALAVRAS-CHAVE**

Linha de Transmissão, Porto de Santos, Condutores Especiais

**1.0 - INTRODUÇÃO**

A linha de transmissão LT ITATINGA - CODESP 44 kV, que interliga a Usina de Itatinga ao Porto de Santos, se caracteriza como uma das mais antigas instalações de transmissão em operação no Brasil, tendo entrado em operação em 1910, simultaneamente à Usina ITATINGA, representando, com a potência gerada de 20 MVA, importante marco energético nacional, não só para o Porto de Santos mas também para o sistema de alimentação da Baixada Santista no início do século passado.

No trecho de chegada ao Porto de Santos, trecho final da instalação, apresenta impressionante vão de travessia, para os padrões da época, com 512,00 metros de extensão, sobre o canal de Santos, vão suportado por duas torres metálicas com 90,00 metros de altura, características que demonstram o desafio vencido pela engenharia nacional, numa época de limitado aparato tecnológico disponível.

Instaladas junto ao Porto de Santos, estas torres são visíveis de longa distância, tanto a partir de Santos quanto de Vicente de Carvalho, e sob o vão de travessia navegam navios de carga e passageiros para ancorar no cais de porto, podendo ser visualizada a magnitude do vão de travessia no aplicativo Google Earth, nas coordenadas E 366769 - N 7350242 (lado Santos) e E 367236 - N 73504554.

Com o objetivo de viabilizar conexão alternativa, e com maior fluidez, entre os municípios de Guarujá e Santos, a qual hoje se dá através da Balsa Santos - Gurujá ou da Rodovia Conego Domenico Rangoni (Piaçaguera - Guarujá), o governo do Estado de São Paulo, desenvolveu projeto de túnel subaquático entre os dois municípios, o qual tem parte de seu eixo coincidente com a faixa de transmissão da LT ITATINGA - CODESP, sendo necessário

o remanejamento da instalação de transmissão, numa primeira fase, e conversão para instalação isolada no vão de travessia, a ser instalada internamente ao túnel após a conclusão das obras civis da ligação subaquática.

O informe técnico apresenta os estudos de engenharia e projetos desenvolvidos para remanejamento da linha de transmissão, com ênfase para:

- definição das estruturas de sustentação do vão de travessia, com altura de 95,00 metros, as quais tem implantação prevista em locais com dimensões limitadas, principalmente junto ao Porto de Santos, tendo resultado torres com abertura de base de 12,00 metros, a ser instalada adjacente a terminais de grãos,
- projeto de fundações especiais face à existência de espessas camadas de argila orgânica, com 45,00 metros de profundidade, no lado de Vicente de Carvalho, e afloramento rochoso do lado de Santos, a partir da cota -4,50 metros, requerendo aplicação de fundações especiais,
- manutenção das flechas atualmente existentes de forma a não introduzir limitação à navegação marítima no Canal de Santos,
- limitação do peso próprio dos condutores visando reduzir, tanto quanto possível, as trações de esticamento e, desta forma, limitar as solicitações nas torres da travessia e em suas fundações.

No tocante aos estudos para definição dos condutores, a requerida limitação do peso próprio se caracterizou como principal variável dos estudos, uma vez que, além da necessidade de redução dos esforços solicitantes nas torres da travessia, a flecha resultante não deveria representar redução na distância cabo - nível d'água, sob pena de comprometimento da navegabilidade no canal de Santos para os navios de maior altura.

Embora a ampacidade requerida não fosse condicionante de projeto, foram estudados diversos condutores especiais, com ênfase para os cabos termo-resistentes de baixa flecha (HTLS), os quais apresentaram as mais favoráveis relações peso x tração, permitindo atendimento ao "clearance" requerido para a travessia do Canal de Santos, e mitigação dos esforços solicitantes nas torres e fundações.

O informe técnico apresenta, ainda, detalhes das inspeções realizadas nas torres instaladas na travessia, aspectos de corrosão decorrentes de mais de 115 anos desde sua instalação, fundações existentes, histórico de substituição de cabos condutores, sendo registrado em imagens e relatos a inventividade e as técnicas aplicadas no alvorecer do século XX.

Abrangendo a história de 115 anos da instalação, e as ações necessárias para reprojeter um dos marcos da engenharia de transmissão de energia, o informe técnico detalha a solução implementada e as condicionantes adotadas no desenvolvimento dos projetos.

## 2.0 - DESENVOLVIMENTO

### 2.1 A linha de transmissão ITATINGA - SANTOS 44 kV

Levantamentos realizados junto à CODESP resultaram em limitadas informações registradas sobre a linha de transmissão e sobre a travessia sobre o canal de Santos. Apenas algumas imagens, reproduzidas ao longo do tempo, e preservadas por gerações de profissionais que se sucederam na CODESP, permitem avaliar a envergadura do empreendimento, os desafios superados, o nível de incertezas prevalentes, numa época em que a ciência e o arcabouço tecnológico ainda estabeleciam suas bases e conceitos, e as medidas implementadas para conceber, projetar, instalar e fazer operar tal instalação.

Terzaghi ainda encontrava-se longe de publicar seu livro percussor, "Theoretical Soil Mechanics", e sua publicação posterior, "Soil Mechanics in Engineering Practice", a Serra do Mar, ainda mantinha porcentagem expressiva de sua mata nativa, a qual representava desafios enormes para definição do traçado ideal para a linha de transmissão, condição que hoje pode ser equacionada a partir de aplicativos de Sistema de Informação Geográfica, tais como Google Earth, Global Mapper e congêneres. A bússola era o rumo e único instrumento para guiar os engenheiros, técnicos e topógrafos na escolha do traçado preferencial para o eixo da instalação, e as características da Mata Atlântica, no sopé da Serra do Mar, floresta tropical intocada, representavam o principal desafio, não apenas pelas características de declividade, dossel de elevada altura, obstáculos diversos, mas também e principalmente pela existência de animais peçonhentos, umidade e calor extremos, e necessidade de transportar regatos e corpos d'água, na área de planície, na região da baixada, em Bertioga e Vicente de Carvalho.

Ao se comparar os obstáculos e desafios vivenciados e superados pelos engenheiros de então, com o aparato tecnológico atualmente disponível, podemos inferir como tem sido simplificada a condução de projetos e a execução de obras de transmissão de energia.

Hoje, se convive com instalações que têm início em áreas remotas, as quais cruzam o país transportando blocos imensos de energia para os centros consumidores, desafios de extensão, de áreas vegetadas, transpondo rios caudalosos com largura quilométrica, cruzando áreas alagadas, e superando desafios expressivos mas, como atenuantes significativas, a engenharia conta com o acervo tecnológico disponível, com equipamentos de porte, apoio aéreo, veículos para qualquer tipo de terreno, controle de animais, selvagens e peçonhentos, assistência médica disponível em caso de ocorrências que requeiram imediata intervenção, entre outros elementos que mitigam as adversidades sempre existentes, nada se comparando às condições de contorno vivenciadas pelos profissionais de outrora na implantação da linha de transmissão para alimentação do porto de Santos, coordenados pelo engenheiro visionário Guilherme Benjamim Weinschenk., da Companhia Docas de Santos, então administrada pelas famílias Guinle e Gaffrée e, em 10 de Outubro de 1910 era inaugurada a Usina de Itatinga, com expressivos 20.000 kVA, simultaneamente à linha de transmissão, com tensão operativa de 44 kV.

A Figura 1 apresenta o traçado da linha de transmissão Itatinga – Santos 44 kV (LT ITA – SAN), desde seu início na SE ITATINGA, situado no limite dos Município de Mogi das Cruzes e Bertioga, até sua chegada na SE CODESP, no município de Santos, com extensão e 30,0 km, sendo indicado nas Figuras 2 e 3 detalhes das subestações terminais.

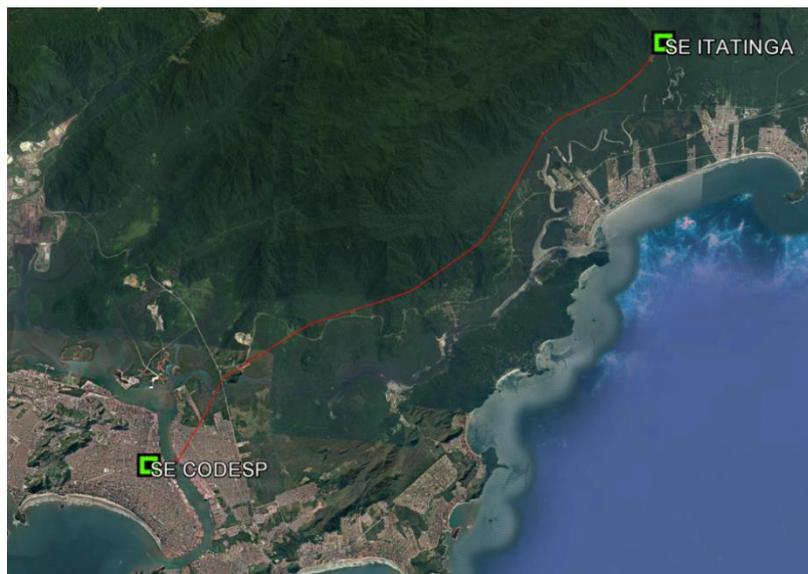


Figura 1 - Traçado eixo LT ITATINGA - CODESP 44 kV



Figura 2 - SE ITATINGA  
(foto Antonio A. Gorni – 2001)

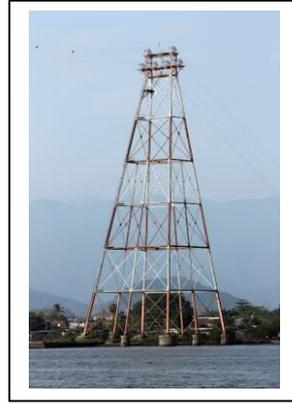


Figura 3 - SE CODESP – Porto de Santos

Marco importante desta linha de transmissão, refere-se às torres de travessia do Canal de Santos, conhecidas como “torres altas”, situadas uma em cada margem do canal, com alturas da ordem de 90,00 metros, e abertura de base de 30,00 metros, sustentam as seis fases da instalação. Apresentam configuração estrutural não convencional, podendo ser entendidas como estruturas semi-aporticadas, conforme apresentado na Figura 4.



a) lado Santos



b) lado Vicente de Carvalho

Figura 4 - Torres travessia Canal de Santos

Limitadas são os documentos e desenhos da época, restando como referência apenas as imagens indicadas na Figura 5 (Castilho&Gonçalves) e, na Figura 6, é apresentado registro fotográfico atualizado.

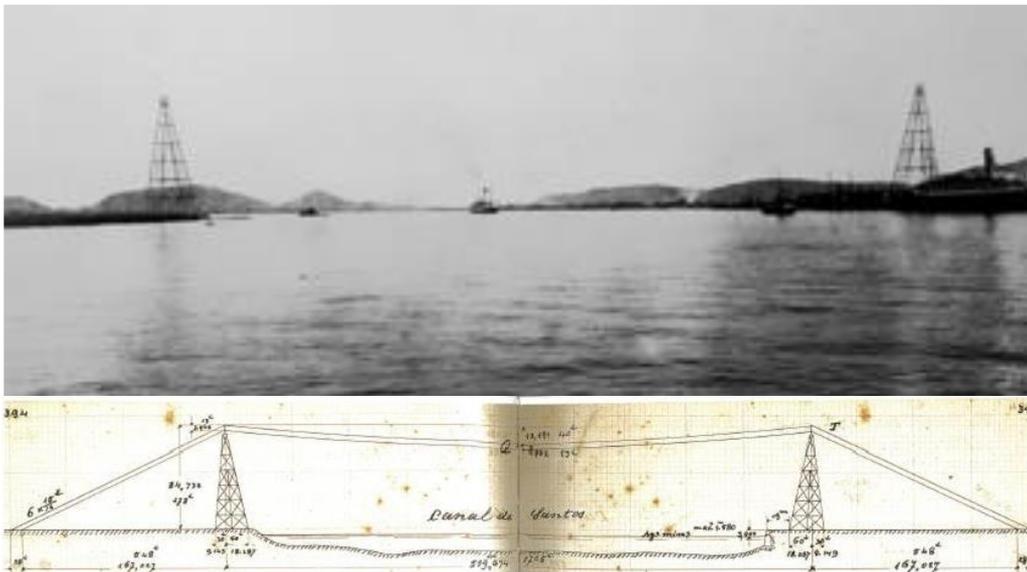


Figura 5 – Detalhe da época de entrada em operação da LT 44 kV



Figura 6 – Imagem atualizada da travessia da LT 44 kV sobre o Canal de Santos

## 2.2 A ligação Santos - Guarujá

A ligação entre os municípios de Santos e Guarujá se realiza, atualmente, através de sistema de balsas, operadas pela DERSA, havendo opção alternativa via terrestre, com extensão aproximada de 45 km através das Rodovias Cônego Domenico Rangoni e Anchieta.

Em períodos de férias ou finais de semana prolongados o sistema de balsas apresenta saturação, com formação de longas filas de espera para a travessia do Estuário de Santos, com notórias implicações para os moradores, veranistas e demais usuários do sistema.

A opção rodoviária, em função da extensão e do costumeiro tráfego pesado, também não se caracteriza como solução adequada, uma vez que implica em longos tempos de viagem e desconfortos decorrentes.

Neste sentido, o empreendimento Túnel Submerso, em fase de projeto pela DERSA, representa importante opção alternativa de interligação entre os municípios de Santos e Guarujá, reduzindo sobremaneira o tempo de deslocamento entre os dois municípios e mitigando decisivamente os transtornos associados às alternativas existentes.

Concebido para ser executado através de tecnologia de última geração, representando o estado da arte em termos de obras viárias abaixo do nível d'água, o Túnel Submerso será implantado com eixo semi-perpendicular ao canal de Santos, utilizando a faixa de transmissão, em seu trecho inicial, lado Vicente de Carvalho, e sistema viário e logradouros existentes, no lado de Santos, sendo apresentado na Figura 7 esquema do traçado previsto para a instalação.

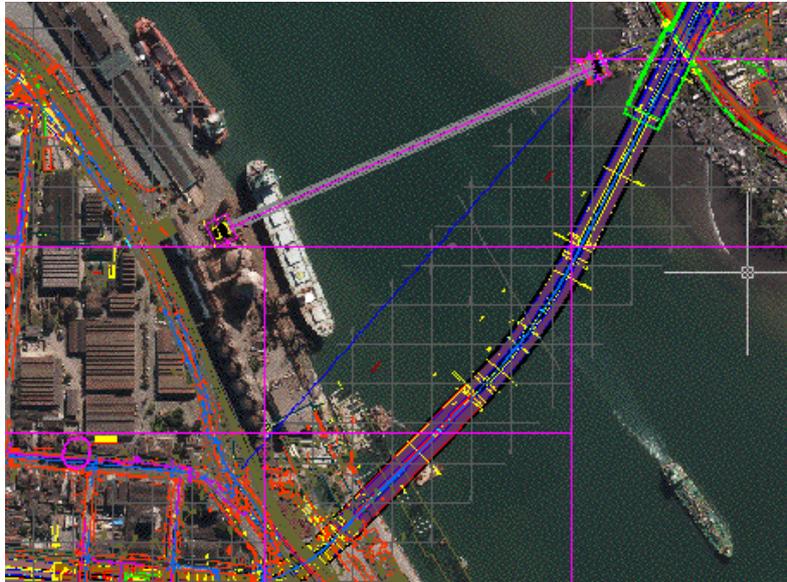


Figura 7 - Traçado do Túnel Submerso no Estuário com indicação da travessia da LT

Embora a faixa da linha de transmissão represente uma importante atenuante para definição do traçado do túnel no lado de Vicente de Carvalho, limitando as intervenções em propriedades, e em decorrência mitigando impactos socioambientais, torna-se imperioso tal remanejamento da linha de transmissão, por um lado, para liberação de área para implantação de doca seca, dispositivo para confecção dos módulos componentes da estrutura do túnel, e por outro lado em função da implantação dos acessos e emboques do túnel, no trecho mais afastado da orla.

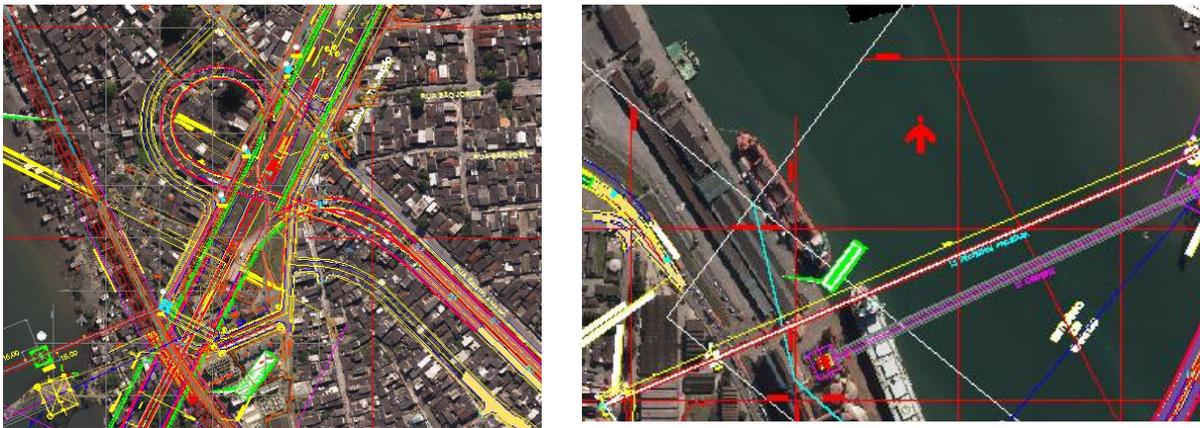
## 2.3 Projeto de remanejamento da LT ITATINGA - SANTOS 44 kV

### 2.3.1. Estudo de alternativas

Os estudos para remanejamento da linha de transmissão foram desenvolvidos a partir de condicionantes e restrições técnicas, locais e operativas, tendo sido avaliadas diversas opções para deslocamento das estruturas para áreas situadas fora da faixa de transmissão, de forma tal a possibilitar pleno uso e ocupação desta para construção e lançamento dos módulos componentes do túnel.

Inspecções de campo realizadas nos trechos anterior e posterior ao Estuário de Santos, com ênfase para as estruturas denominadas torres altas, de travessia do canal, permitiram constatar que estas torres apresentam relativo grau de degradação dos perfis metálicos, chapas e demais elementos que as compõem, as quais requerem manutenção periódica, não se podendo assegurar, entretanto, que estes suportes viriam a se manter estáveis durante as etapas de remanejamento dos cabos condutores para as demais torres previstas para o remanejamento e, por outro lado, a proximidade da torre de Vicente de Carvalho em relação à doca seca, reforçaram a hipótese dominante que balizava para a necessidade de substituição destes suportes de travessia do Estuário de Santos.

Uma vez definida a opção pela substituição destas torres, o remanejamento da linha aérea não se limitou ao trecho de Vicente de Carvalho, sendo prolongado até a chegada da linha de transmissão na SE CODESP - Santos, sendo apresentado na Figura 8 o traçado resultante para o eixo deslocado.



a) lado Vicente de Carvalho

b) lado Santos

Figura 8 - Traçado deslocado do eixo da LT Itatinga - Santos 44 kV

### 2.3.2 Estudos técnicos para definição da solução preferencial

Os estudos de desenvolvimento da solução preferencial, aplicados na fase de análise de traçados alternativos, referem-se a levantamentos de campo, estudos e projetos especializados, os quais são descritos na seqüência.

#### a. Estudo de Cabo Condutor

Tem por objetivo determinar o cabo condutor a ser aplicado no vão da travessia do Estuário, uma vez que, em função da navegação marítima no canal, deve-se manter a distância “cabo - nível d’água” similar à existente na condição atual.

Para atendimento às severas condições da travessia, limitação da flecha máxima da catenária de cabos e vão extenso, o cabo condutor deve atender às seguintes condições:

- carga de ruptura compatível com os requisitos normativos estabelecidos na NBR 5422
- limitação da massa linear por metro
- diâmetro limitado de forma a reduzir os esforços transversais devidos ao vento

Com base nestas condicionantes o cabo condutor selecionado para a travessia do Estuário de Santos é o cabo constituído por alma de fibra de carbono e coroa confeccionada em alumínio de alta resistência, tendo sido adotado para o trecho da travessia, e vãos anterior e posterior, o cabo condutor denominado ACCR 131 T58, fornecido pela 3M. A Tabela I apresenta dados do cabo selecionado.

Como critério geral optou-se por instalação em “suspensão” nas torres de travessia visando, desta forma, evitar desequilíbrios longitudinais nestes suportes, sendo realizada ancoragem nas torres anterior e posterior à travessia, as quais são caracterizadas como torres atuando como estaiamento, com desequilíbrio longitudinal de esforços.

Para os demais trechos, situados fora do trecho correspondente à travessia será utilizado cabo condutor de alumínio com alma de aço, tendo sido definido o cabo CAA 266,8 PARTRIDGE, disponibilizado pelos principais fornecedores do setor elétrico, tais com ALUBAR, NEXANS, PRYSMIAN, PHELPS DODGE, e similares.

Tabela I - Características cabo condutor aplicado na travessia do Canal de Santos

COMPARAÇÃO ENTRE CONDUTORES		
Propriedades do Condutor	Unidade	ACCR_131-T58
Seção	mm <sup>2</sup>	66.29
Diâmetro	mm	13.28
Peso	kg/m	0.318
Carga de Ruptura	kgf	6,123
Resistência Elétrica	Ohm/km	0.3595
Ampacidade		
Max. Temp. de Operação Contínua	°C	48
Ampacidade em Operação Contínua	A	195
Máxima Temp. Operação em Emergência	°C	48
Ampacidade em Emergência	A	195
Flecha e Tração		
Tração Horizontal na Instalação	kgf	940
Tração de Instalação	%RBS	15.45
Tração Horizontal Máxima	kgf	3,017
Tração Máxima	%RBS	50.0
Flecha com Carga Máxima (195A)	m	19.6
Flecha Máxima (Vento)	m	26.28
Condições		
Vão Regulador	m	529
Vão Crítico	m	635
Desnível	m	0

\*Nota: A flecha máxima com carga de 19.6 metros é resultado do critério after creep e a flecha de 20,2 metros apresentada no Anexo 03 - PLD CADD é resultado do critério after load.

#### b. Estudo de Regime de Vento na Região

Face à relevante importância da linha de transmissão para o Porto de Santos, a determinação dos esforços solicitantes máximos na estrutura e nos cabos condutores deve ser realizada de forma a representar os efeitos do vento predominante na região do canal de Santos, o qual deve ser determinado a partir de estudo estatístico de série histórica de dados correspondentes ao período de medição disponível e, de forma a representar a relevância da instalação, o período de retorno a ser adotado deve ser  $T = 250$  anos.

#### c. Projeto de Torres Especiais na Travessia do Estuário

As torres de travessia do canal se caracterizam como estruturas especiais, devendo ter altura suficiente para assegurar adequada distância entre o nível d'água e os cabos condutores, ter altura máxima similar às torres existentes, e largura de base relativamente pequena, com ênfase para a torre a ser instalada no lado de Santos, uma vez que o ponto de implantação da torre tem área reduzida, face à indisponibilidade de espaço na área da CODESP.

Neste sentido, deverá ser projetada torre especial, devendo ser aplicados fatores de minoração na resistência dos elementos estruturais, uma vez que não são previstos ensaios de carga de protótipo. Esta recomendação está em conformidade com os requisitos da norma IEC 60826.

Face ao caráter provisório da instalação, tendo em vista que após a conclusão do túnel a linha de transmissão migrará para seu interior, e em havendo necessidade de ligeiro aumento da altura das torres de travessia, visando consolidar solução integrada que compatibilize os fatores "largura de base", "rigidez transversal", "capacidade de carga" e "magnitude de esforços nas fundações", será pleiteada, junto ao órgão aeronáutico responsável pela Base Aérea de Santos, a elevação temporária da cota final da torre de travessia, sendo salientado que, na condição atual, as torres existentes já ultrapassam o limite da área circular externa, condição aceita pelo órgão aeronáutico em função da antecedência da linha de transmissão em relação ao aeródromo referenciado. A Figura 9 apresenta silhueta da estrutura prevista para utilização no vão da travessia e árvores de carregamento associadas.

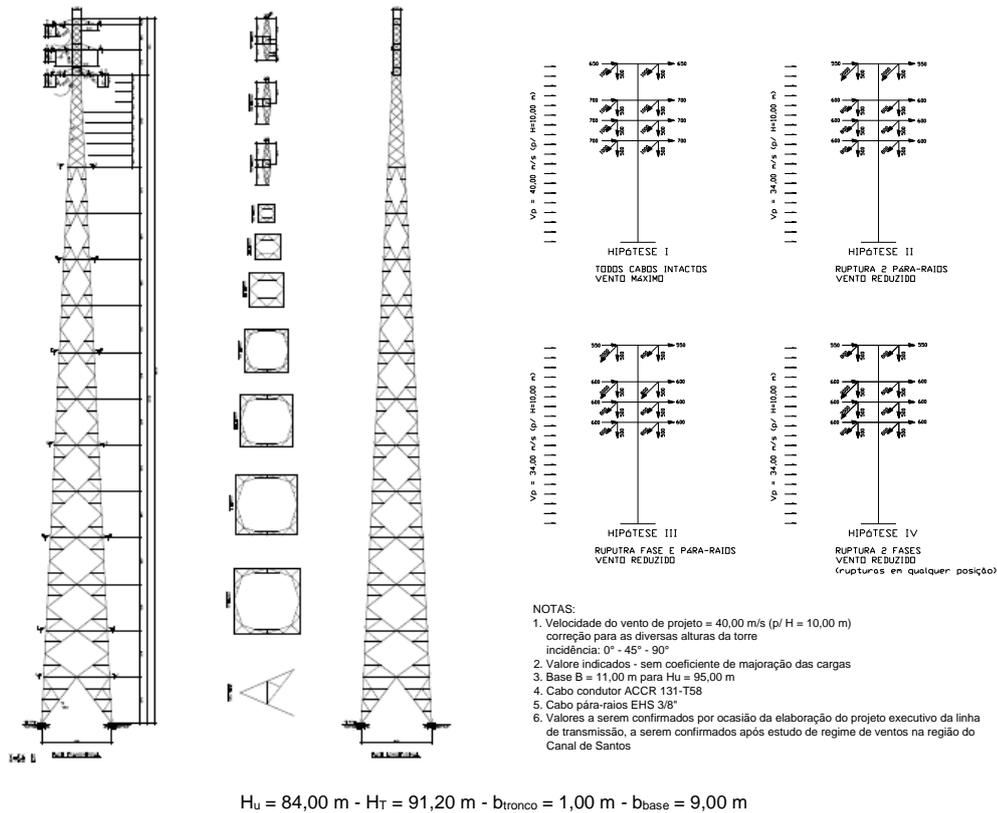


Figura 9 - Silhueta básica das torres de travessia do Canal de Santos (ref. Versatil Engenharia de Torres)

#### d. Projeto de Fundações para torres de travessia

Os solos da Baixada Santista são caracterizados, tipicamente, por espessas camadas de argila orgânicas marinha, com profundidade variando entre 35,00 m e 50,00 m havendo, em alguns casos, lentes de material mais resistente inseridas camada de argila marinha.

Neste sentido, as fundações das torres aplicadas no remanejamento são constituídas de blocos estaqueados, sendo utilizadas estacas metálicas para as torres da travessia e torres de quebra de tração (estaiamento), e pré-moldadas para os suportes submetidos a menor nível de carregamento.

Especificamente para a torre de travessia situada no lado de Santos (área do Porto), foi identificado afloramento rochoso a profundidade relativamente pequena, tendo sido adotado para esta fundação estacas raiz, com embutimento no material consolidado. A Figura 10 apresenta detalhe da fundação projetada para esta estrutura.

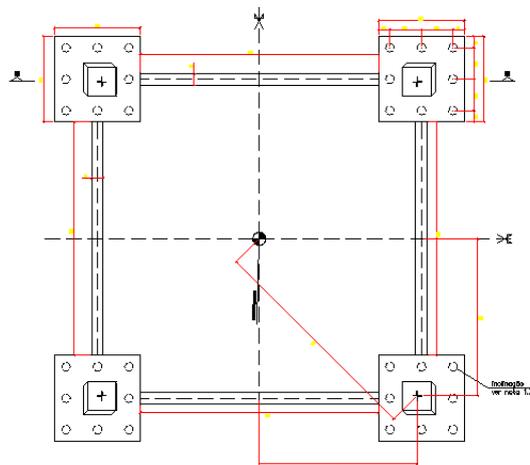


Figura 10 - Detalha fundação estaqueada para torre de travessia

### 3.0 - CONCLUSÃO

Os autores têm a expectativa de terem contribuído, embora de forma simples, para a divulgação de uma das mais antigas linhas de transmissão ainda em operação no Brasil a qual, embora limitada na tensão operativa e na potência transferida, é responsável pelo fornecimento de energia ao mais importante porto da América Latina.

Suas características peculiares, com ênfase para o expressivo vão de travessia do Canal de Santos, e face à sua antiguidade, inaugurada em 10/10/1910, impressionaram os autores de forma determinante, a ponto de procurarem divulgá-la de forma abrangente para o setor elétrico, principalmente para aqueles que se iniciam nesta importante área da engenharia.

Embora em igualdade de importância, a LT ITATINGA – SANTOS 44 kV e a ligação subaquática Santos - Guarujá (em fase de projeto), talvez a primeira tenha recebido maior destaque neste informe técnico, ficando a cargo dos leitores avaliar e, se houver oportunidade, conhecer com maior profundidade este importante empreendimento secular.

### 4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

(1) Castilho, Ana Luisa H.; Barbosa, Itamar B. A construção de uma das primeiras usinas hidrelétricas paulistas – Itatinga – Labor e Engenho, V.9, n.1, p.73-81, jan/mar2015

(2) Castilho, Ana Luisa H., Itatinga: A hidrelétrica e seu legado – São Paulo: Editora Neotropica, 2010

### 5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Roberto F. Moreno: Engenheiro civil (Politécnica USP - 1978) e ambiental (Faap - 2002), ex-funcionário das empresas Light, Eletropaulo, EPTE e CTEEP, diretor técnico da EDF Engenheiros Associados (EPTE)

Gerson Fernandes Júnior: Engenheiro civil (Universidade de Guarulhos - 2013). Engenheiro de projetos de linhas de transmissão na EDF Engenheiros Associados (EPTE)

Patricia Rodrigues Fernandes: Engenheira civil (Universidade de Guarulhos - 2015). Engenheira de projetos de linhas de transmissão na EDF Engenheiros Associados (EPTE)

Leonardo Y. Zanotti: Título de Bacharel Engenharia de Automação e Controle (2011), Pós-Graduação em Engenharia Eletrotécnica e Sistema de Potência no Centro Universitário Salesiano. Pós-graduado em Administração de empresa pela FGV. Na 3M do Brasil, atua há 4 anos como Engenheiro de Aplicação para cabos HTLS (3M ACCR) no Brasil e demais países da América Latina .