



GRUPO DE ESTUDO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO - GLT

DESAFIOS NA IMPLANTAÇÃO DA LT 230 kV BIGUAÇU-RATONES, COM TRECHOS AÉREO, SUBMARINO E SUBTERRÂNEO

**RENATO THALES MANSUR(1);JODY FUJIHARA(1);ROGÉRIO LAVANDOSCKI(1);GABRIELA DE SOUZA RODRIGUES(1);JULIO CESAR RAMOS LOPES(2)
ISA CTEEP(1), INOVATEC(2)**

RESUMO

Este artigo apresenta os estudos de viabilidade e as soluções para implementar uma linha de transmissão de dois circuitos, designada de LT 230kV Biguaçu – Ratonas, licitada no Leilão ANEEL 002/2018. Possui um trecho aéreo de 10 km, um trecho submarino de 13 km, e um trecho subterrâneo de 4 km. Interliga a subestação existente de Biguaçu, no continente, e a subestação de Ratonas a ser implantada, na ilha catarinense. Esta linha foi planejada para garantir o fornecimento de energia, prevendo um crescimento da carga nos próximos 25 anos, para a cidade de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, localizada na região sul do Brasil.

PALAVRAS-CHAVE

Cabo subterrâneo – Cabo submarino – Estudos de viabilidade – Instalação – Linha de transmissão

1.0 INTRODUÇÃO

A Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, realizou leilão de concessão de transmissão em junho de 2018. Um dos lotes deste leilão foi uma concessão de transmissão composta por uma nova subestação – SE Ratonas, um bay de saída de linha em uma subestação existente – SE Biguaçu, e uma linha de transmissão com dois circuitos de 230 kV – LT 230kV Biguaçu - Ratonas. Esta linha foi planejada para garantir o fornecimento de energia, prevendo um crescimento da carga nos próximos 25 anos, para a cidade de Florianópolis, capital do estado de Santa Catarina, localizada na região sul do Brasil. As características da linha de transmissão são:

- Linha de Transmissão mista
- Tensão nominal: 230 kV
- Comprimento Total: 27 km
- Trecho aéreo: 10 km
- Trecho submarino: 13 km
- Trecho subterrâneo: 4 km
- Circuito: dois circuitos simples

Neste contexto, o presente artigo tem como finalidade apresentar as soluções técnicas empregadas nos trechos aéreos, submarinos e subterrâneos desta linha de transmissão, para superar as dificuldades encontradas durante o projeto e possibilitar a sua implementação.

2.0 CARACTERIZAÇÃO DO TRECHO AÉREO

O trecho aéreo será constituído de duas linhas de circuito simples - Circuito 1 (C1) e Circuito 2 (C2), que terão extensão em torno de 10,0 km. A planta do traçado da LT 230 kV Biguaçu - Ratonas C1 e C2 foi concebida a partir de estudos realizados em imagens de satélite, mapas do IBGE e visitas a campo visando o menor percurso, o apoio em áreas de topografia plano-ondulada e o aproveitamento dos acessos existentes, com o objetivo de mitigar os impactos ambientais decorrentes da implantação.

Conforme exigência do edital da ANEEL 02/2018 as Linhas de Transmissão de 230 kV, em sua parte aérea, deverão manter uma distância suficiente entre eixos para que, na ocorrência de queda de torre

em C1 ou C2, o circuito remanescente não sofra desligamento ou danos em seus elementos estruturais o que exigiu da ISA CTEEP diversos estudos dos traçados envolvendo as áreas da engenharia, meio ambiente e fundiário.

Devido a particularidades e diferenças significativas nas estruturas, o traçado foi dividido em dois trechos:

- Trecho Rural: 8,0 km.
- Trecho Urbano: 2,0 km.

O trecho rural é composto por torres em estruturas treliçadas autoportantes, espaçadas em média de 450,0 metros com uma faixa de servidão de 40 metros (20 metros para cada lado do traçado), já no trecho urbano, essa faixa varia, sendo de 15 metros (7,5 metros para cada lado do eixo da linha), utilizando postes metálicos espaçados em média de 165,0 metros.

Para a escolha definitiva do traçado foram avaliadas localidades favoráveis à sua implantação considerando a proximidade com as rodovias SC- 407 e SC-401 o que contribuiu para evitar a ocupação irregular das faixas de domínio destas vias.

2.1 CONDIÇÕES DE GOVERNO DOS CABOS

As condições básicas de projeto selecionadas para os cabos visam limitar as trações que atuam sobre os mesmos a valores que garantam sua integridade mecânica durante toda a vida útil prevista para a linha de transmissão aérea. Os limites adotados levam em consideração tanto as cargas resultantes da ação dos ventos elevados na região como também as deformações que podem ser produzidas nos cabos por vibrações induzidas por ventos uniformes de baixa intensidade.

2.2 COORDENAÇÃO DE ISOLAMENTO

Para as cadeias de suspensão, passagem e ancoragem dos condutores foi considerada a utilização de isoladores poliméricos dimensionados em função do NBI mínimo e da distância de arco de forma a garantir o desempenho adequado do isolamento da LT frente a descargas atmosféricas. Para o trecho urbano foi considerado todos os aspectos mecânicos: esforços máximos de compressão, tração, flexão e cargas combinadas bem como as características construtivas, elétricas e mecânicas do isolador line-post.

2.3 SÉRIE DE ESTRUTURAS

A segurança do projeto mecânico estrutural das LT's foi estabelecida com base em critérios probabilísticos, considerando-se as recomendações da IEC-60826 [1], critérios de confiabilidade exigidos nos editais da ANEEL e estudos estatísticos de dados climatológicos elaborados para o local das LT's, no Estado de Santa Catarina.

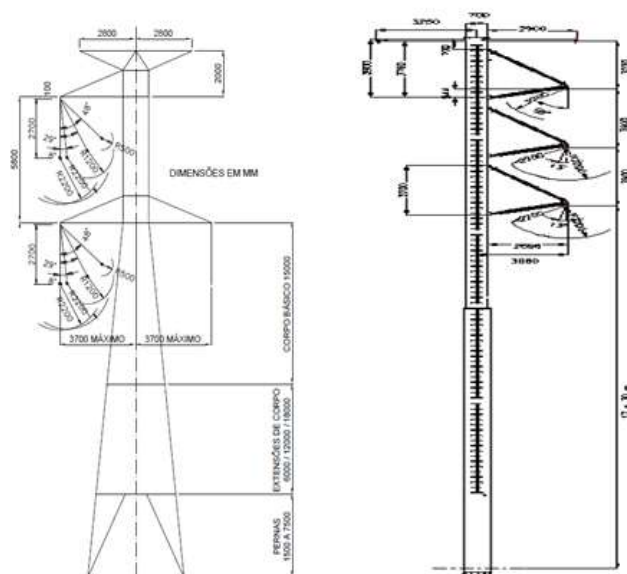


Figura 1. Estruturas típicas do trecho rural e urbano

A partir das características dos cabos utilizados e das pressões do vento de projeto foram calculadas as cargas atuando nas estruturas que compõem a linha de transmissão. A série de estruturas para trecho rural da LT será composta por cinco tipos de torres. Já a série de postes utilizadas no trecho urbano será composta por 3 tipos. Todas as estruturas deverão ser sobregalvanizadas devido a salinidade da região em função da proximidade com o mar.

2.4 FUNDAÇÕES

Para definição das fundações, foram realizadas sondagens tipo SPT (Standard Penetration Test) conforme a NBR 6484: Solo — Sondagem de simples reconhecimento com SPT — Método de ensaio. Nos locais onde o solo apresentou-se impenetrável ao SPT em cotas inferiores a 3m, foram realizadas sondagens rotativas para caracterização do topo rochoso.

Nas regiões planas de altitudes inferiores a 15m acima do nível do mar, o solo encontrado foi predominantemente fraco, com camadas extensas de argila orgânica. Já nas regiões altitude mais elevada e com relevo acidentado, foi encontrado o topo rochoso nas camadas superficiais.

Para as torres, locadas principalmente nas áreas de morro, foram adotadas soluções de fundações convencionais em tubulão e sapata. Já para os postes monotubulares, utilizados principalmente nas áreas de menor altitude e, conseqüentemente, com solo mais fraco, devido as elevadas cargas resultantes na fundação, foi necessário adotar soluções de fundações em blocos sobre estacas metálicas ou estacas raiz, chegando a blocos com 12 estacas de até 28m de profundidade.

3.0 CARACTERIZAÇÃO TRECHO SUBAQUATICO

No trecho submarino, os cabos serão enterrados a 1 m de profundidade no fundo do mar e dispostos em uma formação plana horizontal. Conforme exigido nos editais do leilão 002/2018 e, por questões de segurança da instalação, os cabos serão instalados com distância de 25 m entre as fases. A Figura 2 mostra a disposição dos cabos no leito marinho.

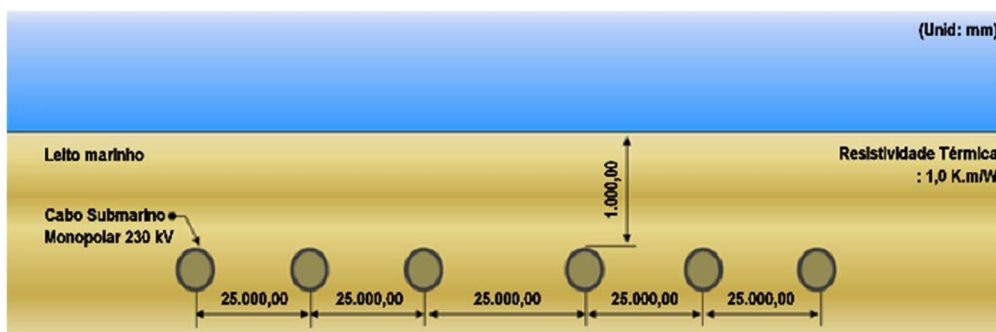


Figura 2. Disposição dos cabos no leito do mar

Antes do dimensionamento do condutor dos cabos isolados, e para a elaboração do projeto executivo da linha, diversos levantamentos foram feitos no local da instalação: resistividade térmica do solo, batimetria, sísmica de alta resolução, ultrassonografia de varredura lateral e sedimentologia de amostras do solo removido no fundo do mar. A medição de temperatura e resistividade térmica foi realizada com auxílio de mergulhadores para inserir a sonda no fundo do mar.

O levantamento batimétrico da seção subaquática da linha de transmissão é importante para conhecer as profundidades do canal marinho. Ele determina o perfil da linha, o tipo de embarcação e as metodologias que podem ser utilizadas para o lançamento dos cabos. A profundidade máxima do canal é de 4 m e a mínima é de 1 m próximo às praias. Vale ressaltar que existem trechos mais rasos nas extremidades do canal, por onde chegam os cabos para instalação nas zonas de transição. Nestes locais o lançamento dos cabos empregará mergulhadores, boias e equipe em terra.

O levantamento sísmico de alta resolução é importante para determinar as camadas do fundo do mar e os tipos de solo. Foi realizado com equipamentos que emitem ondas sonoras por meio de fontes artificiais direcionadas ao fundo do mar e seu reflexo é captado por microfones receptores. Os equipamentos de emissão e captura de ondas refletidas são posicionados na superfície marinha e puxados por uma embarcação ao longo da rota do cabo. A Figura 3 mostra o equipamento utilizado nesta pesquisa e uma seção parcial do perfil pesquisado.

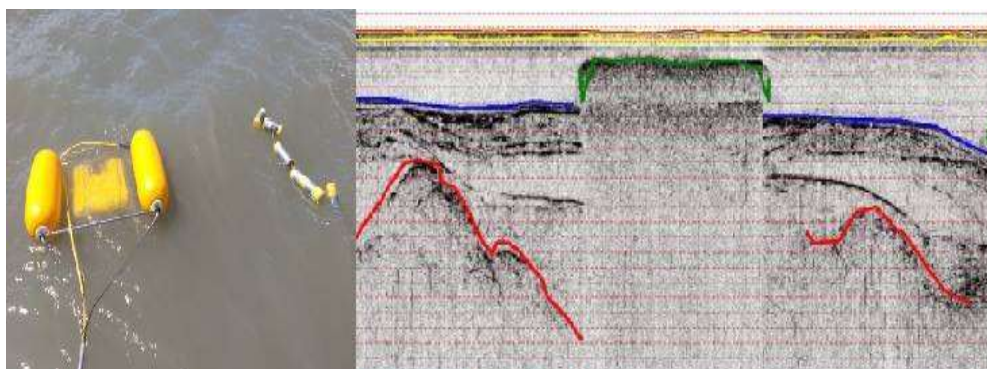


Figura 3. Equipamento sísmico e perfil parcial

Além da sísmica de alta resolução, para caracterização do solo marinho, foram coletadas amostras em diversos pontos ao longo da rota e realizadas análises sedimentológicas em laboratório, onde foram coletados dados de granulometria, teor de carbono e densidade.

Os relatórios anexados ao edital do leilão consideraram um cabo isolado de 230 kV, condutor de cobre de 800 mm². Para reduzir os custos da proposta foi considerado um cabo isolado com condutor de alumínio. O condutor do cabo foi dimensionado com base nas normas IEC 60287 [2] e IEC 60853 [3]. A

seção transversal do cabo é apresentada na Figura 4.

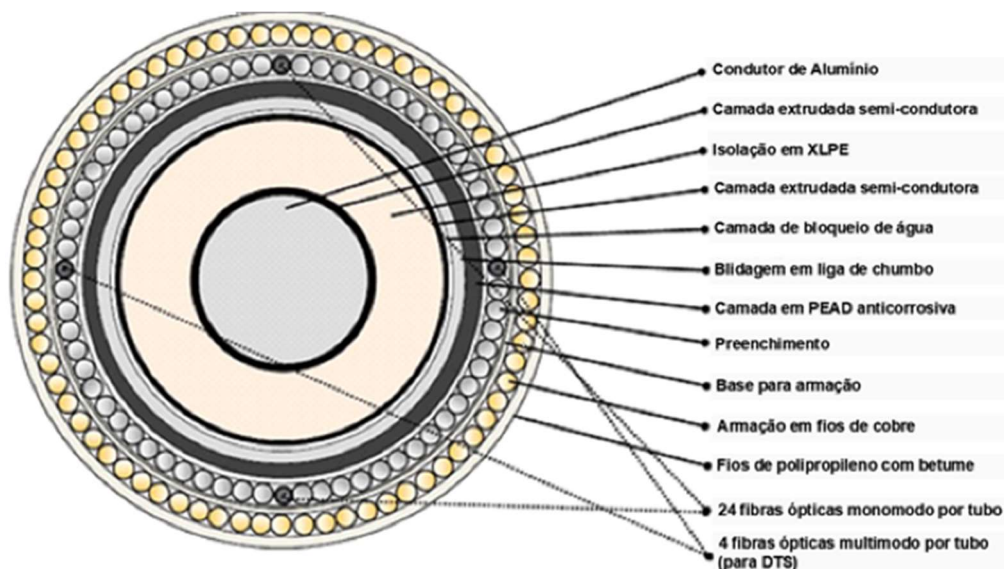


Figura 4. Cabo submarino - 1200 mm² Al

4.0 CARACTERIZAÇÃO TRECHO SUBTERRÂNEO

O trecho subterrâneo da linha de transmissão ligará a zona de transição submarina/subterrânea, em Santo Antônio de Lisboa, à subestação Ratoles. Terá um comprimento aproximado de 4000 m. Os dois circuitos serão instalados em uma única vala em formação plana vertical até a chegada à subestação de ratones. A Figura 5 ilustra o banco de dutos.

O traçado da linha de transmissão buscou reduzir os impactos durante a implantação na região, principalmente as questões socioambientais. A região de Santo Antônio é uma região turística com diversos pontos de interesse histórico e densa zona residencial e comercial. O traçado do trecho subterrâneo evitou cruzar o centro histórico da vila e seguiu por ruas e avenidas vizinhas e pelo acostamento da Rodovia Estadual SC-401.

Para a elaboração do projeto executivo e dimensionamento dos cabos isolados da linha subterrânea, foram realizados levantamentos de campo: topografia, mapeamento de interferências, resistividade térmica, resistividade elétrica e levantamentos geotécnicos.

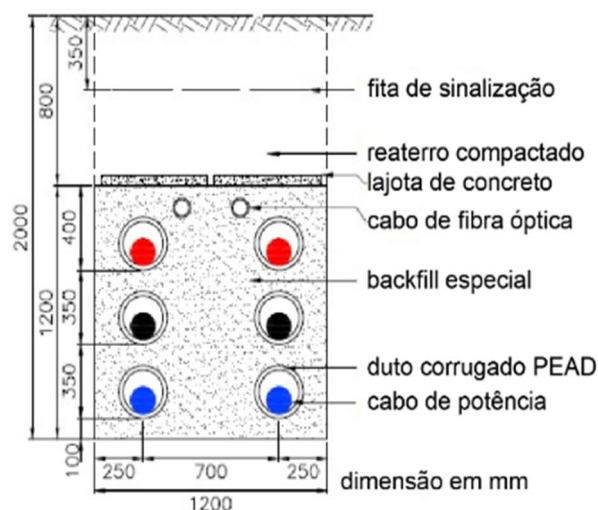


Figura 5. Secção típica da vala

A secção do condutor foi dimensionada com base nas normas IEC 60287 [2] e IEC 60853 [3]. A Figura 6 mostra a secção transversal do cabo que será utilizado na secção subterrânea.

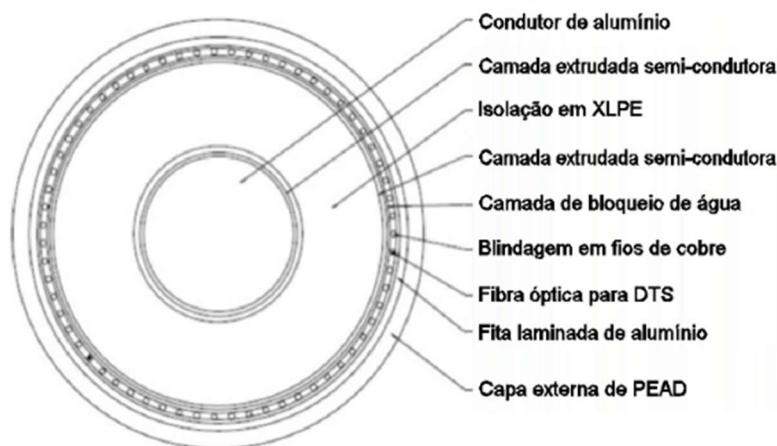


Figura 6. Cabo subterrâneo - 1600 mm²

5.0 TRANSIÇÕES

Duas transições foram necessárias para cada circuito, uma transição aérea-submarina no continente e uma transição submarino-subterrânea na ilha. Devido às limitações de espaço, uma solução de circuito duplo foi escolhida para cada transição.

Para a localização da transição aérea-submarina houve restrição de espaço devido às casas localizadas na área da praia. O local onde será feita a transição possui uma área de aproximadamente 27 m x 63 m. A transição do cabo submarino será realizada em estrutura de pórtico. Uma estrutura tipo pórtico foi escolhida para otimizar o comprimento do cabo submarino e evitar o uso de uma torre terminal de transição robusta devido às cargas aéreas dos condutores. Uma dificuldade para projetar essa transição foi a necessidade de uma torre alta para atravessar a rodovia próximo à transição, como pode ser visto na Figura 7 a.

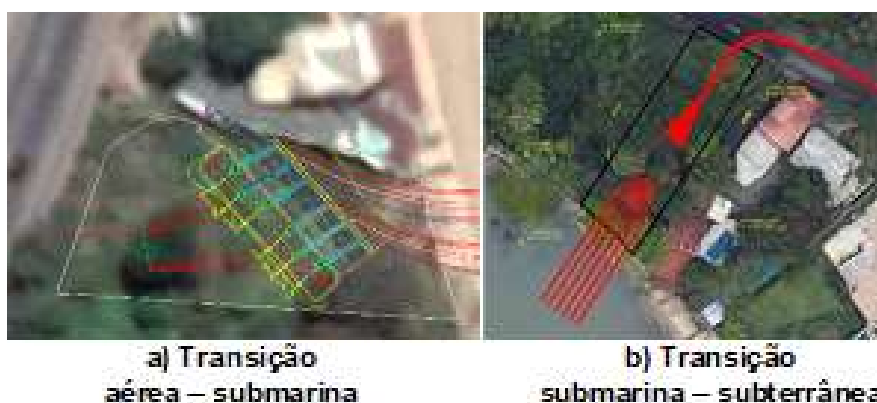


Figura 7. Área de transição

A transição submarina – subterrânea ocorrerá na margem da ilha. A transição será feita diretamente entre os cabos submarinos e subterrâneos, e serão utilizadas emendas especiais para conectar esses dois tipos diferentes de cabos. A Figura 7 b mostra a posição dessa transição.

As emendas de transição submarino – subterrâneo serão colocadas em uma caixa de concreto enterrada na margem da praia da ilha. Para garantir o desempenho térmico adequado do sistema (cabo e emendas) a caixa será preenchida com um backfill especial com baixa resistividade térmica e termicamente estável. Lajes pré-moldadas de concreto serão colocadas sobre o aterro para proteger as emendas e cabos

Devido ao relevo bastante acidentado dos terrenos de ambas as zonas de transição, serão realizadas terraplanagens para garantir a estabilidade e a segurança das estruturas, bem como construção de platôs para acesso dos veículos da manutenção.

6.0 DESAFIOS E SOLUÇÕES INOVADORAS

O desenvolvimento do projeto do trecho aéreo, submarino e do trecho subterrâneo apresentou inúmeros desafios. Para viabilizar a linha de transmissão mista foram empregadas soluções inovadoras ou pouco usuais em projetos desta natureza.

O primeiro desafio encontrado foi com relação aos custos deste empreendimento. Para ser competitivo na licitação era necessário propor soluções não convencionais. A principal delas foi a utilização de condutores de alumínio ao invés de cobre, como estava inicialmente previsto na licitação no trecho submarino. Para o trecho subterrâneo este tipo de material para o condutor tem sido utilizado sem restrições nos últimos dez anos. Entretanto para o trecho submarino, houve forte reação uma vez que muitos países ainda utilizam o cobre no condutor. Após intensa pesquisa realizada junto às concessionárias europeias tomou-se a decisão de utilizar este tipo de material. Esta solução trouxe uma significativa redução de custos para o projeto.

Outra dificuldade importante no trecho submarino foi a localização dos cabos em águas rasas. Foi necessário desenvolver toda a logística de recebimento do cabo em um porto distante 85 km do local de instalação, o transbordo para uma barça de baixo calado, adaptada para o transporte e lançamento dos cabos. É importante ressaltar que embora existam empresas no país com conhecimento de trabalhos marítimos para o setor de exploração de petróleo, óleo e gás em alto mar, no continente sul-americano não existem empresas com experiência neste tipo de serviço em águas rasas. A contratação de empresas estrangeiras, principalmente norte americanas ou europeias representaria um elevado custo para este empreendimento. Foi necessário o desenvolvimento de empresas que atendessem e executassem estes serviços.

Outro grande desafio foi a região de implantação dos cabos submarinos. No canal onde serão instalados estes cabos existem fazendas marinhas que criam ostras e mariscos de grande importância comercial para a região. Além disso, bem próximo a este local, em uma das margens do canal marinho, está localizada uma extensa área de preservação ambiental permanente, que não pode sofrer qualquer intervenção.

As soluções empregadas buscaram a menor movimentação possível do solo marinho durante o lançamento e enterramento dos cabos e evitaram qualquer aproximação com a área de preservação ambiental.

As transições do trecho aéreo para submarino e submarino para subterrâneo apresentaram alguma dificuldade. As áreas disponíveis, com pouco espaço disponível e próximas a locais urbanizados exigiram a adoção de soluções criativas. A transição aérea-submarina foi projetada com a linha aérea chegando em estruturas de circuito único independentes, por exigência do edital de licitação, em pórtico e o mergulho direto nos terminais dos cabos isolados. Neste ponto foram projetados para-raios para controle das sobretensões originadas por descargas atmosféricas e manobra. A transição submarina-subterrânea será feita através de emenda de transição unindo cabos de condutores de seções diferentes – 1200 mm² para 1600 mm².

O trecho subterrâneo, a princípio não apresentou grande dificuldade de escolha de traçado, apesar das limitações de rotas no vilarejo de Santo Antônio de Lisboa, uma vez que é um local histórico e com restrições devido tombamentos. Havia apenas uma possível alternativa que percorria o acostamento da

rodovia que une Santo Antônio de Lisboa – local da área de transição – a Ratonas – local da nova subestação a ser implantada.

A grande dificuldade será encontrada durante a execução das obras civis de construção do banco de dutos, pelo método de vala a céu aberto, onde serão instalados os cabos isolados. Esta rodovia apresenta grande movimento durante a temporada turística de verão e exigirá medidas para preservar a segurança das obras, trabalhadores e principalmente da população de turistas que transita pela região.

O trecho aéreo atravessa trechos rurais, urbanos, vegetação e topografia acidentada, além da necessidade de atendimento a exigências não comuns do edital ANEEL, como por exemplo, a separação do circuito duplo em dois circuitos simples, com o objetivo de evitar a perda dos dois circuitos no caso da queda de um deles. Várias foram as dificuldades encontradas para o desenvolvimento desse projeto, exigindo o uso de alternativas técnicas, materiais e tecnologias de vanguarda, ou seja, utilização por exemplo, de estruturas em postes metálicos em parte do trecho urbano, possibilitando a compactação da linha, com consequente redução da faixa de passagem e dos impactos socioambientais.

7.0 CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES

Os estudos e o projeto executivo para a implantação desta linha mista, inédita no país foram bem-sucedidos. A proposta vencedora da ISA CTEEP foi embasada em todas as soluções inovadoras ou pouco usuais empregadas, com abordagem de engenharia empregando novos materiais distintos daqueles normalmente utilizados mundialmente.

Todos os cabos e acessórios já estão fabricados e se encontram no Brasil para instalação.

As obras civis e de instalação eletromecânica tem início previsto para o primeiro semestre deste ano de 2021 e estão em fase de mobilização.

Portanto, apesar dos enormes desafios encontrados neste empreendimento, o mesmo pode ser considerado um sucesso em todos os aspectos e servirá de referência para outros empreendimentos semelhantes para todo o Grupo ISA.

8.0 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEC 60826:2017 - Design criteria of overhead transmission lines
- [2] IEC 60287 – Electric Cables – Calculation of the current rating
- [3] IEC 60853 – Calculation of the cyclic and emergency current rating of cables

DADOS BIOGRÁFICOS



(1) RENATO THALES MANSUR

Nascido em 1989 em Belo Horizonte, MG.

Graduado em Engenharia Elétrica e especialista em Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica pela Pontifícia Universidade Católica, mestrando em Sistemas de Potência pela Universidade Federal de Minas Gerais e MBA em Gestão de Projetos pela USP. Atua há mais de 13 anos em projetos de Linhas de Transmissão participando dos principais projetos do sistema de transmissão de energia elétrica do Brasil, destacando-se o Bipolo 800 kV, Bipolo 600kV, LT's em 525 kV, 500kV, 440kV, 345kV, 230kV, 138kV e 69kV. Atualmente trabalha como Engenheiro Eletromecânico de linhas de transmissão na ISA CTEEP.

(2) JODY FUJIHARA

Nascido em 1980 em Vitória, ES. Engenheiro Eletricista e especialista em Gerenciamento de Projetos pela Fundação Getúlio Vargas (SP) em 2015. Atualmente trabalha como Engenheiro Eletromecânico de linhas de transmissão na ISACTEEP.

(3) ROGÉRIO LAVANDOSCKI

Nascido em 1969 em Santa Bárbara D'Oeste, SP. Engenheiro mecânico e especialista no setor elétrico pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) em 2016 e mestre em Engenharia de Materiais – Universidade Federal de São Carlos (UFSCar) em 2005. Atualmente trabalha como coordenador de engenharia de projetos de linhas de transmissão na ISA CTEEP.

(4) GABRIELA DE SOUZA RODRIGUES

Nascida em 1992 em Andradina, SP. Engenheira Civil pela Universidade Católica Dom Bosco (UCDB) em 2016, Especialista em Geotecnia pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais (PUC-MG) em 2019 e mestranda em Geotecnia pela Universidade de São Paulo (USP). Atualmente trabalha como Engenheira Civil de Linhas de Transmissão na ISA CTEEP.

(5) JULIO CESAR RAMOS LOPES

Engenheiro Eletricista formado pela Escola Politécnica da USP e pós-graduação em MBA Executivo Internacional pela Fundação Instituto de Administração da USP. Exerceu cargos de coordenação e gerência por mais de 25 anos na Eletropaulo nas áreas de engenharia, planejamento do sistema, projetos e construções de subestações e linhas de transmissão de alta e extra-alta tensão (88, 138 e 345 kV) tendo coordenado a implantação de subestações e linhas de transmissão aéreas e subterrâneas. Desde 2008 é o diretor da Inovatec.