



Grupo de Estudo de Linhas de Transmissão-GLT

FLEXIBILIZAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO EM REGIÃO LITORÂNEA DE FORMA COMPACTA: ADOTANDO LINHA DE TRANSMISSÃO MISTA (AÉREA + SUBTERRÂNEA)

VINICIUS DOS SANTOS LIMA(1); EMMANUEL PASQUA DE MORAES(2); JOSÉ VENANCIO DE PAULA JUNIOR(2); CHANDER PAULO MENDONÇA SIMÕES(2); THIAGO MICHEL DO VALLE PEDROSO(3); PAULO EMMANUEL DE ABREU JUNIOR(3); EDS(1);ELEKTRO(2);SECCIONAL(3);

RESUMO

A abordagem que será feita neste trabalho sobre os diversos aspectos que envolvem a compactação das conexões de linhas de transmissão, visa criar uma oportunidade concreta para que os profissionais da área conheçam as particularidades de tais experiências e possam, dessa forma, obter subsídio técnico para tomada de decisões e desenvolvimento de soluções em casos correlatos.

Iremos demonstrar 2 tipos de enterramento para conexão em uma mesma subestação, bem como as dificuldades de viabilizar a linha de transmissão subterrânea em local de solo arenoso e alagadiço.

PALAVRAS-CHAVE

Cabos isolados, linhas subterrâneas, linhas mistas, enterramento de linhas, transições.

1.0 - INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a demanda de energia no litoral sul de São Paulo tem aumentado, principalmente durante o verão, período em que população de veraneio aumenta significativamente, e devido a essa demanda o sistema da região requer melhorias de qualidade e confiabilidade de entrega de energia.

Diante de tal necessidade foi definida pela concessionária ELEKTRO a construção da LT 138kV MANOEL DA NÓBREGA – MONGAGUÁ e a LT 138kV MONGAGUÁ – PERUIBE, para aumentar a potência e flexibilizar o sistema elétrico da região, interligando a nova SE MANOEL DA NÓBREGA (ALUPAR) até a SE PERUIBE (ELEKTRO), ambas com conexão na SE MONGAGUÁ (CTEEP).

Nos estudos iniciais desenvolvidos pela distribuidora as duas linhas de transmissão eram na totalidade aéreas, mas devido restrições de espaço físico na SE MONGAGUÁ, e a inviabilidade de ampliação da mesma, foi necessário realizar a compactação de entrada das linhas, aderindo a configuração subterrânea quando da chegada na citada SE.

2.0 - FLEXIBILIZAÇÃO E AMPLIAÇÃO DO SISTEMA ELÉTRICO NO LITORAL SUL DE SÃO PAULO

A ELEKTRO seguindo a definição do relatório PAR-DIT 2014-2016 (Plano de Ampliações e Reforços nas Instalações de Transmissão não Integrantes da Rede Básica) da ONS, para ampliar e flexibilizar o sistema

elétrico da região viabilizou a construção da LT MANOEL DA NÓBREGA – MONGAGUÁ (LT MAN-MON) na extensão aproximada de 20km e a LT MONGAGUÁ – PERUIBE (LT MON-PER) na extensão de 47km.

Ambas as linhas seriam construídas de forma aérea na sua totalidade, no entanto, devido a fatores destacados abaixo foi necessário o enterramento de parte destas linhas de transmissão.

- i. Aprovação de um complexo aeroviário denominado Complexo do Andaraguá, anterior ao projeto da referida linha de transmissão, que será construído vizinho a faixa de servidão da LT MAN-MON e interferirá diretamente com o cone de aproximação de aeronaves;
- ii. Ausência de espaço físico na SE MONGAGUÁ para implantação de equipamentos tradicionais que possibilitem a manobra das linhas;

Tais fatores encaminharam a definição dos 3 (três) pontos de enterramento das linhas de transmissão.

2.1 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS DAS LINHAS DE TRANSMISSÃO

Tabela 1 – Características Elétricas das Linhas de Trnsmissão Subterrâneas

	LT MAN-MON	LT MON-PER
Classe de Tensão	145 kV	145 kV
Classe de Tensão	145 kV	145 kV
Classe de Tensão de Operação - Atual	88 kV	88 kV
Classe de Tensão de Operação – Futuro	138 kV	138 kV
NBI	650 kV	650 kV
Potência (88 kV)	173 MVA	173 MVA
Potência (138 kV)	271,2 MVA	271,2 MVA
Corrente de curto circuito – Trifásica	40 kA	40 kA
Corrente de curto circuito – Monofásica	21 kA	21 kA
Tempo de atuação das proteções	1 segundo	1 segundo
Frequência	60 HZ	60 HZ
Fator de carga	0,75	0,75
Sistema de aterramento	Crossbonding + Single Point	Single Point

2.2 Trechos de Enterramento

Abaixo a tabela com a descrição dos trechos que foram enterrados das 2 linhas de transmissão em análise.

Tabela 2 – Descrição dos Trechos

	Linha de Transmissão	Extensão	Motivações
Trecho 1	LT MAN – MON	1500m	Neste trecho havia a necessidade de enterramento devido a existência do Complexo Aeroviário do Andaraguá, localizado na porção mediana da extensão total desta LT.
Trecho 2	LT MAN – MON	40m	Este trecho foi enterrado para possibilitar a conexão na blindada GIS da SE Mongaguá.
Trecho 3	LT MON – PER	350m	Este trecho foi enterrado para possibilitar a conexão na blindada GIS da SE Mongaguá.

2.2.1 Trecho 1

O trecho 1 localiza-se em uma área compartilhada com a CPFL (LT Henry Borden – Pedro Taques) e vizinha a faixa de Dutos de Gás da Transpetro.

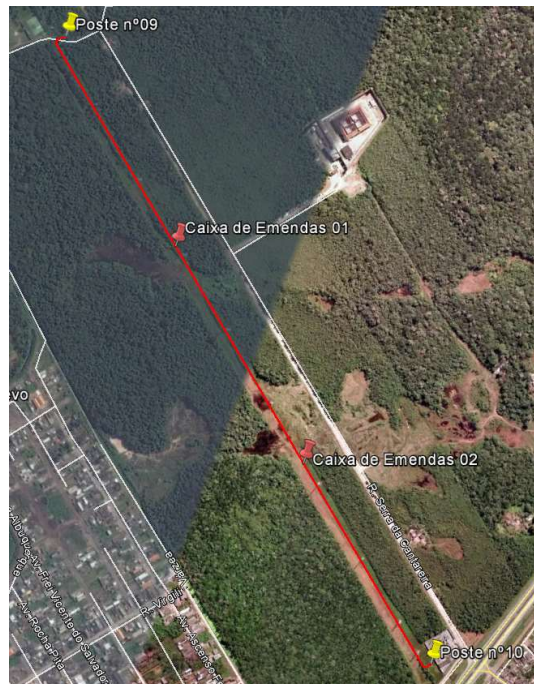


FIGURA 1 – Planta de Localização da LT MAN-MON, trecho subterrâneo.

O local também possui nível d'água elevado no solo, principalmente em períodos de chuvas.

O enterramento deste trecho foi viabilizado com a inserção de 2 estruturas de transição aéreo / subterrâneo, confeccionadas em poste monotubular metálico, e acessórios fixação no corpo da mesma.

Devido a extensão do trecho subterrâneo (1500m) foram inseridas 2 caixas de emendas no traçado, com distancias iguais entre as mesmas para se manter o equilíbrio do sistema de aterramento dos cabos isolados.

Para viabilizar a construção das caixas de emendas, foi necessário elevar a mesma acima da superfície do solo natural, devido ao nível d'água elevado no local.

Segue abaixo imagem da configuração proposta.

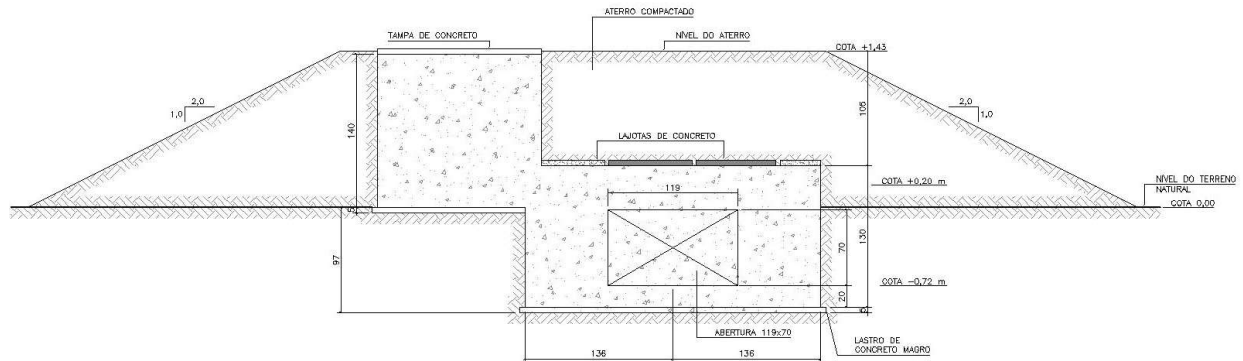


FIGURA 2 – Configuração da Caixa de Emendas.

Nota-se que após a execução das caixas de emendas, será executado um recobrimento das mesmas, com aterro, evitando deixá-las a mostra.

2.2.2 Trecho 2

O trecho em questão é interno a área da SE Mongaguá, onde utilizou-se de um pórtico e bases fixadas no solo para os para-raios e terminais e posteriormente conexão aos cabos subterrâneos.

O caminhamento dos cabos isolados, percorrem 40m até acessar o porão de cabos e posteriormente conectar com a blindada GIS.

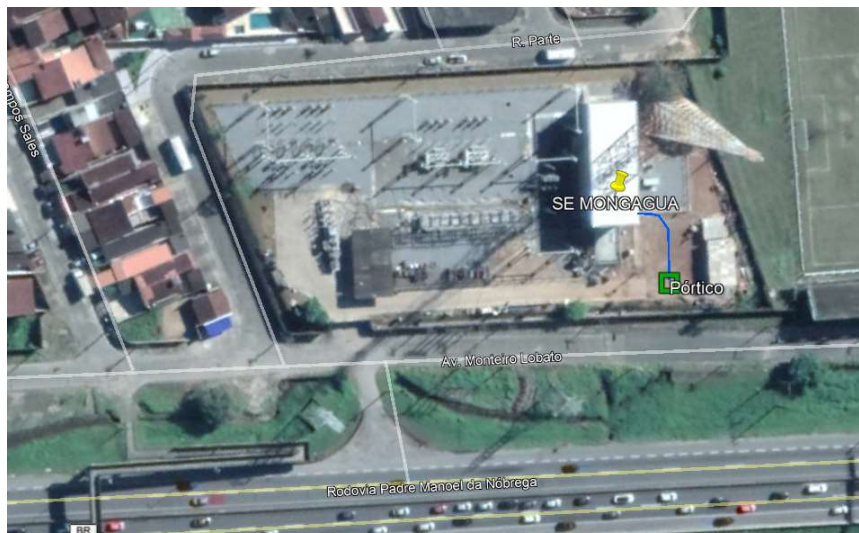


FIGURA 3 – Configuração da Rota dos Cabos da LT MAN-MON, interno a SE Mongaguá.

2.2.3 Trecho 3

Este trecho inicia-se ainda no canteiro lateral da Rodovia Padre Manuel da Nóbrega, onde se instalou uma estrutura de transição aéreo / subterrâneo, confeccionada em poste monotubular metálico de coluna única, distinguindo-se do método que se tornou tradicional nos últimos anos de utilizar postes de concreto e colunas duplas, para esta transição a área projetada de ocupação é de aproximadamente 8m².

Após o mergulho dos cabos isolados, os mesmos percorrem por vias públicas, até acessar a área da SE Mongaguá, e posteriormente o porão de cabos da SE e conectar com a blindada GIS.



FIGURA 4 – Configuração da Rota dos Cabos da LT MON-PER.

2.3 Estruturas de Transição

2.3.1 Transição com Pórtico

Como citado no item 2.2.2 deste trabalho, a transição aéreo/subterrâneo da LT MAN-MON, no ponto de chegada a SE Mongaguá, foi viabilizada com a implantação de pórtico e bases fixadas no solo para os para-raios e terminais e posteriormente conexão aos cabos subterrâneos, em uma área interna da SE, com ocupação de aproximadamente 82m².

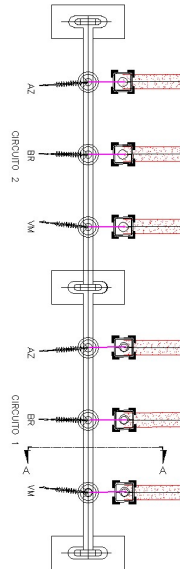


FIGURA 5 – Planta da Transição em Pórtico.

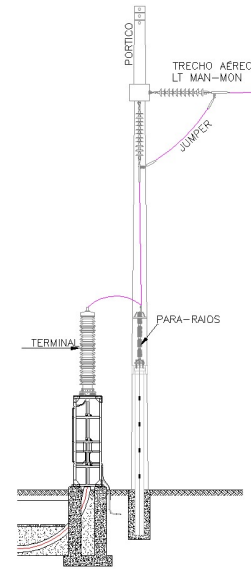


FIGURA 6 – Corte A-A.

2.3.2 Transição com Poste Monotubular

A estrutura foi confeccionada em aço patinável galvanizado, o qual possui melhor comportamento mecânico e resistência à corrosão. Diante das vantagens estruturais do produto foi possível conceber uma estrutura singela reduzindo consideravelmente a área de ocupação (vide item 2.2.3) e minimizando o impacto visual. Além disso, o poste monotubular proporcionou maior facilidade de montagem, utilizando peças parafusadas in loco, de menor peso e menor comprimento, possibilitando utilização de equipamentos de içamento de menor porte. O material empregado nos elementos estruturais apresenta como característica a resistência à corrosão. Mesmo assim, todas as peças foram galvanizadas a fogo, de forma a garantir a confiabilidade necessária ao logo da vida útil da estrutura, tendo em vista a alta agressividade atmosférica do local.

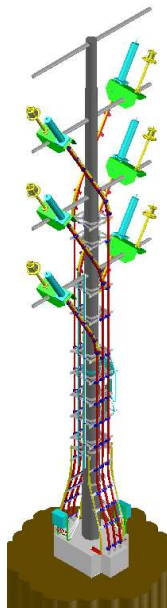


FIGURA 7 – Estrutura de transição (Projetada).



FIGURA 8 – Estrutura de transição (Executada).

Os cabos isolados, são fixados com suportes projetados exclusivamente para esta estrutura, de forma que suportem esforços devido ao peso dos cabos e a ação de ventos nos mesmos. Estes suportes são espelhados para facilitar a montagem na estrutura e utilizam parafusos de aço inoxidável para proporcionar maior proteção contra os efeitos decorrentes da maresia, característica da região.

2.4 Sistemas de Aterramentos

2.4.1 Trecho 1

O sistema de aterramento do trecho 1 é o Crossbonding onde as capas metálicas dos cabos condutores são eletricamente isoladas do solo e também entre os comprimentos elementares adjacente.

A cada três seções elementares de cabo, as capas metálicas são interconectadas entre si e conectadas à terra formando uma seção completa. Assim se as três seções elementares do cabo têm exatamente o mesmo comprimento e as distâncias interaxiais são iguais, a força eletromotriz resultante na capa metálica é nula se as correntes nos condutores forem iguais em módulo e defasadas de 120° .

Desta forma não circula corrente através da capa metálica e, portanto, não há perdas devido as correntes circulantes na mesma.

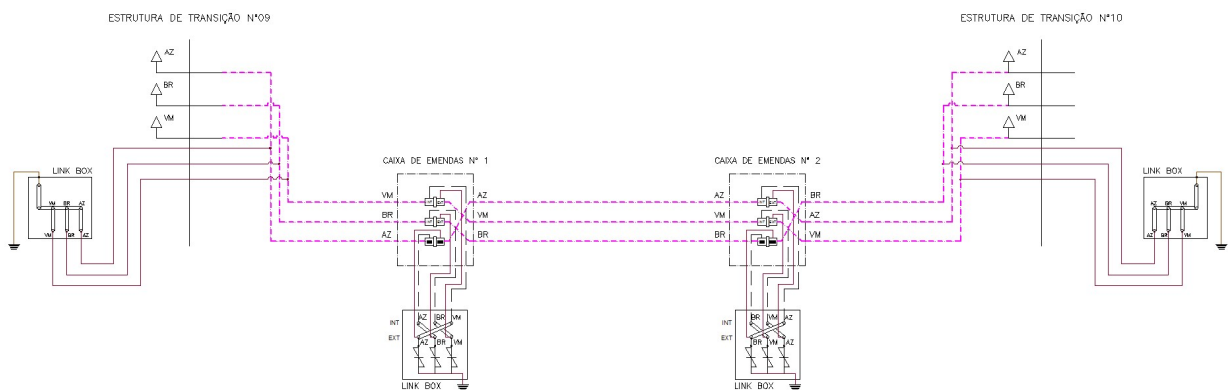


FIGURA 9 – Sistema de Aterramento Crossbonding.

2.4.2 Trecho 2

O trecho 2 foi configurado com aterramento do tipo Single Point, neste sistema não existe um caminho fechado para a circulação das correntes nas blindagens metálicas e, portanto, não existe perdas na mesma.

2.4.3 Trecho 3

Igualmente ao trecho 2, foi adotado o sistema Single Point para o aterramento das blindagens metálicas dos cabos isolados neste trecho.

Outra característica importante do sistema Single Point, é a necessidade de se conectar através de um cabo, as malhas de aterramento das extremidades dos cabos (Transição e SE Mongaguá), igualando assim os potenciais destas malhas.

Após simular a malha de aterramento do poste de transição com o sistema Single Point implantado nos deparamos com um problema no entorno da citada estrutura, uma vez que a mesma é acessível ao público em geral.

Abaixo segue, diagrama de ligação do sistema Single Point.

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

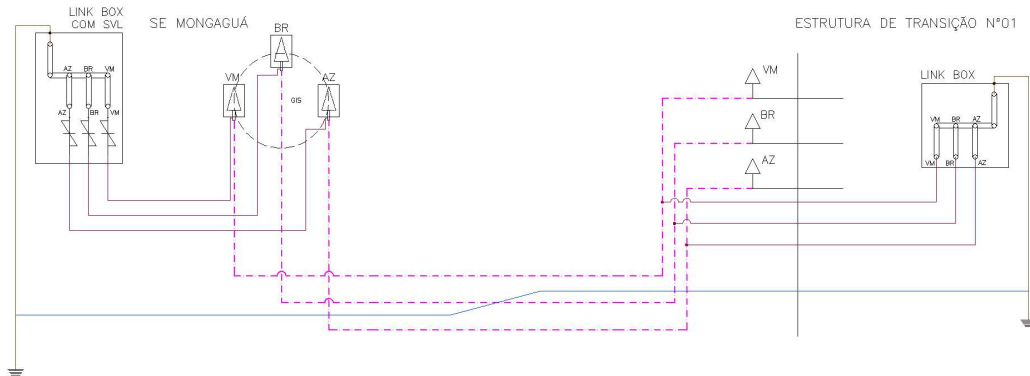


FIGURA 10 – Sistema de Aterramento Single Point.

Tendo em vista que a transição (aéreo/subterrâneo) deste trecho, está instalada na margem da rodovia Padre Manoel da Nóbrega (SP-055), foram adotadas medidas de segurança para evitar-se os riscos a população que estará nas proximidades desta estrutura e atender os requisitos do sistema de aterramento dos cabos isolados

Inicialmente foi projetado uma cerca de proteção metálica, semelhante as proteções adotadas para estruturas de chaves, porém após avaliação da malha de aterramento no entorno do poste de transição (com a conexão do cabo de equipotencialização demonstrado em azul na figura 5) e verificar a possível transferência de correntes de surto da SE Mongaguá para a estrutura de transição, afetando a população que por ventura estejam tocando na cerca de proteção, optamos por uma outra solução que restringisse o toque em áreas metálicas no entorno da citada estrutura.

Desta forma adotamos uma solução em alvenaria, onde utilizou-se da própria base da fundação para erguer um muro no entorno da estrutura com altura de 4m e acessos específicos nos locais de instalação de Link Box.

Segue imagens da proteção de alvenaria, na estrutura de transição da LT MON-PER.

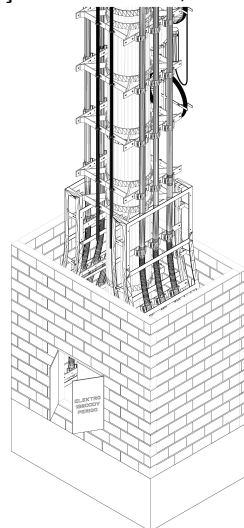


FIGURA 11 – Proteção de Alvenaria (Projetado).



FIGURA 12 – Proteção de Alvenaria (Executado).

2.5 Medições de Resistividade Térmica do Solo

Devido ao fato de as linhas em questão, estarem localizadas em região litorânea e possuírem um solo muito arenoso e úmido, foi executado medições de resistividade térmica do solo, para se obter parâmetros da dissipação de calor propiciada pelo solo do local.

Para se obter uma resistividade média da região, adotou-se a execução de 3 pontos de medições no trecho 1 (LT MAN-MON), e 2 pontos no trecho 3 (LT MON-PER).

As medições foram executadas nas profundidades de 0,75, 1,00 e 1,25m.

Abaixo apresentamos os valores obtidos nas medições.

Tabela 3 – Valores de Resistividade Térmica do Solo LT MAN-MON

	Valores
Medição 1	0,74°C.M/W
Medição 2	0,50°C.M/W
Medição 3	0,41°C.M/W

O maior valor obtido no trecho 1 da LT MAN-MON é de 0,74°C.M/W.

Tabela 4 – Valores de Resistividade Térmica do Solo LT MON-PER

	Valores
Medição 4	0,82°C.M/W
Medição 5	0,29°C.M/W

O maior valor obtido no trecho 3 da LT MON-PER é de 0,824°C.M/W.

Tendo em vista os valores obtidos nos 2 trechos distintos, adotou-se para efeito de cálculo de ampacidade dos condutores subterrâneos o valor de 0,9°C.M/W.

Em análise dos dados obtidos, observou-se que a resistividade térmica do solo, reduzia conforme a profundidade aumentava, desta forma o definiu-se o ambiente dos cabos isolados, iniciando na profundidade de 1,20m.

Segue abaixo configuração do banco de dutos definido para ambas as linhas.

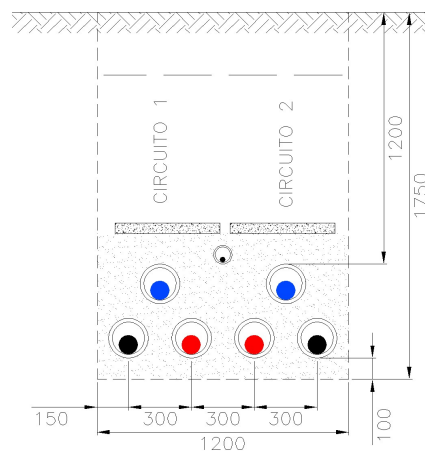


FIGURA 13 – Banco de Dutos.

2.6 Cálculo de Ampacidade dos Cabos Isolados

Após as definições do sistema de aterramento, resistividade térmica do solo e dimensionamento do ambiente dos cabos isolados, foi simulado a capacidade de condução dos cabos, para determinar a melhor seção do condutor.

Abaixo segue imagem da simulação executada para a condição mais crítica de operação dos cabos isolados.

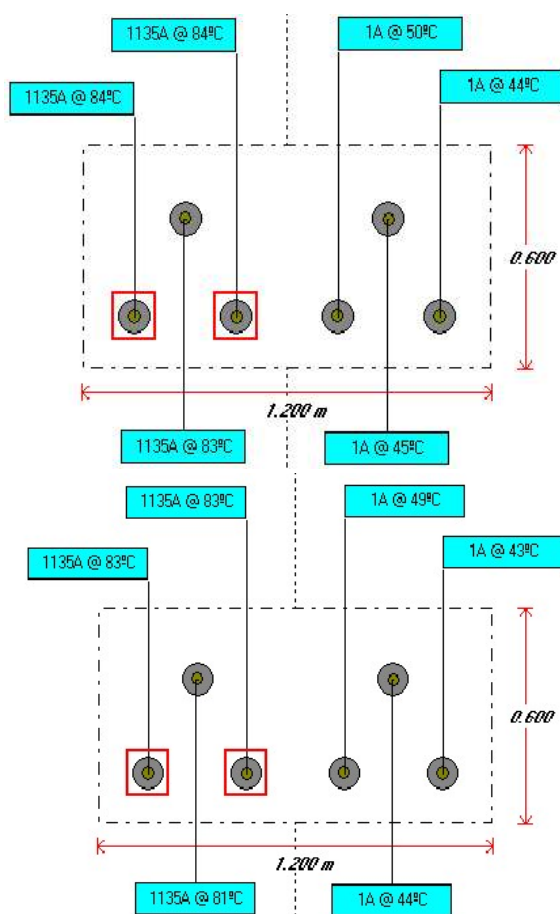


FIGURA 14 – Simulação LT MAN-MON.

FIGURA 15 – Simulação LT MON-PER.

Nas simulações apresentadas acima, utilizou-se o cabo extrudado com condutor de fase de alumínio de seção 1200mm², isolamento a base de XLPE, blindagem metálica a fios de cobre e cobertura HDPE, onde a máxima temperatura de operação será de 84°C para a LT MAN-MON e 83°C para a LT MON-PER. Desta forma definindo-se como o cabo a ser instalado em ambas as linhas subterrâneas.

3.0 - CONCLUSÃO

Diante do que foi demonstrado, fica evidente que optar por um enterramento de linha, e eventual conexão subterrânea em subestações, não é uma escolha simples, mesmo quando temos pequenas distâncias a serem vencidas, o entorno do ambiente e o solo, tem que ser rigorosamente avaliado para que se obtenha o resultado esperado e não cause danos as pessoas que circulam na região.



XXV SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

3958
GLT/26

10 a 13 de novembro de 2019
Belo Horizonte - MG

As obras relativas a LT Mongaguá – Peruíbe foram finalizadas em dezembro de 2018, e a LT Manoel da Nóbrega – Mongaguá, está prevista pela Concessionária para o primeiro semestre de 2020.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ABNT NBR 5422 - Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica de 1985.
- (2) Brochura Técnica 020: “Acoplamento de Linhas de Transmissão Aéreas e Subterrâneas – Recomendações Técnicas para as Concessionárias Brasileiras” – Grupo de Trabalho B1-05 – Janeiro de 2016.
- (3) IEC 60287 – “Calculation of the continuous current rating of cables (100% load factor)” de 2016.

5.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Vinicius dos Santos Lima
Nascido em Diadema, SP em 20 de janeiro de 1988.
Graduação (2014) em Engenharia Elétrica: Universidade Nove de Julho – UNINOVE – São Paulo.
Empresa: EDS Engenharia e Consultoria Ltda, desde 2009, atualmente no cargo de Engenheiro Pleno.