



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

MURILO AUGUSTO DE ARAÚJO BRITO



Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO  
ENERGY ELETRICIDADE



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2018

MURILO AUGUSTO DE ARAÚJO BRITO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

*Relatório de estágio integrado submetido à Coordenação do Curso de Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Transmissão de Energia Elétrica

Orientador:

Professor Edgar Roosevelt Braga Filho, D. Sc.

Campina Grande, 2018

MURILO AUGUSTO DE ARAÚJO BRITO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO INTEGRADO

*Relatório de estágio integrado submetido à Coordenação do Curso de Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Transmissão de Energia Elétrica

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Edgar Roosevelt Braga Filho, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

## AGRADECIMENTOS

Como pessoa religiosa, agradeço a Deus, em primeiro lugar, pela oportunidade da vida e por todas as bênçãos por ela proporcionada.

Agradeço aos meus pais, José Flávio de Brito e Maria Edinete de Araújo Brito, assim como minha irmã, Natália Araújo Brito, por estarem sempre ao meu lado e por terem me dado todas as condições possíveis para que eu pudesse realizar minhas atividades.

Agradeço a toda minha família, dos sítios Entre Serras e Riacho Fundo, por todo o carinho de sempre.

Agradeço imensamente aos meus amigos, em especial a Matheus Almeida, Kléber Júnior, Álvaro Calazans, Marconi Menezes e Matheus Abrantes. Agradeço à Angélica Monteiro, a quem dedico minhas melhores horas, pelos momentos de apoio e cumplicidade.

Agradeço ao professor orientador, Edgar Roosevelt Braga Filho, por ter aceitado colaborar com a atividade, com a sua vasta gama de conhecimentos e auxiliar na construção do relatório.

Agradeço aos professores Ubirajara Rocha Meira, Leimar de Oliveira e Washington Luiz Neves pelos momentos de descontração e fundamental importância na formação pessoal e profissional. Agradeço a todo o CEEI, em especial à Adail e Tchai.

Agradeço à todos que compõem a Energy Eletricidade LTDA, em especial ao diretor Leonardo Medeiros, ao Engenheiro Eletricista Dayvson Fábio Alcântara Silva, a José Ivan da Silva (gerente administrativo), Tarcísio Lopes Martins (topógrafo), Fernando Thiago Félix (técnico de segurança) e a Ednaldo Santos (almoxarife). Agradeço também ao Engenheiro Industrial português, supervisor da empresa TSK Energia, Álvaro José Dias Lopes e a Engenheira de Produção Maria da Conceição Lima Mendonça. À todos por terem me dado todo o suporte necessário na construção da minha aprendizagem durante as atividades desenvolvidas.

*“Sonhe,  
Até que o sonho se torne realidade”*  
Steve Tyler

## RESUMO

O presente relatório elaborado nos anos letivos de 2017/2018 descreve, de maneira sucinta, todas as atividades desenvolvidas pelo graduando junto à empresa Energy Eletricidade LTDA, responsável pela execução da obra aqui discorrida, correspondendo à componente curricular estágio integrado. Com ênfase na área de eletrotécnica, particularmente no tocante à transmissão e distribuição de energia elétrica, as atividades realizadas nos municípios de João Câmara e Touros, estado do Rio Grande do Norte, tiveram duração de três meses (20/09/2017 – 20/12/2017). Os trabalhos executados, aqui apresentados e explanados, dizem respeito a construção de uma Rede Aérea de Média Tensão de 34,5 kV. As atividades apresentadas neste documento foram desenvolvidas sob fundamentos e normas, assim como padrões e especificações de procedimentos com a finalidade de garantir, além da segurança das pessoas envolvidas na execução da obra, atender às exigências da empresa contratante, responsável pelo projeto.

**Palavras-chave: Rede de Média Tensão, Estruturas, Parque Eólico.**

## ABSTRACT

This report prepared in the 2017/2018 academic year describes, in a succinct way, all the activities carried out by the graduate of the company Energy Eletricidade LTDA, responsible for the execution of the work here, corresponding to the integrated stage curricular component. With emphasis on the electrotechnical area, particularly with regard to the transmission and distribution of electricity, activities carried out in the municipalities of João Câmara and Touros, Rio Grande do Norte state, lasted three months (09/20/2017 - The activities presented in this document were developed under fundamentals and standards, as well as standards and specifications of procedures with the purpose of ensuring, in addition to the safety of the persons involved in the execution of the work, meet the requirements of the contracting company, responsible for the project.

**Keywords: Medium Voltage Network, Structures, Wind Farm.**

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

- Figura 1. Mufla Terminal
- Figura 2. Estrutura de Suspensão
- Figura 3. Estrutura de Ancoragem
- Figura 4. Estrutura N1 SUSP
- Figura 5. Estrutura N4 ANC
- Figura 6. Estrutura 2N1 SUSP
- Figura 7. Estrutura 2N4 ANC
- Figura 8. Estrutura N3 FL
- Figura 9. Estrutura 2N3 FL
- Figura 10. Fundo de Cava
- Figura 11. Manilhas Preformadas
- Figura 12. Inserção de Manilhas nas estruturas
- Figura 13. Inserção de Manilhas nas estruturas (2)
- Figura 14. Fundação sendo molhada
- Figura 15. Fundação com manilha preformada
- Figura 16. Primeira etapa da concretagem
- Figura 17. Concretagem completa da estrutura
- Figura 18. Fundação tipo concretagem do projeto RMT 34,5 kV
- Figura 19. Cabo condutor utilizado na RMT 34,5 kV
- Figura 20. Construção cabo IBIS
- Figura 21. Arranjo de suspensão e ancoragem F.O
- Figura 22. Arranjo da fibra óptica em final de linha
- Figura 23. Isolador polimérico Line Post
- Figura 24. Exemplo de armação de Line Post nas estruturas simples
- Figura 25. Projeto isolador Line Post
- Figura 26. Pré montagem do isolador bastão com garfo olhal
- Figura 27. Aterramento da estrutura
- Figura 28. Conector do tipo cunha
- Figura 29. Realização travessias subterrâneas
- Figura 30. Estação Total
- Figura 31. Coodenadas de alocação das estruturas
- Figura 32. Atuação em campo da Topografia
- Figura 33. Piquetes de marcação
- Figura 34. Atividade de supressão vegetal
- Figura 35. Escavação Manual
- Figura 36. Escavação com retroescavadeira
- Figura 37. Atividade de escavação
- Figura 38. Manilhas e fundo de cava distribuídos
- Figura 39. Distribuição de postes
- Figura 40. Parafusos utilizados na estruturação de apoios
- Figura 41. Estruturação de postes
- Figura 42. Implantação de postes
- Figura 43. Instalação de cabo estai
- Figura 44. Cabos sendo prensados
- Figura 45. Instalação de Jumpers
- Figura 46. Lançamento de cabos
- Figura 47. Grampeamento de cabos
- Figura 48. Trecho de RDO
- Figura 49. Trecho de Acompanhamento de Atividades



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Características do terreno

Tabela 2. Medidas de escavação e engastamento

Tabela 3. Cabo condutor IBIS

Tabela 4. Propriedades Geométricas e Mecânicas F.O

Tabela 5. Propriedades ópticas F.O

Tabela 6. Componentes de estruturamento da fibra óptica

Tabela 7. Especificações cabo guarda

Tabela 8. Especificações Line Post

Tabela 9. Especificações dos isoladores Bastão

Tabela 10. Ferramentas para Estai

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACSR	
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANC	Ancoragem
AWG	American Wire Gauge
C	Coefficiente de compressibilidade do solo
D	Distância entre condutores
daN	Decanewton
Cos	Cosseno
F <sub>v</sub>	Força Vertical
F <sub>t</sub>	Força Transversal
F <sub>L</sub>	Força Longitudinal
F <sub>p</sub>	Fator de potência
h	Altura da estrutura
I <sub>s</sub>	Corrente de serviço
I <sub>MÁX</sub>	Corrente máxima admissível
K <sub>1</sub>	Constante de material condutor
K <sub>2</sub>	Coefficiente de temperatura
Kgf	Quiilograma força
km	Quilômetros
kN	Kilonewton
kV	Quilovolts
kW	Quilowatts
<i>l</i>	Comprimento da Linha
L	Indutância
LT	Linhas de Transmissão
m	Metro
M	Momento resultante
mm	Milímetros
Mpa	Mega Pascal
MCM	Circular Mil
MW	Megawatts
n	Número de condutores por fase
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora

PEAD	
$P_n$	Potência de transporte
$r$	Raio do condutor
$R$	Resistência Linear
RAMT ou RMT	Rede Aérea de Média Tensão
RDO	Relatório Diário de Obra
RIV	Rádio Interferência
Sen	Seno
SIN	Sistema Interligado Nacional
SUSP	Suspensão
Tan	Tangente
$V$	Tensão
$\Delta V$	Queda de tensão
$\Omega$	Ohms
%	Porcentagem
$X$	Reatância
$\mu_0$	Permeabilidade do meio



# 1 INTRODUÇÃO

O alto potencial de geração de energia oriundo de fontes renováveis e o crescente investimento no setor, principalmente na região do Nordeste brasileiro, faz necessária a ampliação da infraestrutura energética, mais precisamente subestações, linhas de transmissão e redes de distribuição.

Visando atender a uma dessas necessidades, foi projetada a Rede Aérea de Média Tensão (RAMT ou RMT) 34,5 kV do parque eólico de Aventura I, com capacidade de geração de 28,2 MW (12 aerogeradores de 2,35 MW de potência individual). A rede de média tensão estará composta por 2 circuitos, com seis aerogeradores cada um. Devido a topologia da rede, os aerogeradores 01 a 06 formarão um circuito simples, com extensão aproximada de 2,29 Km, que se unirá com o circuitos dos aerogeradores 07 a 12 para formar um circuito duplo, com extensão aproximada de 9,1 Km.

O terreno da obra é plano, o que facilitou as instalações. As atividades foram desenvolvidas sob algumas adversidades climáticas como o forte calor, característico da região na época do ano e alguns dias de intensas pancadas de chuvas, o que impedia o prosseguimento de certos procedimentos.

O documento a seguir apresenta as atividades desenvolvidas no dia a dia da execução da obra acima citada, com pleno acompanhamento junto ao engenheiro responsável, bem como os encarregados de obra e os demais funcionários.

Para execução da obra foi necessário um planejamento minucioso, adaptado a eventuais mudanças de projeto, algumas delas com a obra já em andamento, além da gestão pessoal e de projetos.

Este documento apresenta inicialmente a fundamentação teórica, peça chave para o entendimento dos procedimentos apresentados a posteriori, onde , ao acompanhamento do trabalho em campo, foram dedicados todos os esforços possíveis.

## 1.1 OBJETIVOS

### 1.1.1 OBJETIVO GERAL

O trabalho a seguir tem como objetivo geral descrever, sob o ponto de vista técnico, a experiência adquirida durante o estágio curricular integrado, direcionado a área de execução de linhas de transmissão, realizado na empresa Energy LTDA.

### 1.1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos consistem em passar ao leitor entendimento dos processos aqui explanados.

Fazer fundamentação teórica do assunto, explicando passo a passo a razão das medidas tomadas, tanto por projetistas como os responsáveis pela execução da obra. Após isso, fazer um estudo de caso direcionado para as condições da obra aqui descrita, bem como apresentar e explicar as atividades de campo, principal objetivo do relatório.

## 1.2 A EMPRESA

A Energy Eletricidade LTDA, fundada em 1995 e localizada na rua Wallig, bairro Itararé, na cidade de Campina Grande, é uma empresa que atua no ramo de energia, mais especificamente em atividades e execução de projetos elétricos de Linhas de Transmissão, Subestações e Redes de Distribuição de Energia. Atualmente, a empresa elabora e executa projetos de engenharia que envolvem energias renováveis, como parques eólicos e parques solares.

Na sede administrativa da empresa estava concentrado todo o capital humano para suporte administrativo e financeiro da obra e também, muitas vezes, era responsável pelo fornecimento parcial ou total de materiais e equipamentos para as obras, já que a empresa possui um significativo aparato de máquinas e de ferramentas.

Recentemente a Energy Eletricidade LTDA concluiu as seguintes obras:

- Construção da Subestação Elevadora, da Linha Aérea e Subterrânea do Complexo Eólico Santo Inácio – Icapuí/CE;
- Construção da Rede Aérea de Média Tensão do Complexo de Usina

Eólica Vila Acre I – Serra do Mel/RN;

- Construção da ampliação da Subestação Pedra Cheirosa do Parque

Eólico Icaraizinho – Icaraí de Amontada/CE;

- Rede Aérea de Média Tensão 34,5 kV – Parque Eólico Aventura I – Touros/RN.

Figura 1: Sede da Energy Eletricidade LTDA



Fonte: Energy Eletricidade Website

### 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

O Capítulo 1 mostra aspectos introdutórios como a motivação de projeto da obra, além de algumas especificações da mesma, a apresentação do relatório, os objetivos gerais e específicos do trabalho e a divisão de sua estrutura.

No Capítulo 2, aborda-se o detalhamento teórico do tema do trabalho. Nele dispõe dos aspectos elétricos, como os condutores, isoladores, ferragens e muflas, bem como suas especificações e importância em uma LT. Trata-se também dos aspectos mecânicos, como as estruturas de suspensão e ancoragens.

No Capítulo 3, apresenta-se os cálculos matemáticos para os dimensionamentos elétrico e mecânico de linhas de transmissão. Objetiva-se no capítulo detalhar os procedimentos de determinação de tensão de operação de LT, escolha da seção dos condutores, determinar as perdas de energia, a intensidade máxima admissível da corrente de curto-circuito e a queda de tensão. Com relação aos aspectos mecânicos, procura-se determinar os esforços transversal, longitudinal e vertical nos apoios, bem como as fundações e o cálculo do momento de capotamento.

No Capítulo 4, faz-se o estudo de caso, aplicando os conceitos do capítulo anterior às especificações da obra aqui descrita. Apresenta-se a identificação da obra, bem como sua base de cálculos, e em seguida, as estruturas da rede aérea da obra e o projeto de suas montagens, ao especificar cada tipo de estrutura e sua nomenclatura. Os tipos de fundações utilizados também são abordados, assim como os cabos condutores utilizados e os tipos de isoladores. Por último, explicitam-se os procedimentos de aterramento e de travessias subterrâneas.

O Capítulo 5 apresenta as atividades desenvolvidas em campo a partir do planejamento e acompanhamento da obra. Discorre sobre a locação topográfica e o lançamento dos cabos condutores, além de aspectos sócio-econômicos associados.

O Capítulo 6 reflete de modo conclusivo os principais aspectos abordados neste documento, buscando por meio da experiência adquirida e referências bibliográfica afins, fazer sugestões acerca do projeto e execução aqui detalhados.



## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo discorre sobre os fundamentos teóricos do tema tratado, sobretudo, os aspectos elétrico e mecânico associados ao projeto de linhas de transmissão.

### 2.1 ASPECTO ELÉTRICO

O aspecto elétrico das linhas de transmissão está vinculado essencialmente à classe de tensão especificada no transporte de energia elétrica, bem como, ao nível de potência a ser transmitida. Com base em tais grandezas é possível estabelecer um procedimento para tomada de decisão quanto ao uso de condutores, cadeias de isoladores, distâncias básicas de isolamento e parâmetros elétricos básicos, a qual define sua funcionalidade.

#### 2.1.1 CONDUTORES

São os elementos ativos propriamente ditos das linhas de transmissão. É através deles que as cargas elétricas se deslocam, transmitindo a energia da geração até os centros de carga. O cobre foi a matéria-prima utilizada nas primeiras LTs devido a sua elevada condutividade, mas, atualmente, as linhas aéreas utilizam condutores compostos basicamente de alumínio, tanto em forma de liga ou em conjunto com o aço, o que se deve principalmente ao seu menor custo em relação ao cobre ou qualquer outro material condutor.

Os condutores de alumínio nu com alma de aço (formados por um grupo de fios de alumínio dispostos concêntricamente em torno de um fio de aço) são os mais utilizados nas LTs do Brasil devido a sua elevada condutividade e boa resistência mecânica. Apesar de possuírem resistência mecânica regular, o uso das ligas de alumínio tem se intensificado, pois apresentam boa condutividade e maior resistência a ambientes agressivos, além de menor custo. Apenas em sistemas de cabos subterrâneos ainda se utiliza o cobre como material condutor, porém a transmissão subterrânea ainda se mostra desprezível em termos de quilometragem em comparação a linhas aéreas.

Além dos materiais já citados, algumas inovações têm sido aplicadas em instalações específicas, como os condutores de alumínio reforçado por compósito ou aqueles formados com alma de fibra de carbono. Tais soluções, apesar de custos bastantes superiores aos cabos tradicionais, possuem algumas características particularmente vantajosas, como o baixíssimo peso e elevada carga de ruptura, as quais permitem uma redução de flecha considerável, mesmo em altas temperaturas, além de alta condutividade e resistência à corrosão, sendo uma opção adotada para grandes travessias de terreno.

A seleção adequada do condutor é uma das tarefas de maior significância e criticidade em um projeto de linhas de transmissão, haja vista provocar um impacto direto na escolha da torre, isolamento empregado e nos esforços mecânicos envolvidos, tanto nas estruturas de suporte quanto nas fundações. Interfere consideravelmente nos custos e perdas ao longo da vida útil da linha de transmissão, onde o objetivo é determinar uma relação de compromisso entre a funcionalidade e os custos da obra a ser executada.

### 2.1.2 ISOLADORES

O desempenho das linhas de transmissão está diretamente relacionado com o comportamento dos seus isoladores. Estes elementos têm a função de conter os cabos e mantê-los eletricamente isolados das estruturas, os quais estão sujeitos a forças verticais e horizontais. O número de isoladores por cadeia é determinado de acordo com a tensão da linha e o isolamento deve suportar tensões maiores que a tensão normal de operação, resistindo, inclusive, a surtos atmosféricos e de manobras. Podem ser fabricados em material cerâmico, como porcelana vitrificada ou vidro temperado, ou ainda compostos poliméricos, como a borracha de silicone envolvendo um núcleo de fibra de vidro. Ambos os materiais são dielétricos e visam garantir a confiabilidade do sistema, tanto no que diz respeito ao isolamento entre os condutores e a estrutura, quanto a sua sustentação, fixação dos cabos, suportando os esforços mecânicos.

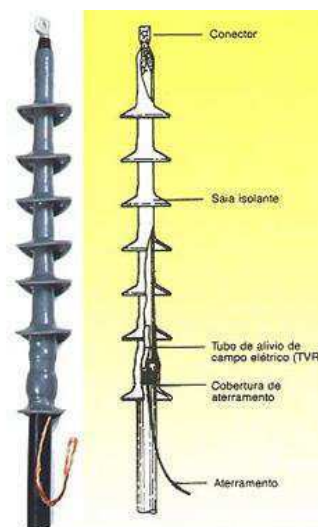
### 2.1.3 FERRAGENS E ACESSÓRIOS

As ferragens das linhas de transmissão são constituídas de elementos metálicos, como o aço e o alumínio e são projetadas tanto para resistir aos esforços eletromecânicos quanto para reduzir efeitos oriundos de fenômenos elétricos, como rádio interferência (RIV) e corona. Dispõe-se de diversos tipos de ferragens com funções específicas nas linhas de transmissão, mas seus dimensionamentos e geometria dependem do fabricante, os quais devem atender aos requisitos normativos. Os grampos realizam a interligação mecânica entre a cadeia de isoladores e a estrutura, além de transmitirem cargas distintas às torres. São utilizados tanto em cadeias de suspensão como de ancoragem, cujo modo de engate, condiciona o seu formato; de bola, concha, elo, gancho, garfo ou olhal.

### 2.1.4 MUFLAS

A mufla terminal primária ou terminação é um elemento de conexão destinado a restabelecer as condições de isolamento da extremidade de um condutor isolado quando este é conectado a um condutor nu ou a um terminal, para ligação de equipamentos.

Figura 1: Mufla terminal



Fonte: MD Policabos

## 2.2 ASPECTOS MECÂNICOS

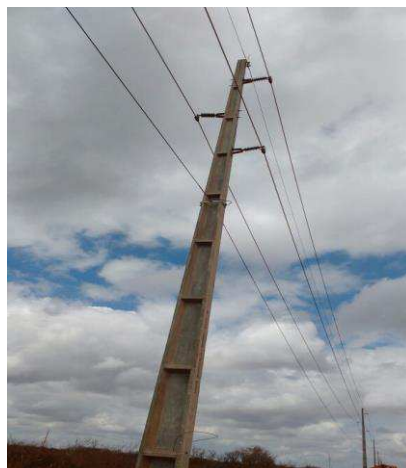
As torres de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica são estruturas metálicas cuja função básica é prover a sustentação mecânica aos condutores de energia, garantindo as distâncias de segurança entre os condutores energizados, entre estes e os suportes, ou ainda entre os condutores e o solo, e qualquer elemento estranho a linha (LABEGALINI *et al.*, 1992). As estruturas são classificadas segundo sua funcionalidade e materiais que as compõe.

Basicamente os materiais empregados na confecção de estruturas, são metais e concreto. As estruturas metálicas são constituídas de aço carbono comum, alumínio ou liga de alumínio, empregados em estruturas treliçadas (Autoportante ou estaiada). São amplamente utilizados na transmissão de energia, pois possuem altas resistência mecânica e à corrosão, baixos peso específico e custo de produção, além da facilidade de transporte, e versatilidade quanto à topologia. A principal contrapartida ao uso desses tipos de estruturas é a faixa de servidão ocupada, razão pela qual não são empregadas em centros urbanos, ou em locais limitados por fatores físicos ou econômicos (LABEGALINI *et al.*, 1992).

### 2.2.1 ESTRUTURAS DE SUSPENSÃO

Estruturas do tipo suspensão são elementos construtivos em alinhamento direto, ou seguindo pequenos ângulos de decalagem, relativos ao traçado principal da linha de transmissão, sem seccionamento do condutor, os quais são suspensos pela cadeia de isoladores e ferragens adjuntas, conforme pode ser visto na Figura 2

Figura 2: estrutura de suspensão



Fonte: próprio autor, 2017

### 2.2.2 ESTRUTURAS DE ANCORAGEM

Diferentemente das estruturas anteriores, as do tipo ancoragem seccionam mecanicamente o condutor, conforme observado na Figura 3, as quais são responsáveis por sustentar a tração exercida pelos condutores no tramo.

Figura 3: estrutura de ancoragem



Fonte: próprio autor, 2017

Nos casos em que as estruturas tipo ancoragem são constituídas de concreto ou madeira, para angulações ou para estruturas em alinhamento, é necessário o emprego de

Post Line, que serve como sustentação do jumper, de modo que a distância de segurança prevista em norma seja obedecida.

Estruturas para ângulos, de maneira análoga a anterior, seccionam mecanicamente o condutor, com a dessemelhança no tocante à presença de angulações obtusas em relação ao traçado. São aplicadas quando há necessidade de alterar drasticamente o alinhamento da linha de transmissão, face as características do terreno no qual será realizado o empreendimento.

### 3 DIMENSIONAMENTO ELÉTRICO E MECÂNICO

Os fundamentos utilizados pelos projetistas de linhas de transmissão são abordados neste capítulo, cujos dimensionamentos elétrico e mecânico serão explicitados em maior detalhe.

#### 3.1 TENSÃO DE OPERAÇÃO

Os cálculos elétricos tem como objetivo a determinação da tensão nominal da linha e da secção transversal dos condutores que a constituem, de forma a segurar que não sejam excedidas as limitações técnicas impostas pelos condutores, relativamente à intensidade de corrente máxima admissível, à intensidade de corrente de curto-circuito máxima admissível, quedas de tensão, perdas de energia e resistência mecânica (MADUREIRA, 2009).

Uma das formas de se calcular de maneira rápida a tensão de transporte é a fórmula de Alfred Still:

$$V_t = 5,5 \times \sqrt{\frac{L}{1,6} + \frac{Pn}{100}} \quad (1)$$

Em que,

$V_t$  - Tensão obtida em kV;

$L$  - Comprimento da linha em km;

$Pn$  - Potência total de transporte em kW.

Para linhas com comprimento inferior a 30 km, sugere-se a utilização da expressão abaixo:

$$V_t = 0,25\sqrt{Pn} \quad (2)$$

Em que,

$V_t$ : - Tensão obtida em kV;

$Pn$  - Potência total de transporte em kW.

### 3.2 SECÇÃO DOS CONDUTORES

Para determinar a secção transversal do condutor a ser empregado na linha, faz-se necessário conhecer a intensidade da corrente a ser transmitida em regime normal. Para tanto basta aplicar a equação 3:

$$I_s = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times V_t \times \cos\varphi} \quad (3)$$

Em que,

$I_s$  - Corrente de serviço em A;

$P_n$  - Potência a ser transmitida em kW;

$V_t$  - Tensão de transporte em kV;

$\cos\varphi$  - fator de potência.

Conhecida a corrente de operação do sistema, é possível especificar um condutor que atenda às necessidades de transmissão de energia elétrica, para tanto além de possuir uma secção transversal que suporte a corrente elétrica, o condutor deve atender a especificações sobre quedas de tensão e perdas de potência.

### 3.3 PERDAS DE ENERGIA

As perdas de energia representam as perdas por dissipação térmica associadas à passagem da corrente elétrica nas linhas devido a sua resistência. Assim, de modo a ter uma estimativa das perdas torna-se necessário determinar a resistência linear do condutor utilizado (MADUREIRA, 2009).

O primeiro passo para determinar as perdas é calcular a resistência do condutor. Usa-se a seguinte expressão,

$$R = R_{20^\circ\text{C}} \times L \quad (4)$$

Em que,

$R_{20^\circ\text{C}}$  - Resistência do condutor a 20 °C ( $\Omega$ );

$L$  - Comprimento da linha (km).

O valor de resistência dos condutores a 20°C vem especificado em catálogos de fabricantes.



Uma vez determinado o valor da resistência linear do condutor e da corrente de serviço é possível determinar as perdas de energia na linha por meio da equação (5).

$$P_{\text{perdas}} = 3 \times R \times I_s^2 \quad (5)$$

Onde:

$R$  ( $\Omega$ ) – Resistência linear ( $\Omega/\text{km}$ ) x  $L$  (km);

$I_s$  – Intensidade de corrente de serviço (A)

Em termos percentuais o valor das perdas é:

$$P_{\text{perdas}} (\%) = \frac{P_{\text{perdas}} \times 100}{P_n} (\%) \quad (6)$$

### 3.4 INTENSIDADE MÁXIMA ADMISSÍVEL DA CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO

No cálculo da máxima intensidade da corrente de curto-circuito admite-se, por um lado, que os efeitos ocorrem em pontos da rede afastados das centrais geradoras e, por outro lado, que a duração do curto circuito é baixa. A consideração destas hipóteses permite tomar o valor eficaz da corrente permanente de curto-circuito em vez do valor eficaz médio da corrente total de curto. Esta simplificação é inteiramente admissível tratando-se de curto-circuitos em linhas de distribuição de 30 kV (MADUREIRA, 2009).

Assim a intensidade máxima da corrente de curto-circuito é dada pela expressão seguinte:

$$I_{\text{max}} = \frac{1}{k_1 \times k_2} \frac{S}{\sqrt{t}} \text{ (kA)} \quad (7)$$

Em que,

$I_{\text{max}}$  – Valor eficaz máximo admissível da corrente de curto-circuito (kA);

$S$  – Secção condutora, que nos cabos de alumínio – aço corresponde à secção do alumínio ( $\text{mm}^2$ );

$t$  – Tempo de duração do curto-circuito (s)

$k_1$  – Constante do material condutor ( $\text{mm}^2/\text{kA} \cdot \text{s}^{1/2}$ );

$k_2$  – Coeficiente de temperatura.

### 3.5 QUEDA DE TENSÃO

Para linhas curtas, a queda de tensão entre a emissão e recepção é calculada em função da resistência em série associada a reatância indutiva por fase. A susceptância capacitiva e a condutância em paralelo são consideradas desprezíveis (GRAINGER e STEVENSON, 1994). Portanto emprega-se a equação abaixo para estimar a queda de tensão na recepção da linha de transmissão

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I \times (R \times \cos\varphi + X \times \sin\varphi) \text{ (V)} \quad (8)$$

Onde,

R – Resistência do condutor ( $\Omega$ );

X – Reatância do condutor ( $\Omega$ );

$\cos\varphi = 0,95$ ;

$\sin\varphi = \sin(\arcsin(0,95))$ .

Em que a reatância do condutor é dada por:

$$X = 2 \times \pi \times f \times L \quad (9)$$

Onde,

f – Frequência da rede (Hz);

L – Indutância do condutor (H/km).

A expressão utilizada para o cálculo da indutância em linhas elétricas trifásicas é dada por:

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[ \frac{1}{4n} + \ln\left(\frac{D}{r}\right) \right] \text{ (H/km)} \quad (10)$$

Onde,

D – Distância entre condutores;

r – Raio do condutor;

$\mu_0$  – Permeabilidade do meio;

n – Número de condutores por fase.

Para definir qual o esforço da estrutura que será empregada numa linha de transmissão é necessário calcular os esforços atuantes mediante a ações do vento, tensões mecânicas e o próprio peso da estrutura. A definição dos cálculos é baseada segundo a função das estruturas.

Para estruturas tipo suspensão, segundo (DIREÇÃO DE SERVIÇOS DE ENGENHARIA, 1993), considera-se duas hipóteses para fins de cálculo dos esforços mecânicos.

Na hipótese 1, é definido que a sobrecarga do vento atua normalmente à direção da linha, sobre o poste, sobre os isoladores, condutores e cabos guarda, para tanto calcula-se o esforço transversal segundo a equação abaixo.

$$F_T = 3 \cdot w \cdot \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] \quad (11)$$

Em que:

$F_T$  – Esforço transversal (daN);

$w$  - Força do vento sobre os condutores (daN/m);

$S_1$  e  $S_2$  são os vão adjacentes ao poste (m).

Ainda no conexo da hipótese 1, calcula-se o esforço vertical devido ao peso dos próprios condutores, conforme evidenciado na equação

$$F_V = 3 \cdot w' \cdot \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] + 3 \cdot P_{cadeias} + P_{cruzeta} + P_{fo} \cdot \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] \quad (12)$$

Em que:

$F_V$  - Esforço vertical devido ao peso dos condutores (daN);

$w'$  - Peso do condutor (daN/m);

$S_1$  e  $S_2$  são os vão adjacentes ao poste (m);

$P_{cadeias}$  – Peso das cadeias de isolação (daN);

$P_{cruzeta}$  – Peso da cruzeta (daN);

$P_{fo}$  – Peso da fibra óptica (daN).

A segunda hipótese, é definido que a força horizontal, deve ter valor igual a um quinto das forças provenientes da ação do vento, portanto o esforço horizontal é calculado segundo a equação abaixo

$$F_L = \frac{F_T}{5} \quad (13)$$

Em que:

$F_L$  - Esforço horizontal longitudinal (daN);

$F_T$  - Esforço horizontal transversal (daN).

Para estruturas em ângulo, segundo (DIREÇÃO DE SERVIÇOS DE ENGENHARIA, 1993), considera-se de maneira análoga a anterior duas hipóteses para fins de cálculo dos esforços mecânicos, com a ressalva que deve-se considerar a presença de uma força longitudinal, dada pela tração do condutor em função do ângulo existente.

Para o cálculo do esforço horizontal transversal tem-se

$$F_T = 3 \cdot \left\{ w \cdot \cos^2(\beta) \cdot \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] + 2 \cdot T \cdot \sin(\beta) \right\} \quad (14)$$

Em que:

$F_T$  - Esforço horizontal transversal em daN.

$w$  - Força do vento sobre os condutores (daN/m);

$S_1$  e  $S_2$  são os vãos adjacentes ao poste (m);

$\beta$  - Ângulo do poste em °;

$T$  - Tração exercida pelo condutor (daN).

Para o cálculo do esforço vertical tem-se

$$F_V = 3 \cdot w' \cdot \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] \quad (15)$$

Em que:

$F_V$ : é o esforço vertical (daN);

$w'$ : é o peso do condutor (daN/m);

$S_1$  e  $S_2$  são os vãos adjacentes ao poste (m).

Para o cálculo do esforço horizontal longitudinal tem-se

$$F_L = 3 \cdot T \cdot \cos(\beta) \quad (16)$$

Em que:

$F_L$  - Esforço horizontal longitudinal (daN);

$\beta$  - Ângulo do poste em °;

$T$  - Tração exercida pelo condutor (daN)

Calcula-se o esforço horizontal empregando a mesma equação para a estrutura tipo suspensão.

Portanto após realizar os cálculos supracitados escolhe-se a estrutura na qual satisfaça os esforços calculados, para tanto o fabricante deve fornecer em seu catálogo o

diagrama de esforços úteis da estrutura, além disso deve-se escolher a altura do poste que satisfaça as alturas mínimas prescritas na norma NBR 5422.

### 3.6 FUNDAÇÕES

A profundidade da escavação é estabelecida, em conformidade com a equação

$$t = 0,10.h + 0,6 \quad (17)$$

Sendo:

$t$  - Profundidade da fundação (m);

$h$  - Altura da estrutura (m).

Para fins de cálculo, e análise quanto a segurança de fundações em estruturas lineares verticais quando sujeitas a ações transversais, emprega-se método de Sulzberger. Método no qual define como condição de estabilidade expressa pela equação

$$M_1 + M_2 \geq K.M_V \quad (18)$$

Em que:

$M_1$  - Momento estabilizador devido as reações laterais do terreno;

$M_2$  - Momento estabilizador devido as reações verticais do terreno;

$M_V$  - Momento de capotamento;

$K$ : Coeficiente de segurança. Este coeficiente pode ser 1.2 para condições anormais e 1.5 para condições normais.

O momento de capotamento é expresso segundo a equação abaixo:

$$M_V = M_{V1} + M_{V2} \quad (19)$$

Em que:

$M_{V1}$ : Momento de capotamento devido ao esforço  $F$ ;

$M_{V2}$ : Momento capotamento devido a ação do terreno;

O cálculo Momento de capotamento  $M_{V1}$ , é dado pela seguinte expressão:

$$M_{V1} = F * \left[ ht + c - h_0 - \frac{1}{3} * t \right] \quad (20)$$

Em que:

$F$ : Força aplicada na parte superior da estrutura (kg);

$h_t$ : Altura total da estrutura (m);

- c: Espessura da estrutura (m);  
 h<sub>0</sub>: Altura donde se aplica o esforço F (m);  
 t: Profundidade da fundação (m).

O cálculo Momento de capotamento devido a esforço devido as ações do vento sobre a estrutura  $M_{v2}$ , é dado pela seguinte expressão:

$$M_{v2} = F_v * [ht/2 + 2t/3] \quad (21)$$

Em que:

- F<sub>v</sub> - Força aplicada pelas ações do vento (kg)  
 h<sub>t</sub> - Altura total da estrutura (m).  
 T - Altura da fundação (m)

O momento estabilizador devido as ações laterais é expresso segundo a equação abaixo:

$$M_1 = \frac{b \cdot h^3}{36} \cdot Ch \cdot \tan \alpha \left[ Hl + \frac{2}{3} h \right] \quad (22)$$

Em que:

- b - Espessura da fundação em m;  
 h - Profundidade da fundação em m;  
 $\alpha$  - Ângulo máximo de giro da fundação, para  $\tan \alpha = 0,01$ ;  
 Ch : Coeficiente de compressibilidade do solo (kg/m<sup>3</sup>). A fórmula para o cálculo de Ch tendo em conta o fator de compressibilidade a 2 metros é dada pela equação abaixo, em que C2 é definido em tabela.

$$C_h = h * \frac{C2}{2} \quad (23)$$

## 4 ESTUDO DE CASO

O estudo de caso específico da obra RMT 34,5 kV, com todos os cálculos, fundamentados no capítulo anterior, detalhados no apêndice A, será o tema deste capítulo. Os tipos de estruturas determinados pelos projetistas e as especificações de fundações, isoladores e cabos serão aqui explicitados. Será apresentado também os precedimentos de aterramento e travessias subterrâneas.

### 4.1 IDENTIFICAÇÃO DA OBRA

Designação: Rede Aérea de Média Tensão

Tensão Nominal: 34,5 kV

Número de circuitos: 2

Comprimento aproximado: 11,3 km

### 4.2 BASE DE CÁLCULOS

Para os cálculos que se desenvolvem na presente documentação, partimos das seguintes premissas:

O parque eólico estará formado por 12 aerogeradores síncronos de potência nominal individual de 2,350 kW e tensão nominal  $V_n = 400$  V;

Cada aerogerador estará dotado de um transformador 34,5 / 0,4 kV, 2500 kVA;

Será disposto um sistema de compensação de energia reativa regulável em cada aerogerador, o qual manterá o fator de potência  $\cos\phi = 0,95$  a efeito de cálculos;

A linha aérea entre o último aerogerador de um circuito e a subestação coletora estará formada por um cabo 397,5 MCM IBIS com resistência ohms/km de 0,1478. Tendo 1 condutor por fase;

A Potência de Curto Circuito em barras de 34,5 kV da subestação será de  $S_{cc} = 384,09$  MVA, obtendo uma corrente de curto circuito de  $I_{cc} = 6,43$  kA;

O vento máximo considerado no cálculo é de 120 km/h;

O vão médio da linha é de 80 m. Sendo a distância mínima do cabo condutor com respeito ao solo de 7 m.

### 4.3 CARGAS A CONSIDERAR NO CÁLCULO MECÂNICO DOS CONDUTORES

Foram consideradas as cargas verticais devido ao peso dos elementos, neste caso, o condutor, o cabo de terra ou o de telecomunicações. Presume-se vento horizontal atuando perpendicularmente às superfícies dos cabos.

As condições de flecha máxima são consideradas a 50°C e sem vento. Já as condições de flecha mínima são consideradas a 15°C e sem vento.

### 4.4 ESTRUTURAS DA REDE AÉREA

As estruturas da RMT 34,5 kV são constituídas de apoios do tipo duplo T, com as seguintes denominações:

- I – N1 SUSP: estrutura simples do tipo suspensão;
- II – N4 ANC: estrutura simples do tipo ancoragem;
- III – N3 FL: estrutura simples do tipo início ou fim de linha;
- IV – 2N1 SUSP: estrutura dupla do tipo suspensão;
- V – 2N4 ANC: estrutura dupla do tipo ancoragem;
- VI – 2N3 FL – estrutura dupla do tipo início ou fim de linha.

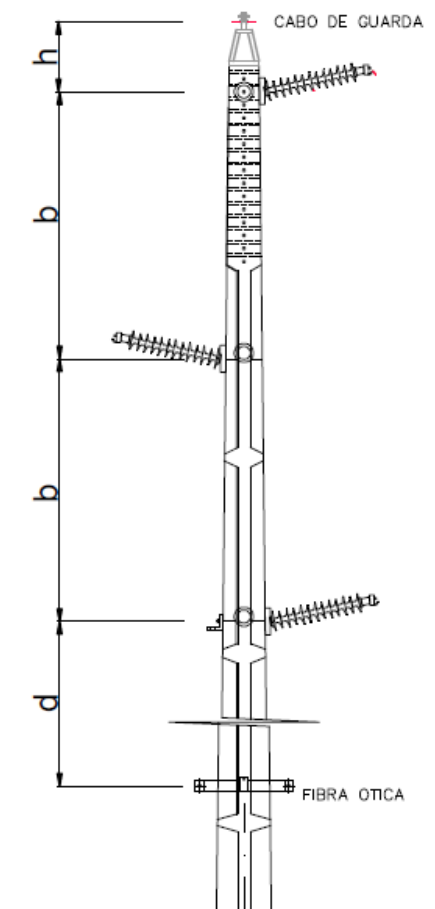
### 4.5 PROJETO DE MONTAGEM DAS ESTRUTURAS

Nesse item serão apresentadas de forma detalhada as montagens das estruturas utilizadas na RMT 34,5 kV, bem como as distâncias de montagem das cruzetas e isoladores nas furações específicas para cada tipo de silhueta.



N1 SUSP

Figura 4: estrutura N1 SUSP



Fonte: próprio autor, 2017

Tabela 1: Distância das furações dos postes

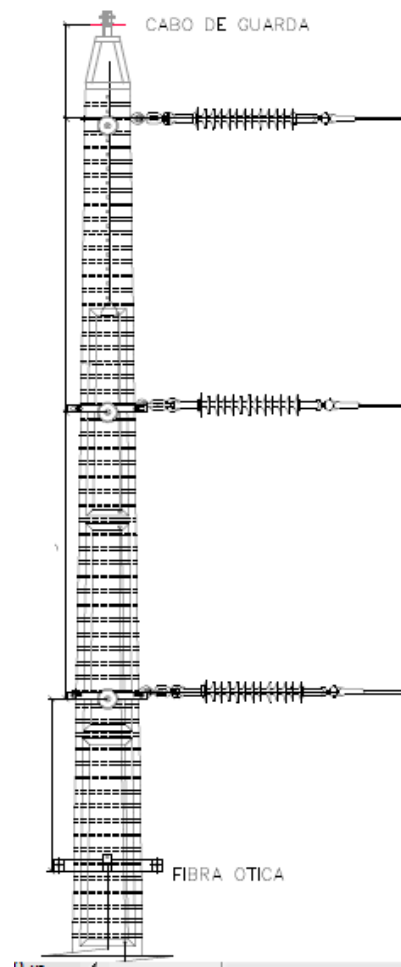
h (m)	b (m)	d (m)
2,0	1,8	1,8

Fonte: TSK Energía

Analisando a figura 4 e as medidas de furação é possível perceber as distâncias entre os isoladores, as fases a, b e c e a posição da fibra óptica.

N4 ANC

Figura 5: estrutura N4 ANC

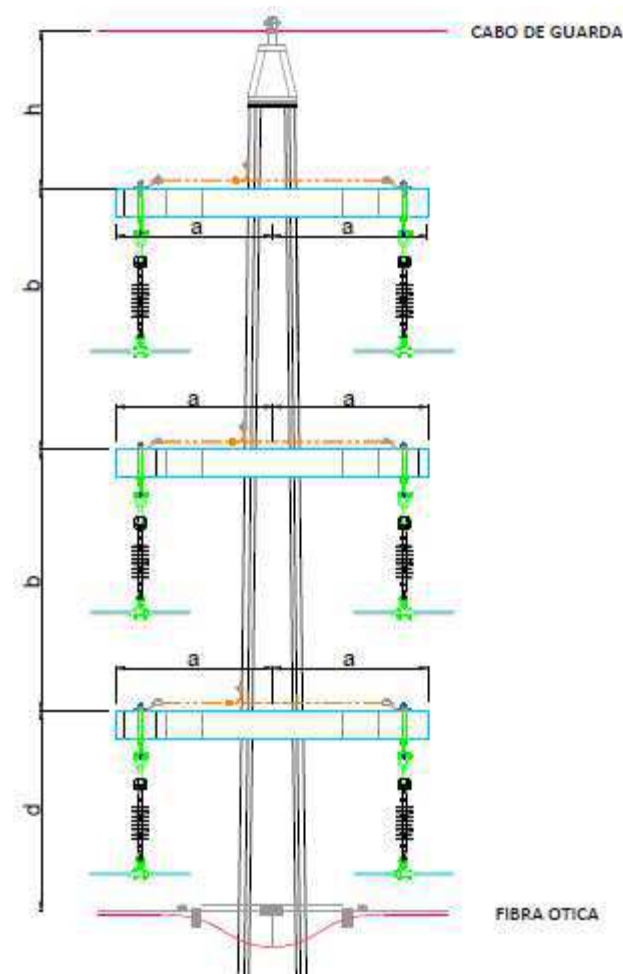


Fonte: próprio autor, 2017

Tanto a estrutura N1 SUSP como a estrutura N4 ANC, compõem o circuito simples. As estruturas N4 ANC foram previstas para ângulos, onde o esforço suportado é maior comparado às estruturas de alinhamento (N1 SUSP). Na RMT 34,5 kV as estruturas N4 ANC estiveram presentes nos apoios E.08 a E.12, E.26 e E.30

2N1 SUSP

Figura 6: estrutura 2N1 SUSP



Fonte: próprio autor, 2017

Tabela 2: Distância furações dos postes de circuito duplo

h (m)	a (m)	b (m)	d (m)
1,5	1,25	2	1,8

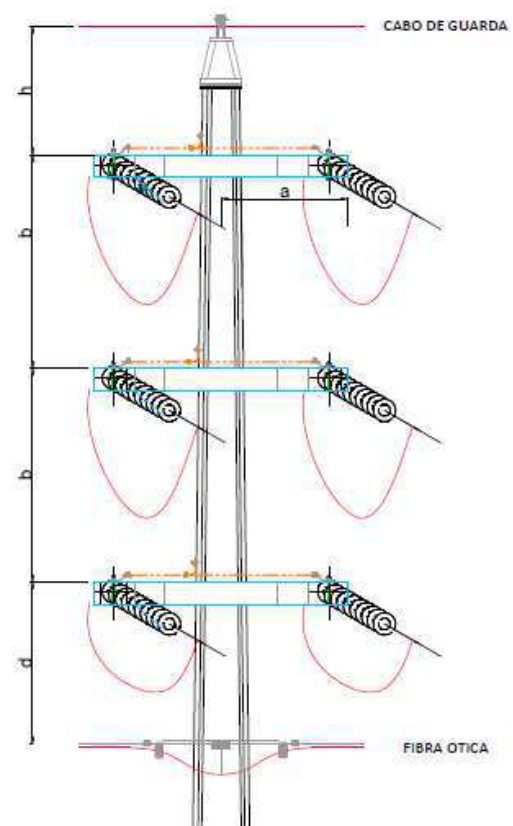
Fonte: TSK Energía

Nas estruturas 2N1 SUSP as distâncias de montagem das cruzetas, isoladores e cabos são as mesmas utilizadas para a estrutura 2N4 ANC, que vem a seguir.

A estrutura do tipo 2N1 SUSP foi a mais utilizada na RMT 34,5 kV, em Aventura I, estando presente em 61 apoios.

2N4 ANC

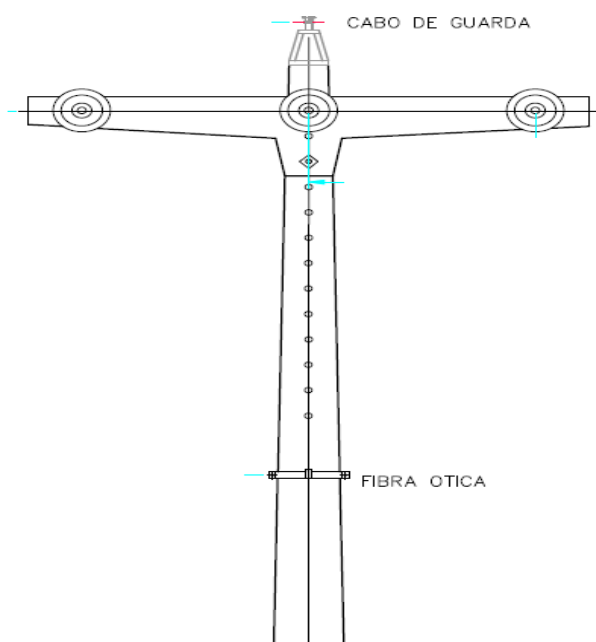
Figura 7: estrutura 2N4 ANC



Fonte: próprio autor, 2017

N3 FL

Figura 8: estrutura N3 FL

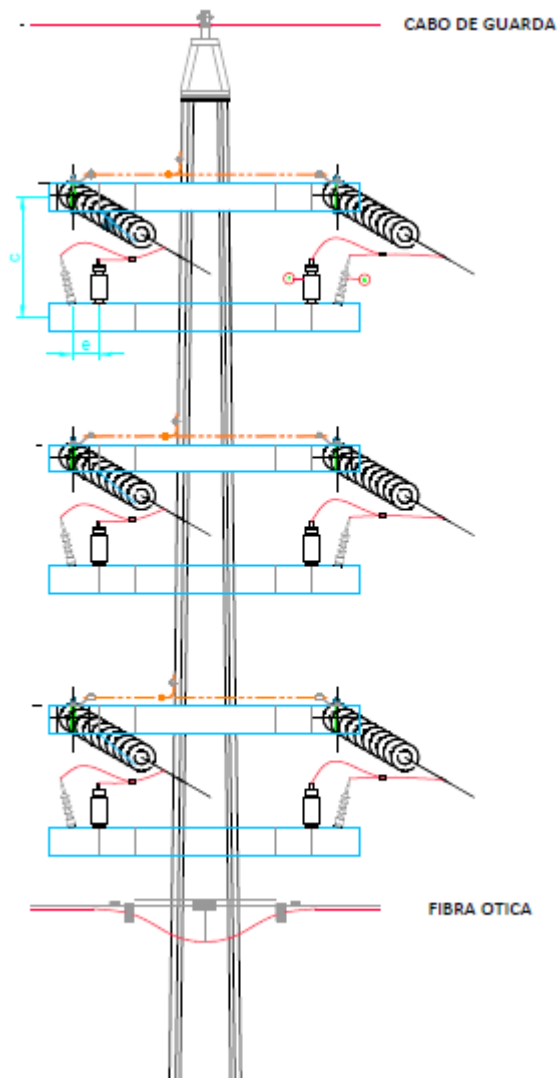


Fonte: próprio autor, 2017

A estrutura N3 FL foi o primeiro poste da obra (E.01). Esse apoio recebe diretamente do aerogerador 06 o circuito simples interligado dos aerogeradores 01 – 06.

### 2N3 FL

Figura 9: estrutura 2N3 FL



Fonte: próprio autor, 2017

As estruturas 2N3 FL, com esforços 9000 ou 9500 DaN, possuem cruzetas auxiliares. Essas cruzetas, que comportam as muflas, são responsáveis pela fixação dos pára-raios e dos terminais receptores dos cabos, garantindo a isolamento e também a continuidade do circuito. Na figura 9 é possível visualizar os pára-raios instalados.

Os apoios E.31-32, E.58, E.59, E.72, E.73, E.83, E.84, E.108, E.109, E.128, E.131, E.145, E.146 e E.152 são do tipo 2N3 FL. Percebe-se que são estruturas em sequência. Mais adiante no relatório está a explicação para tal fato.

## 4.6 FUNDAÇÕES

As fundações da RMT 34,5 kV foram feitas de duas maneiras: inserção de manilhas preformadas (116 estruturas) e concretagem (36 estruturas). A utilização de manilhas foi feita nos postes de esforço equivalente a 1000 DaN, independentemente de sua altura. O terreno arenoso contribuiu na escolha desse tipo de fundação. As demais estruturas, devido ao maior esforço suportado pelos postes nos cabos condutores, foram engastadas com concreto 20 Mpa. Em todas as estruturas foi feita uma “cama” de 20 cm de concreto para receber o poste. Esse suporte serve como referência para o melhor alinhamento do apoio dentro da área escavada. A tabela 1 detalha as características do terreno em que foi executado o projeto.

Tabela 3: características do terreno

CARACTERÍSTICAS DO TERRENO	
Peso Específico Natural	1.600 KgF / m <sup>3</sup>
Taxa de compressão do terreno na base	4,0 KgF / cm <sup>2</sup>
Cota do nível de água	Inexistente

### 4.6.1 MANILHAS

Logo após as escavações eram inseridos fundos de cava e posteriormente, com o uso de um caminhão munck, 4 manilhas em anel 1200 x 500 mm ao redor do suporte de concreto. Após a colocação das manilhas, o próximo passo da fundação é colocar areia com bastante água e, com auxílio de um socador, apiolar a areia lavada a cada 20 cm de altura dentro da estrutura, completando ao nível do solo. A execução da fundação deve ser feita, sempre que possível, imediatamente após o término da escavação, com a finalidade de evitar o alívio das pressões laterais do solo e o possível desabamento das paredes. Não deve existir qualquer espaço vazio entre a parede da escavação e a fundação. A figura 10 mostra o fundo de cava utilizado como “cama” na primeira etapa da concretagem. A figura 11 ilustra as manilhas preformadas utilizadas na obra.

Figura 10: Fundo de cava



Fonte: Premoldados Nunes, 2017

Figura 11: Manilhas pré-formadas



Fonte: Solaje Pré-moldados, 2017

Conforme ilustrado na Figura 12, temos o início do processo de inserção de manilhas nas escavações. Com uma cinta adequada, o operador do caminhão munck coloca as manilhas, ao passo de duas em duas. Com o auxílio de dois ajudantes e um vergalhão de ferro as manilhas são colocadas na posição correta, ao centro do piquete de marcação, este determinado por medição topográfica.

Figura 12: inserção de manilhas nas estruturas



Fonte: próprio autor, 2017

Na Figura 13 temos as 4 manilhas dentro da escavação. Após colocadas, a área deve ser sinalizada com cerquite, estacas e arame farpado até que os apoios sejam implantados.

Figura 13: inserção de manilhas nas estruturas (2)



Fonte: próprio autor, 2017

Após receber o poste, é colocado areia lavada e a estrutura é então apiolada a cada 20 cm de camada. A Figura 14 apresenta o ajudante molhando a areia.



Figura 14: Fundação sendo molhada



Fonte: próprio autor, 2017

A seguir têm-se os detalhes do projeto da fundação com manilhas que foi executado em Aventura I.

Figura 15 (a): fundação com manilhas preformadas

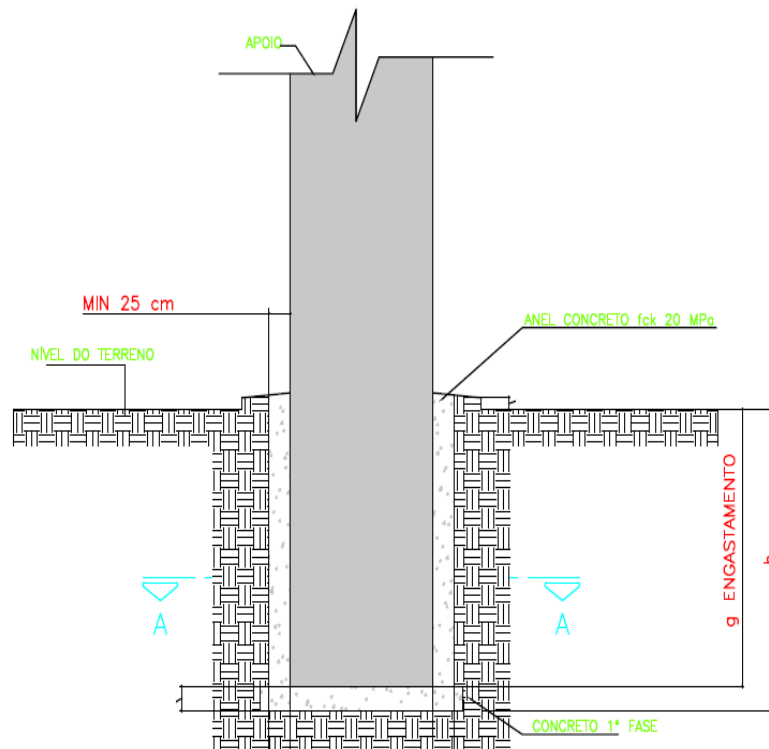
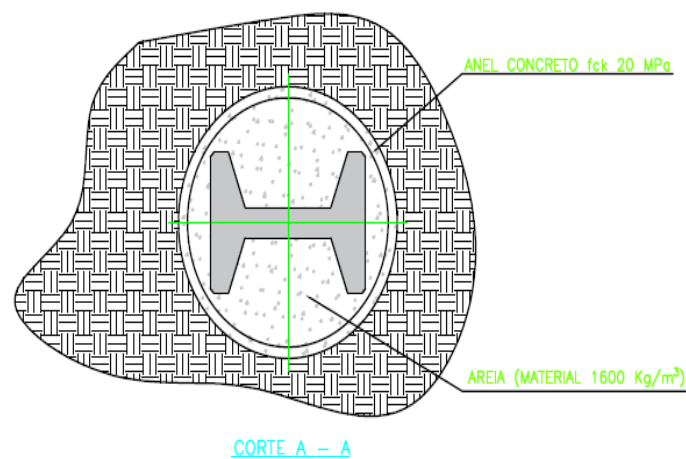


Figura 15 (b): fundação com manilhas preformadas

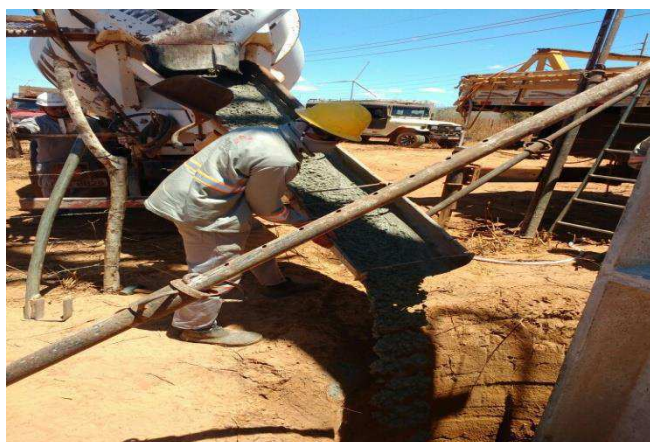


Fonte: próprio autor, 2017

#### 4.6.2 CONCRETAGEM

A outra maneira de realizar as fundações da RMT 34,5 kV foi a completa concretagem das estruturas. Esta foi dividida em duas etapas. Em uma primeira etapa concretava até a cota de engastamento do apoio, fazendo os 20 cm de fundo de cava. Após o concreto da base curar, era então feita a segunda etapa da concretagem, até 10 cm acima do nível do solo. O concreto lançado dever ser cuidadosamente vibrado de modo a preencher todas as reentrâncias das formas. As figuras 16 e 17 mostram o processo de concretagem de uma estrutura.

Figura 16: primeira etapa da concretagem



Fonte: próprio autor, 2017

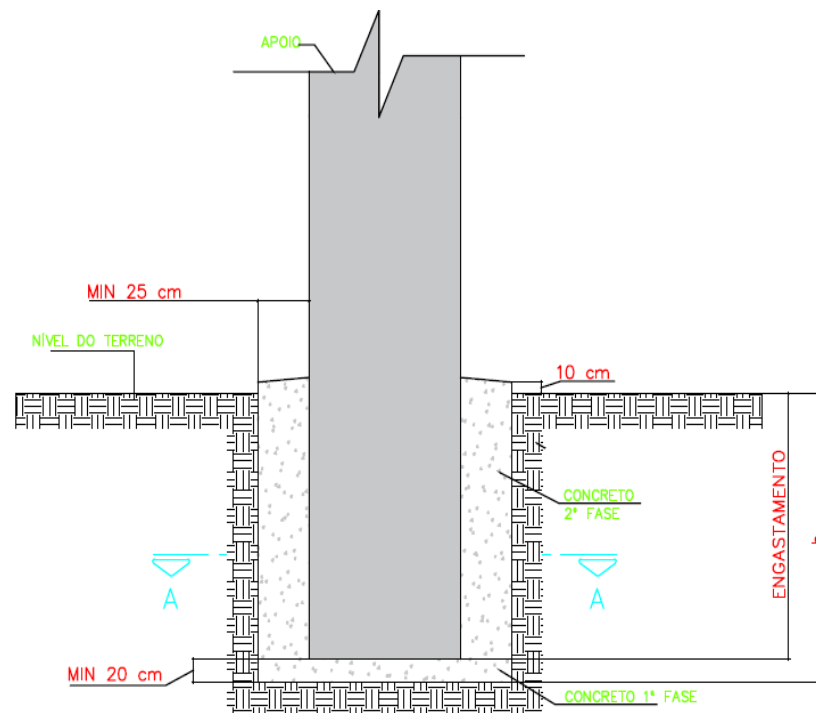
Figura 17: Concretagem completa de estrutura



Fonte: próprio autor, 2017

Na Figura 18 pode-se visualizar o método de fundação por concretagem que foi requisitado em projeto.

Figura 18: Fundação tipo concretagem do projeto da RMT 34,5 kV



Fonte: próprio autor, 2017

A profundidade da escavação do buraco e o engastamento da estrutura dependem da altura total do apoio. A relação entre profundidade de engastamento ( $e$ ), em metros, e comprimento do poste ( $h$ ) é dada pela Fórmula (17)

A Tabela 2 especifica os comprimentos dos postes utilizados na RMT 34,5 kV e, com base na equação acima, as medidas de escavação, engastamento dos apoios e sua altura útil.

Tabela 2: Medidas de escavação e engastamento

Comprimento do poste (m)	Escavação (m)	Engastamento (m)	Altura útil do poste (m)
16	2,4	2,2	13,8
17,8	2,6	2,4	15,4
18	2,6	2,4	15,6
20	2,8	2,6	17,4

Fonte: Próprio autor, 2017

## 4.7 CABOS DA REDE AÉREA

### 4.7.1 CABO CONDUTOR

O cabo condutor utilizado na RMT 34,5 kV é do tipo IBIS 397,5 MCM (classe CAA IBIS, material alumínio reforçado com alma de aço de secção nominal 397,5 AWG ou MCM).

O núcleo de aço de alumínio consiste em um ou mais fios de aço galvanizado no centro e fios de alumínio concêntricamente encaixados em camadas externas. O pequeno peso de alumínio e sua boa condutividade são combinados com alta resistência ao alongamento do aço.

Os condutores ACSR, como é conhecido o condutor de alumínio CAA na nomenclatura internacional, de maior resistência são utilizados para travessias de rios, cabos de terra, instalações envolvendo travessias extra longas, etc. A principal vantagem desses condutores é a alta resistência à tração e peso leve com extensões mais longas, bem como com suportes menores. Devido ao maior diâmetro dos condutores ACSR, pode ser obtido um limite de coroa muito maior, causando grandes vantagens nas linhas aéreas de alta e extra alta tensão. Usado como cabo de transmissão de sobrecarga e como cabo de distribuição primária e secundária. O condutor ACSR oferece a força ideal para o design da linha. O encadeamento de núcleo de aço variável permite alcançar a força desejada sem sacrificar a ampacidade.

A Figura 19 apresenta o cabo condutor usado na obra. Já a figura 20 detalha como é feita a construção do cabo. A camada mais externa é composta por fios de alumínio e a camada mais interna, por fios de aço.

Figura 19: Cabo condutor utilizado na RMT 34,5 kV



Fonte: Nassau Electrical Supply, 2017

Figura 20: Construção cabo IBIS 397,5 MCM



---

Fonte: General Cable, 2008

A Tabela 4 especifica os parâmetros do condutor cabo IBIS 397,5 MCM, utilizado na RMT 35,5 kV.

Tabela 3: Cabo condutor IBIS

Tensão (kV)	34,5
Velocidade do vento máxima considerada (km/h)	120
Número de condutores por fase	1
Frequência	60 Hz
Fator de potência	1
Número de vãos total	152
Cota mais baixa (m)	181,5
Cota mais alta (m)	212,4
Denominação	IBIS 397,5 MCM
Seção total (mm <sup>2</sup> )	234,1
Diâmetro total (mm)	19,8
Número de fios de alumínio	26
Número de fios de aço	7
Carga de ruptura (Kg)	7350
Peso (Kg/m)	0,81
Capacidade de corrente (A)	589

Fonte: Nexans, 2017

#### 4.7.2 FIBRA ÓPTICA

A fibra óptica utilizada para comunicação no parque de Aventura I é do tipo CFOA-SM-AS120-G-12 (cabo de fibra com recobrimento em acrílico – tipo monomodo – auto-sustentado – vão máximo de 120 m – núcleo preenchido com gel, proteção contra umidade – composta por 12 fibras), uso aéreo externo e elemento central dielétrico. A fibra óptica foi descarregada por um caminhão com madeiras para proteger os cabos de eventuais danos durante o transporte e a instalação.

O processo de lançamento e nivelamento da fibra óptica é semelhante ao dos cabos condutores. Monta-se as abraçadeiras específicas para cada esforço de poste e então a fibra é lançada, com muito cuidado devido a fragilidade de sua estrutura, e ancorada em um lado da abraçadeira e passada para o outro lado. Em algumas estruturas é feita uma “escolta” com a finalidade de deixar uma sobra para eventuais manobras na

linha. Em estruturas de fim de linha, sempre existe essa escolta e o cabo da fibra é então emendado. As Tabelas 4 e 5 detalham as propriedades geométricas / mecânicas e ópticas, respectivamente, da fibra utilizada em Aventura I.

Tabela 4: Propriedades Geométricas e Mecânicas F.O

Propriedades Geométricas e Mecânicas		
Diâmetro núcleo	µm	9 ± 0,4
Diâmetro revestimento	µm	125 ± 1
Concentricidade núcleo/revestimento	µm	0,5 – 0,6
Não circularidade revestimento	%	0,7-1
Diâmetro recobrimento primário	µm	242 ± 7
Não circularidade recobrimento primário	%	≈5
Concentricidade recobrimento primário /revestimento	µm	≈12
Longitude máxima	m	2000-4000
Aplastamento	N	1500
Espessura nominal	mm	
Cor	--	Negro
Rango temperaturas	°C	-5/+65
Rádio curvatura mínima	m.	20 x Ø Exterior
Peso aprox.	Kg/km	85-100

Fonte: Nexans, 2017

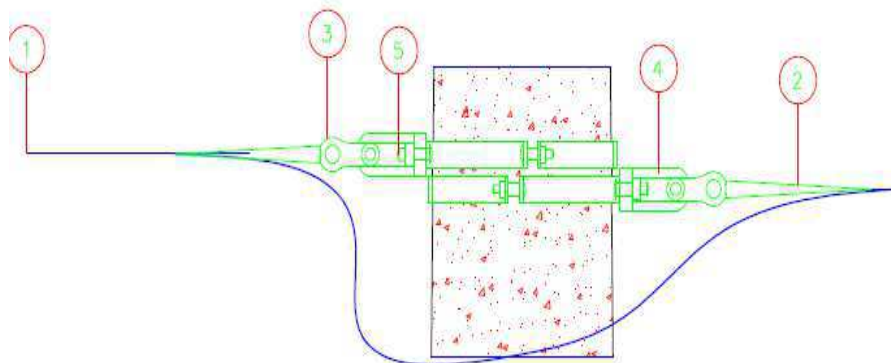
Tabela 5: Propriedades Ópticas F.O

Propriedades Ópticas		
Longitude onda zero	nm	1310
Longitude onda corta cabo	nm	≤1260
Coeficiente atenuação	dB/km	≤0,4
Dispersão cromática	ps/nm * km	3.5
Pendente dispersão zero	ps/nm <sup>2</sup> km	≈0,09
Índice de refração	--	1467
PMD	ps/(ps/√km)	0,1-0,2

Fonte: Nexans, 2017

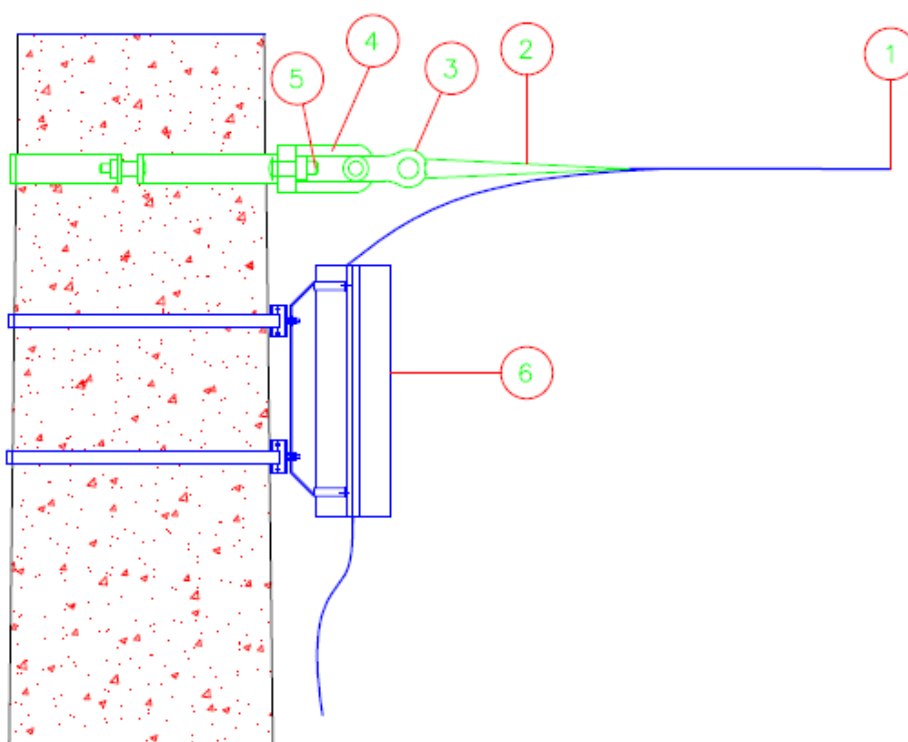
A seguir têm-se a representação em projeto do arranjo da fibra, tanto em estruturas de suspensão e ancoragem, como em estruturas de fim de linha. Os componentes são detalhados na Tabela 6.

Figura 21: arranjo de suspensão e ancoragem da F.O



Fonte: próprio autor, 2017

Figura 22: arranjo da fibra óptica em final de linha



Fonte: próprio autor, 2017



Tabela 6: componentes de estruturamento da fibra óptica

Item	NOME
1	Cabo de fibra óptica auto-sustentável
2	Alça preformada para o cabo
3	Olhal para parafuso M16, carga de ruptura 7000 DaN
4	Manilha Sapatilha
5	Parafuso Máquina Cabeça Quadrada
6	Caixa de emenda óptica, com suporte para postes

Fonte: Próprio autor, 2017

#### 4.7.3 CABO GUARDA

O cabo guarda utilizado na RMT 34,5 kV possui as especificações detalhadas na tabela a seguir

Tabela 7: Especificações cabo guarda

Denominação	3/8" EHS strands steel (AC-50)
Seção total (mm <sup>2</sup> )	51,077
Diâmetro total (mm)	9,144
Carga de ruptura (kg)	6850,26
Peso (kg/m)	0,398
Coefficiente de dilatação (°C)	0,001152
Módulo de elasticidade (kg/ mm <sup>2</sup> )	17236,9

Fonte: Nexans, 2017

## 4.8 ISOLADORES

Foram dois os tipos de isoladores utilizados na RMT 34,5 kV: isolador polimérico do tipo pilar (Line Post) e isolador polimérico do tipo bastão. Os isoladores poliméricos Line Post foram utilizados nas estruturas de circuito simples (E.02 até E.30), enquanto os isoladores poliméricos tipo bastão foram utilizados nas estruturas de circuito duplo (E.31-32 até E.152) e na E.01, por receber um circuito diretamente do aerogerador.

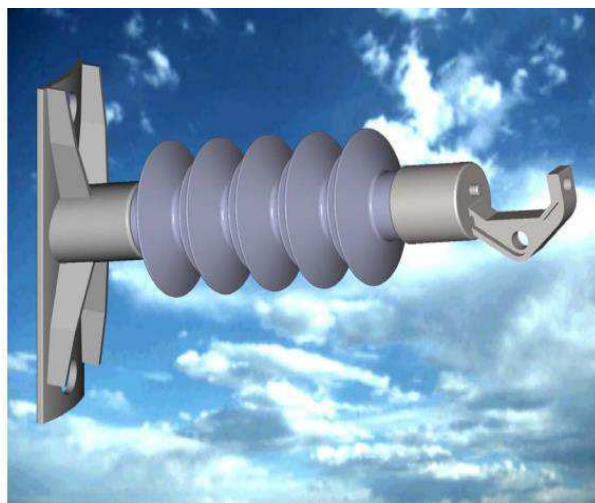
#### 4.8.1 ISOLADOR POLIMÉRICO LINE POST

Foram utilizados, na RMT 34,5 kV, 87 isoladores Line Post. Cada estrutura de circuito simples recebeu 3 isoladores, um para cada fase. As fases a e c de um lado e a fase b do outro.

Os isoladores Line Post foram desenvolvidos para operar em redes de distribuição, nas tensões entre 15,2 kV – 38 kV, podendo ser montado na vertical, horizontal ou qualquer outro ângulo em cruzetas de madeira, aço ou polimérica. O isolador é fabricado com um núcleo de resina epóxi com fibra de vidro, envolto em um composto de borracha de silicone, obtendo-se um peso inferior e distância de escoamento superior dos normalmente usados de porcelana. Algumas características dos isoladores poliméricos Line Post, dentre outras, são:

- Isoladores anti-vandalismo;
- Elevada resistência mecânica (Flexão e impacto);
- Elevada resistência ao trilhamento elétrico;
- Cor cinza claro, que não produz impacto visual;
- Resistência aos raios ultra violeta e às intempéries;
- Peso inferior a 40% dos equivalentes em porcelana;
- Intercambiabilidade total com modelos de Porcelana ou Vidro.

Figura 23: Isolador polimérico Line Post

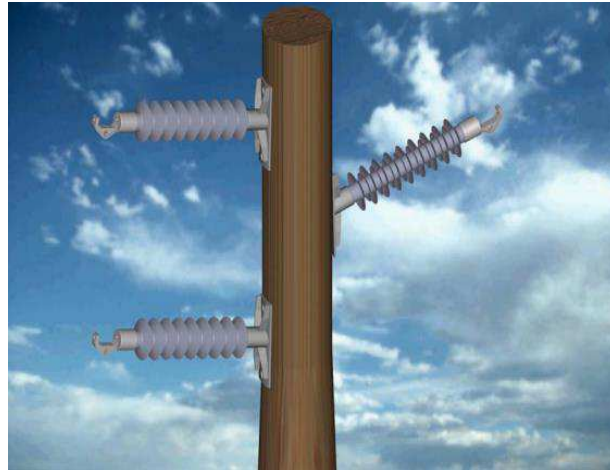


Fonte: Catálogo Silisol, 2016

A Figura 24 apresenta um exemplo de como os isoladores Line Post são montados em estruturas que recebem circuito simples. Esse exemplo é muito parecido

com a armação feita na RMT 34,5 kV, em Aventura I, cujos isoladores estavam todos eles montados em angulação de 45°.

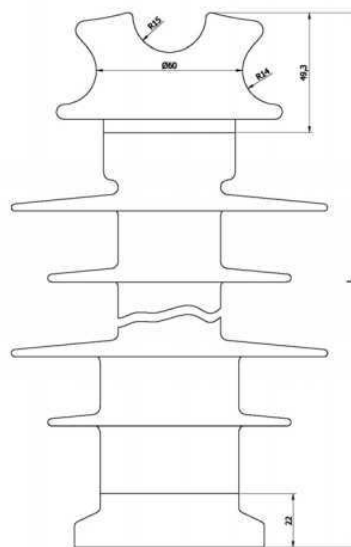
Figura 24: Exemplo de armação de Line Post nas estruturas simples



Fonte: Catálogo Silisol, 2016

A Figura 25 e a Tabela 8 trazem as especificações de projeto dos isoladores Line Post utilizados na RMT 34,5 kV.

Figura 25: projeto isolador Line Post



Fonte: Arquist, 2016

Tabela 8: especificações isolador Line Post

		kV Nom./Máx
		34,5 / 38
Número de saias		8
Comprimento L (mm)		350
Distância de escoamento (mm)		803
Distância de arco a seco (mm)		299
RIV ( $\mu$ V)		< 50
Peso unitário líquido (Kg)		2,6
Tensão suportável nominal de impulso atmosférico a seco (kV crista)		170
Tensão suportável a frequência industrial (kv Eficaz)	A seco	90
	Sob chuva	80

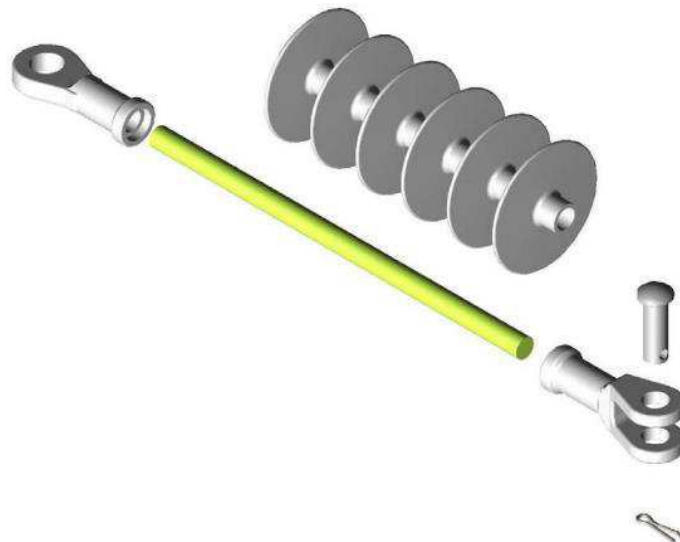
Fonte: ISOELETRIC, 2017

#### 4.8.2 ISOLADOR POLIMÉRICO TIPO BASTÃO

O outro isolador utilizado em Aventura I foi o polimérico do tipo bastão, os quais foram utilizados 1383 isoladores. Vale salientar que os isoladores de suspensão difere dos isoladores de ancoragem apenas no quesito carga mecânica suportada. Em Aventura I enquanto os isoladores bastão de suspensão possui resistência a carga mecânica de 80 kN, os isoladores bastão de ancoragem e fim de linha possui resistência a carga mecânica de 120 kN. Os isoladores de suspensão possuem ainda um ângulo de oscilação máximo de 20°. A montagem dos isoladores era feita de maneira idêntica nas estruturas, independente se estas eram de suspensão, ancoragem ou fim de linha. O tipo de engate com o poste era o garfo olhal. O que alterou, com base no tipo de estrutura, foi o ângulo de disposição do isolador no apoio. Nas estruturas de suspensão os isoladores ficam na vertical, formando uma perpendicular com a cruzeta do poste e com o sentido dos cabos condutores. Já nas estruturas de ancoragem e fim de linha, os

isoladores formam um ângulo de 180° com o sentido da linha. A figura 26 detalha como é montado o isolador polimérico do tipo bastão utilizado na RMT 34,5 kV.

Figura 26: Pré montagem do isolador Bastão com garfo olhal



Fonte: Maurizio, 2006

A Tabela mostra 9 as características dos isoladores bastão utilizados na obra em Aventura I.

Tabela 9: Especificações dos isoladores bastão

Tipo de material	Polimérico
Classe de tensão	36,2 kV
Carga mecânica	80 kN / 120 kN
Tipo de engate	Garfo olhal
Distância de escoamento	1582 mm
Peso	2,5 Kg
Tensão suportável a F.I	165 kV
Tensão disruptiva de impulso	380 kV
Comprimento total da cadeia	5

Fonte: ISOELETIC, 2017

## 4.9 ATERRAMENTO

Como visto, o aterramento tem por objetivo melhorar o desempenho da linha frente a surtos atmosféricos. Considerando o valor de 30 como valor de projeto para a resistência de aterramento das estruturas, tem-se que estruturas isoladas com resistência de aterramento superior a 30 poderão ser consideradas, desde que, no trecho em torno da mesma, a média das resistências de aterramento atenda ao limite máximo de 30.

Para todas as estruturas da RMT 34,5 kV previu-se um sistema de aterramento de todos os seus componentes metálicos até o solo. Para isso, o sistema de aterramento foi constituído de fio galvanizado interno da estrutura de concreto em toda sua extensão, com porcas soldadas que ficam na superfície do concreto, onde serão conectadas as ferragens que deverão ser aterradas, por meio de chapas de aterramento, presilhas bifilares e conectores.

As ligações entre as cruzetas e os postes foram feitas por meio de rabichos, conectados por meio de porcas e presilhas bifilares instaladas perto do cruzamento dos mesmos.

O projeto de aterramento dos apoios previu a interligação do fio interno à armadura da fundação das estruturas, com o uso dos seguintes materiais: cabo de cobre nu 70 mm<sup>2</sup>, uma haste de aterramento e soldas aluminotérmicas.

A configuração geométrica dos cabos contrapesos foi composta de dois ramais conectados ao ponto de aterramento na face da estrutura e à armadura da fundação do apoio (em um ferro com diâmetro de 8 mm). Todas as conexões enterradas foram feitas por meio de conectores adequados ao enterramento direto. Os dois ramais devem manter alinhamento com o eixo da linha aérea, podendo, ao necessário, desviar-se do eixo, porém restringindo-se à faixa de segurança da linha. Os cabos de contrapeso não podem causar interferência em outras instalações existentes ou atividades desenvolvidas dentro dos limites da faixa de segurança. Os cabos de contrapeso não deverão, ainda, ser instalados dentro de um raio de 15 m de oleodutos, gasodutos, linhas de abastecimento de água ou outras linhas subterrâneas. Na instalação dos cabos, foi evitada a passagem por terrenos rochosos que, em Aventura I, eram raros.

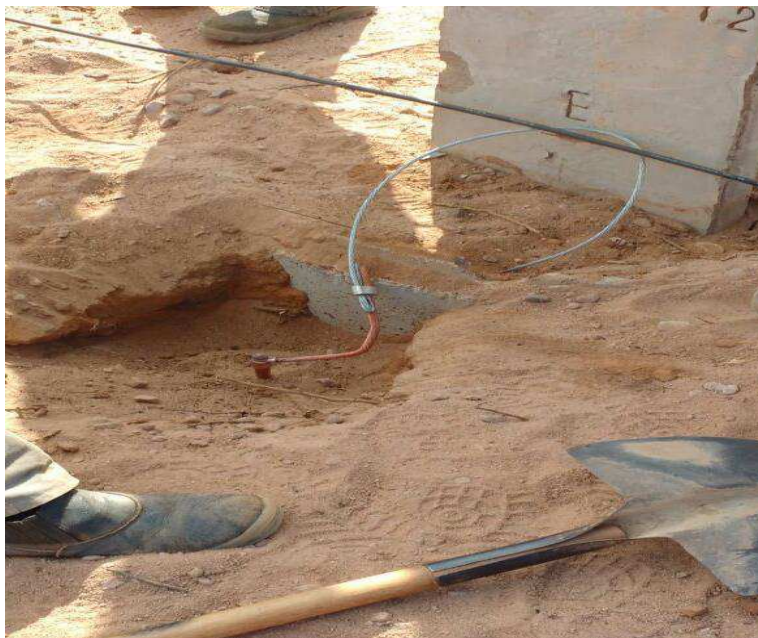
A profundidade de lançamento dos cabos de contrapeso tem pouca influência sobre seu desempenho, sendo definida, principalmente, tendo em vista a proteção contra

atos de vandalismo. Foi adotada, na RMT 34,5 kV, a profundidade de 0,9 m para o lançamento do cabo. As valetas (área para trabalhar o aterramento) tinham boa largura para garantir boa execução do serviço (aproximadamente 20 cm) e foram fechadas com terra e foram devidamente compactadas após o término de cada lançamento

Os cabos de contrapeso eram de cobre nu de 70 mm<sup>2</sup> instalado a uma profundidade de 0,9 m e soldado a haste, que deve ser de 3 m de longitude e 20 mm de secção.

A Figura 27 detalha a estrutura devidamente aterrada, com a haste e os cabos de cobre e o galvanizado, interligados com um conector do tipo cunha. A figura 28 detalha o conector utilizado no sistema de aterramento na RMT 34,5 kV.

Figura 27: Aterramento da estrutura



Fonte: próprio autor, 2017

Figura 28: Conector do tipo Cunha



Fonte: Eletro-shop

## 4.10 TRAVESSIAS SUBTERRÂNEAS

Uma particularidade importante da obra RMT 34,5 kV é que ela necessitava de alguns trechos onde a passagem dos cabos era feita de modo subterrânea. Para tal, a empresa contratante usou cabos de média tensão XLPE. As travessias subterrâneas se fazia necessária por alguns motivos, dentre eles: passagem de estrada de acesso de outras empresas a seus complexos eólicos, outras redes de MT instaladas nas proximidades e impossibilidade de desmatamento da paisagem local.

Para a execução das travessias subterrâneas uma equipe coordenada pelo encarregado fazia a sinalização do local, com cones e cerquites, ao mesmo tempo em que o operador de retroescavadeira dava início as escavações do trecho determinado. O encarregado ou mesmo o engenheiro instruíam o operador de modo que a escavação tivesse a profundidade determinada em projeto (para RMT 34,5 kV a profundidade era de 1 m). Finalizadas as escavações, uma equipe de ajudantes entrava para regularizar a vala manualmente.

Seguindo as etapas solicitadas em projeto, eram instalados todos PEAD's de 6 polegadas e, após sua instalação, era solicitada a concretagem com concreto 20 Mpa. Durante a concretagem o encarregado fica atento para não ultrapassar as alturas solicitadas em projeto. Após a realização dos itens anteriores, no dia seguinte respeitando a cura do concreto é realizado o reaterro/compactação do material para ser liberado para o fluxo de cabos. Com camadas de 20 cm em 20 cm, é realizado a compactação da vala com a utilização de Compactador a percussão e/ou rolo compactador. Em um certo momento do reaterro, acontece a instalação das fitas de sinalização, conforme mencionado em projeto. O último passo, que foi realizado pela empresa contratante, é a passagem dos cabos de média tensão e da fibra óptica pelos tubos PEAD's.

Junto às estruturas de fim/início de linha era confeccionada uma caixa de concreto para receber os cabos dos postes e auxiliar o direcionamento dos mesmos pelas travessias até a próxima estrutura. Esses postes eram de maior esforço e em sequência, como mencionado anteriormente, justamente pela justificativa das travessias e sua demanda de maior esforço dos cabos condutores. A sequências das figuras 29 ilustram todo o processo realizado nas travessias subterrâneas.



Figuras 29: Realização de travessias subterrâneas





Fonte: próprio autor, 2017

## 5 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS EM CAMPO

Neste capítulo será abordada toda a sequência de atividades e trabalhos realizados para a construção da RMT 34,5 Kv, bem como a descrição, representação fotográfica e explanação dessas atividades.

### 5.1 LOCAÇÃO TOPOGRÁFICA

A primeira atividade de campo em uma obra de linha de transmissão é a sua locação topográfica: demarcação, com piquetes de sinalização devidamente enterrados no solo, da área a ser escavada (onde será implantados os apoios). Para esta atividade a equipe de topografia foi constituída por um topógrafo e um auxiliar de topografia.

Para a alocação das estruturas da RMT 34,5 kV, o topógrafo da Energy LTDA iniciou os trabalhos cerca de 30 dias antes das escavações serem iniciadas. O equipamento utilizado para as medições foi o Estação Total, que faz medições de ângulos verticais e horizontais e também de distâncias lineares. Esse equipamento é capaz de armazenar os dados recolhidos e executar alguns cálculos mesmo em campo. Com uma estação total é possível determinar ângulos e distâncias do instrumento até pontos a serem examinados. Com o auxílio de trigonometria, os ângulos e distâncias podem ser usados para calcular as coordenadas das posições atuais (X, Y e Z) dos pontos examinados, ou a posição do instrumentos com relação a pontos conhecidos, em termos absolutos. Com a tabela de coordenadas de projeto que é passada ao topógrafo pela empresa contratante, é dado início a alocação da linha. Ao todo foram alocadas 152 estruturas.

Durante o caminhamento para execução dos serviços, deve ser feita, obrigatoriamente, estação do aparelho nos marcos existentes com a finalidade principal de conferência de progressivas e cotas. Caso o piquete de centro do apoio a ser locado não possa ser alinhado entre os marcos existentes por impossibilidade de visada, deve

ser cravado marco auxiliar em local onde a intervisibilidade seja possível. Receberá numeração do marco de alinhamento anterior mais próximo, acrescido da letra “L” de locação. A medida da distância do centro da torre ao piquete ou marco de referência deve ter precisão de centímetros. Devem ser utilizados equipamentos eletrônicos como estação total (no caso da RMT 34,5 kV) ou distânciômetro.

O erro admissível de afastamento do piquete ou marco de centro em relação ao alinhamento entre os marcos mais próximos de vante e de ré é dado pela expressão:

$$f = 0,0001d$$

f = afastamento do piquete ou marco de centro (em metros).

D = distância do marco de ré ou vante mais próximo do piquete ou marco de centro da estrutura (em metros).

O equipamento utilizado pela topografia em Aventura I pode ser visto na Figura 30. Já a Figura 31 apresenta um trecho da tabela com as coordenadas repassadas ao topógrafo para dar início ao levantamento. A figura 32 ilustra a atuação do topógrafo: instalação do equipamento no ponto e demarcação com piquete (branco e vermelho).

Figura 30: Estação Total



Fonte: SS Topografia

Figura 31: Coordenadas de alocação das estruturas

## 1. TABELA DE APOIOS

Se anexa tabela de apoios com as coordenadas X, Y e Z. Também se indicam o esforço de cada apoio de acordo a tabela do arvore de carregamento indicado no apartado 8 de este memorial.

STRUCTURE EDP	Structure Number	Station (m)	X Easting (m)	Y Northing (m)	Centerline Z Elevation (m)	Ahead Span (m)	Line Angle (deg)	Transverse Axis Azimuth (deg)
1	1	0	189.753,33	9.405.832,72	198,4	80	0	107,5403
2	2	80	189.777,44	9.405.909,00	198,79	80	0	107,5403
3	3	159,999	189.801,55	9.405.985,28	198,9	80,003	0,0068	107,5437
4	4	240,002	189.825,67	9.406.061,56	199,1	80	-0,0068	107,5437
5	5	320,001	189.849,78	9.406.137,84	199,2	80	0	107,5403
6	6	400,001	189.873,89	9.406.214,12	199,3	63,377	-0,0002	107,5402
7	7	463,377	189.892,99	9.406.274,55	199,4	56,34	0,0008	107,5405
8	8	519,717	189.909,97	9.406.328,27	199,6	63,588	0,005	107,5434
9	9	583,306	189.929,14	9.406.388,90	199,8	62,301	-26,8011	94,1454
10	10	645,607	189.919,12	9.406.450,39	199,941	53,804	-31,3808	65,0544
11	11	699,411	189.884,08	9.406.491,22	200,7	80,003	-28,088	35,3201
12	12	779,414	189.809,53	9.406.520,25	201,5	79,997	0,0093	21,2807
13	13	859,411	189.734,99	9.406.549,29	202,72	80,003	-0,0093	21,2807
14	14	939,413	189.660,44	9.406.578,32	202,7	79,997	0,0093	21,2807
15	15	1.019,41	189.585,90	9.406.607,36	202,76	80,003	-0,0093	21,2807
16	16	1.099,41	189.511,35	9.406.636,39	203	79,997	0,0093	21,2807
17	17	1.179,41	189.436,81	9.406.665,43	203,35	80,003	-0,0093	21,2807
18	18	1.259,41	189.362,26	9.406.694,46	204	79,993	0,0026	21,2774
19	19	1.339,41	189.287,72	9.406.723,49	204,8	80,006	0,0041	21,2807
20	20	1.419,41	189.213,17	9.406.752,53	205,8	79,993	-0,0041	21,2807
21	21	1.499,41	189.138,63	9.406.781,56	206,6	80,006	0,0041	21,2807

Fonte: próprio autor, 2017

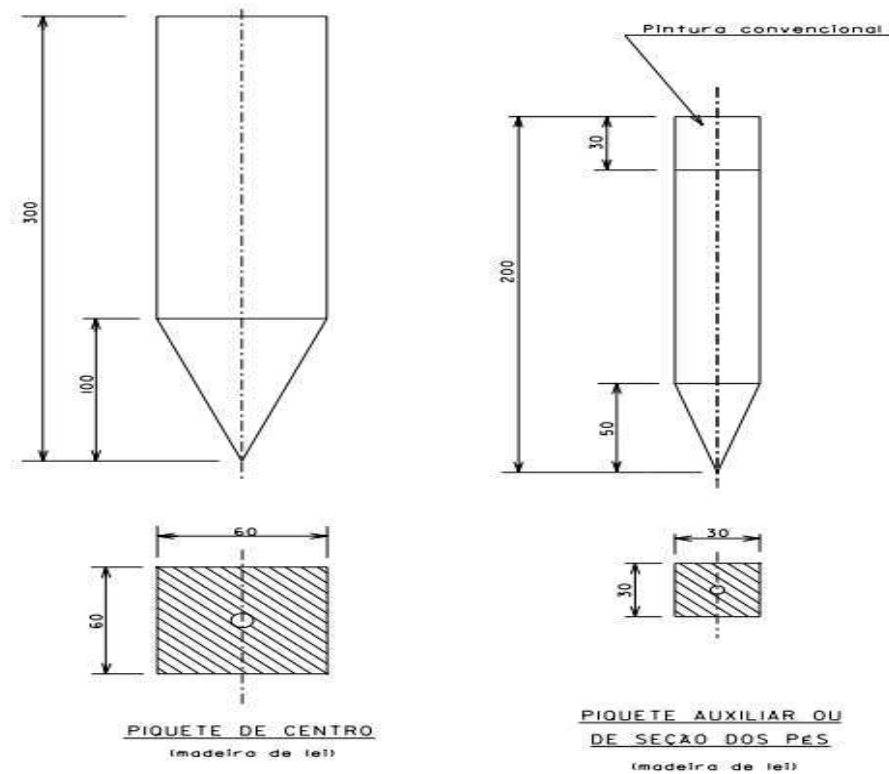
Figura 32: Atuação em campo da topografia



Fonte: próprio autor, 2017

A seguir é detalhado o dimensionamento e pintura dos piquetes de marcação (piquetes de centro e piquetes auxiliares) utilizados em Aventura I. Vale salientar que o material dos piquetes é madeira de lei. As cotas estão em centímetros.

Figura 33: Piquetes de marcação



Fonte: Cemig, 2015

## 5.2 SUPRESSÃO VEGETAL

A segunda atividade na obra da RMT 34,5 kV foi a supressão vegetal: limpeza dos acessos para transitar na área de servidão da linha, sua devida terraplanagem e cubagem da madeira retirada.

A primeira etapa da supressão vegetal é manual. Os ajudantes, portando facões e outros instrumentos, fazem a retirada da camada mais superficial da vegetação. Em um segundo momento, a máquina retroescavadeira retira as galhos mais firmes na terra e faz a terraplanagem no caminho da linha, sempre deixando uma margem de 5 metros de cada lado ao redor do centro do piquete de marcação.

Finalmente é feita a cubagem da madeira nativa retirada, processo este feito por um operador de máquina motosserra.

Figura 34: atividade de supressão vegetal manual e com auxílio de máquina



Fonte: próprio autor, 2017

### 5.3 ESCAVAÇÃO

Finalizadas as etapas de alocação topográfica e supressão vegetal, iniciam-se as escavações das estruturas que receberão os apoios.

A atividade de escavação, assim como a supressão vegetal, foi dividida em duas etapas: a primeira era feita de forma manual e a segunda etapa foi realizada com auxílio de um trado acoplado a uma máquina retroescavadeira.

A escavação da estrutura iniciava com um ajudante provido de uma picareta retirando a camada mais externa do solo. Em seguida outro ajudante, este portando uma pá, retirava o excesso da terra e deixava a estrutura na circunferência adequada para a próxima etapa. A escavação manual finalizava deixando o buranco com cerca de 0,3 m de profundidade. Para essa etapa da escavação, fazia-se presente um encarregado de obra e três ajudantes.

Figura 35: conclusão da escavação manual



Fonte: próprio autor, 2017

Para finalizar a escavação da estrutura, entrava em cena a máquina retroescavadeira. Com um trado acoplado, o operador da retro manuseava com cuidado o equipamento, escavando até a profundidade de engaste de cada apoio. A cada subida do trado, dois ajudantes retiravam, com o auxílio de pás, o excesso de terra do equipamento para este fazer nova incursão na estrutura. Esta etapa sempre contava com a presença de um encarregado de obra, um operador de retroescavadeira e dois ajudantes.

Uma maneira de facilitar as escavações, seja na etapa manual ou com máquina, principalmente em terrenos com pedras, era molhar bastante a área da estrutura a ser escavada.

Figura 36: escavação com retroescavadeira



Fonte: próprio autor, 2017



Figura 37: Atividade de escavação



(a) Estrutura completamente escavada      (b) Estrutura sendo alagada

Fonte: próprio autor, 2017

#### 5.4 DISTRIBUIÇÃO DE MANILHAS

As manilhas eram descarregadas e distribuídas nas estruturas com esse tipo de fundação.

Figura 38: Manilhas e fundo de cava distribuídos



Fonte: próprio autor, 2017

## 5.5 INSERÇÃO DE MANILHAS

Com as manilhas distribuídas e as estruturas devidamente escavadas, elas agora podem receber os fundos de cava e as manilhas preformadas. As figuras 12 e 13 já detalham o processo de inserção de manilhas e reaterro da área vizinha à estrutura.

## 5.6 DISTRIBUIÇÃO DE POSTES

O planejamento seguia com a distribuição dos postes específicos para suas estruturas. Algumas vezes os postes eram descarregados no canteiro de obras para posteriormente serem distribuídos por um caminhão munk, outras vezes eram descarregados já no Parque Eólico de Aventura I.

Figura 39: distribuição de postes



Fonte: próprio autor, 2017

## 5.7 ESTRUTURAÇÃO DE POSTES

Assim que os postes e as cruzetas eram distribuídos em suas respectivas estruturas, iniciava-se a etapa de armação (ou estruturação) desses apoios.

Para os postes da obra RMT 34,5 kV foram utilizados dois tipos de parafusos na etapa de armação: parafuso máquina do tipo barra roscada total (ou parafuso poste-cruzeta) e parafuso do tipo olhal.

Figura 40: parafusos utilizados na estruturação de apoios



Fonte: Isotrafo, 2016

Os parafusos máquina são utilizados na junção da cruzeta com o poste. São utilizados três parafusos desse tipo para armar cada cruzeta. Como são três cruzetas (em postes de suspensão) ou seis cruzetas em pares de duas (em postes de ancoragem), são utilizados 9 parafusos máquina para cada apoio. Em estruturas de fim de linha, são utilizadas nove cruzetas e dezoito parafusos máquina.

Os parafusos do tipo olhal fazem a conexão entre as extremidades das cruzetas. Finalidade do olhal na extremidade é receber, posteriormente, apoio para o cabo condutor. Todos os tipos e tamanhos de parafusos eram separados no almoxarifado e levados para cada estrutura de forma organizada.

Para a atividade, um caminhão munk fazia o levantamento da estrutura até ela ficar apropriada para o trabalho dos montadores. Na execução do serviço sempre estavam presentes um encarregado de obras, cinco montadores, dois ajudantes e um operador de caminhão munk. As Figuras 41 (a) e (b) representam a atividade de estruturação de postes em campo.

Figura 41: Estruturação de postes



(a)



(b)

Fonte: Próprio autor, 2017

## 5.8 IMPLANTAÇÃO DE POSTES

Com os apoios perfeitamente montados é hora de sua implantação nas estruturas escavadas, uma etapa que requer certo cuidado e atenção dos profissionais envolvidos.

Novamente com o auxílio de um caminhão munk (para postes com esforço menor que 6000 DaN) e uma cinta adequada, posicionada na metade de cima do poste com a finalidade de exercer menos esforço, a estrutura é levantada até uma posição perpendicular ao solo. O poste é então inserido vagarosamente na estrutura e, com as instruções da topografia, que faz o alinhamento do apoio em sua estrutura, os ajudantes conduzem o poste ao centro do fundo de cava e/ou do piquete auxiliar. Com o sinal positivo da topografia, a estrutura é aterrada ou concretada, dependendo do tipo de fundação desta. Ao final, o poste é estaiado (postes de maior esforço) e após a perfeita fixação, o caminhão munk retira a cinta, finalizando a atividade de implantação. Para os apoios com esforço maior que 6000 DaN foi necessário, ao invés do caminhão munk, um guindaste, contratado no próprio parque de Aventura I.

Vale salientar que para postes de maior esforço (esforço > 4500 DaN) a cinta é retirada um ou dois dias depois, que é o tempo de cura do concreto. Durante esse intervalo o poste recebe estaiamento provisório e em seguida estaiamento definitivo.

As figuras 42 (a), (b) e (c) mostram a sequência de uma atividade de implantação de poste.

Figura 42 (a): Implantação de poste



Fonte: próprio autor, 2017

(b)



Fonte: próprio autor, 2017

(c)



Fonte: próprio autor, 2017

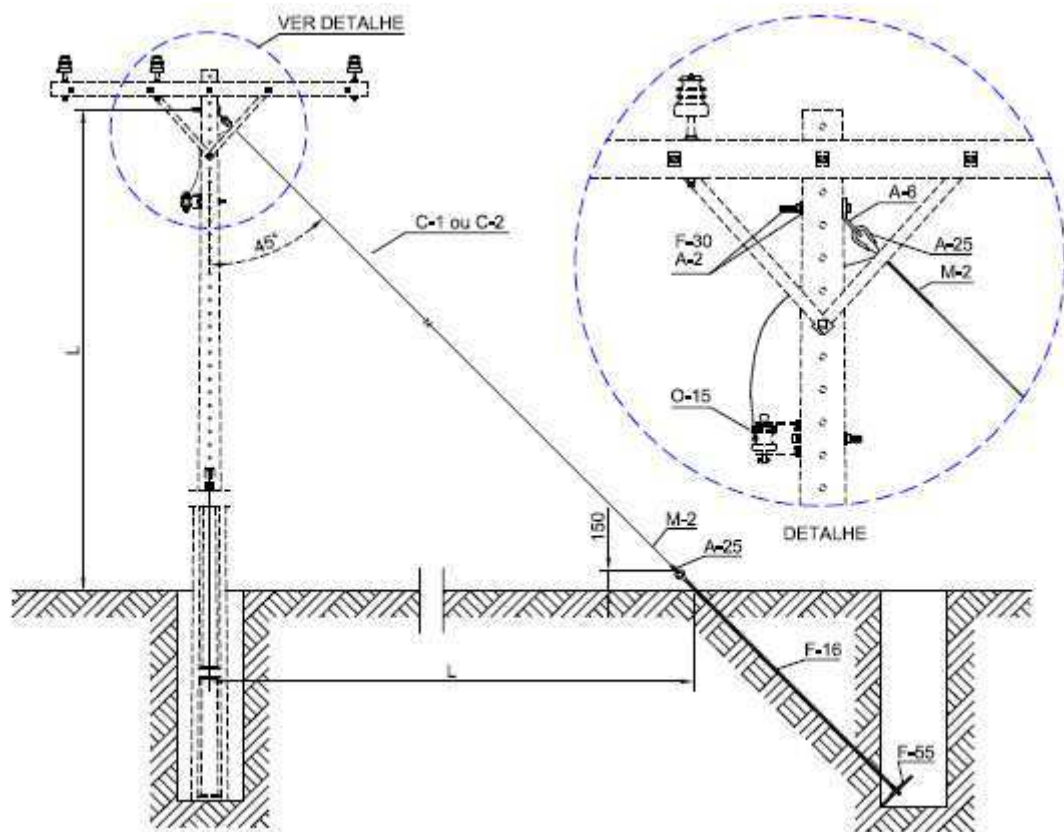
Pelas imagens acima, percebe-se que é uma atividade que requer bastante atenção no quesito segurança. Os envolvidos não devem ficar próximos ao apoio no momento de levantamento e nem na rota imaginária de colisão, caso a cinta venha a romper.

## 5.9 ESTAIAMENTO

Para os postes de ângulo ou de maior esforço foi previsto o procedimento de estaiamento: conjunto de cabos metálicos, hastes e chapas que auxiliam na sustentação da estrutura. Cada estai deve descarregar um mínimo de 1200 kgf. Para a RMT 34,5 kV o material utilizado para estai foi cabo de aço galvanizado, com diâmetro 9,5 mm.

O procedimento para instalação de estai é relativamente simples: primeiramente a máquina retroescavadeira faz a escavação do local que irá receber a âncora. Essa escavação deverá ser feita até 0,6 m abaixo do nível do solo, onde ficará a âncora. Paralelamente, um montador fixa o cabo de aço galvanizado no parafuso olhal instalado na furação imediatamente abaixo da primeira cruzeta. A haste fixa o cabo de aço galvanizado à âncora. A Figura 43 detalha o processo de estaiamento da estrutura, onde  $L$  é a altura útil do poste.

Figura 43: Instalação de cabo estai



Fonte: NTC 06

Tabela 10: Ferramentas para estai

A-2	Arruela Quadrada	F-16	Haste de âncora
A-6	Chapa de Estai	F-30	Parafuso cabeça quadrada
A-25	Sapatilha	F-55	Chapa para âncora
C-1	Cabo de aço	M-2	Alça para estai
C-2	Cabo de aço revestido de Al	O-15	Conector do tipo Cunha

Fonte: NTC 06

## 5.10 LANÇAMENTO DE CABOS

A penúltima e mais demorada atividade da obra de linhas de transmissão é o lançamento dos cabos (condutores, cabo guarda e fibra óptica). Pode-se dividir os procedimentos de lançamento em 4 etapas: preparação da praça, lançamento dos cabos, nivelamento e grampeamento.

Antes da preparação da praça é feito um planejamento de marcação e distribuição das bobinas de cabos. Esse planejamento é necessário pois cada bobina possui uma metragem de cabos que vai de encontro ao tamanho dos tramos. Após isso, a praça de lançamento é montada com o um caminhão munk fazendo o transporte das bobinas.

A instalação de bandolas (roldanas móveis) nos isoladores ou mesmo diretamente nas cruzetas dava início ao lançamento dos cabos nas estruturas. Com o desenrolar das bobinas, os montadores subiam em um cesto adequado e levava os cabos até as roldanas móveis. A ponta dos cabos era acoplada a uma retroescavadeira e o operador fazia, de maneira cuidadosa e lenta, o puxamento dos cabos, todas as etapas com pleno acompanhamento e controle do encarregado de obra e do engenheiro. Na RMT 34,5 kV (circuito duplo) a tática utilizada para o lançamento de cabos consistia em lançar as fases A dos dois circuitos, depois as fases B dos circuitos e finalizando com as fases C. Essa etapa requer alguns cuidados especiais, como por exemplo não permitir que os condutores entrem em contato com o solo, podendo danificar os cabos.

Lançadas todas as fases dos circuitos, inicia-se o nivelamento ou tensionamento dos cabos. Essa etapa é acompanhada, além do encarregado e dos montadores, pela equipe de topografia. Com o equipamento Estação Total e dispondo das tabelas, fornecidas pela empresa contratante, que contém o valor das flechas nas condições de temperatura no momento o topógrafo consegue medir as flechas fazendo tangenciar a parte inferior dos cabos a linha de visada no equipamento utilizado. Na RMT 34,5 kV nivelou-se os cabos no seguinte método: fixa-se a distância da luneta ou a distância do alvo aos pontos de suspensão, calculando-se a outra distância em função do valor da flecha desejada. Demonstra-se que

$$f = \left[ \frac{\sqrt{D} + \sqrt{E}}{2} \right]^2$$

Fixando o valor de E pode-se obter,



$$D = \left[ 2\sqrt{f - \sqrt{E}} \right]^2$$

Nivelados os cabos, a última etapa é o grampeamento (fixação dos condutores à cadeia), quando são retiradas as roldanas móveis. As amarrações podem ser feitas por meio de prensas a compressão, tal como apresentado na figura 44. São instaladas grampas e amortecedores e então é finalizada as atividades de lançamento, nivelamento e grampeamento de cabos condutores.

Figura 44: Cabos sendo prensados



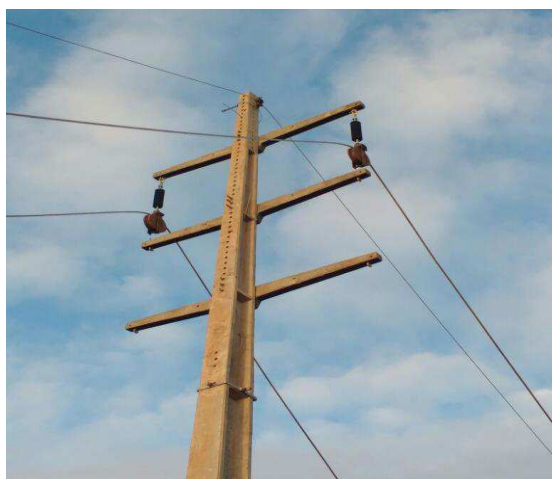
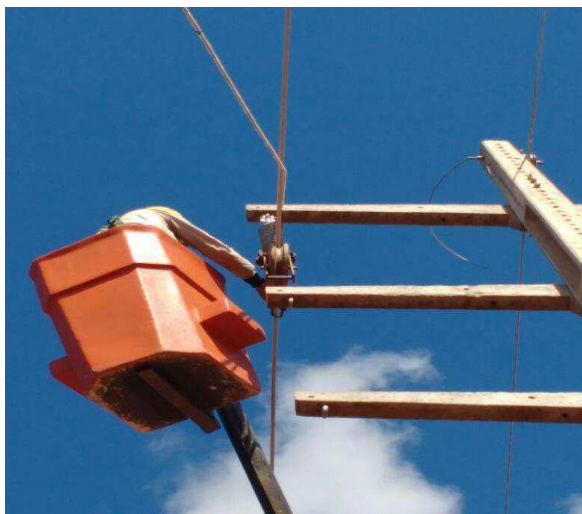
Fonte: próprio autor, 2017

Figura 45: Instalação de Jumpers



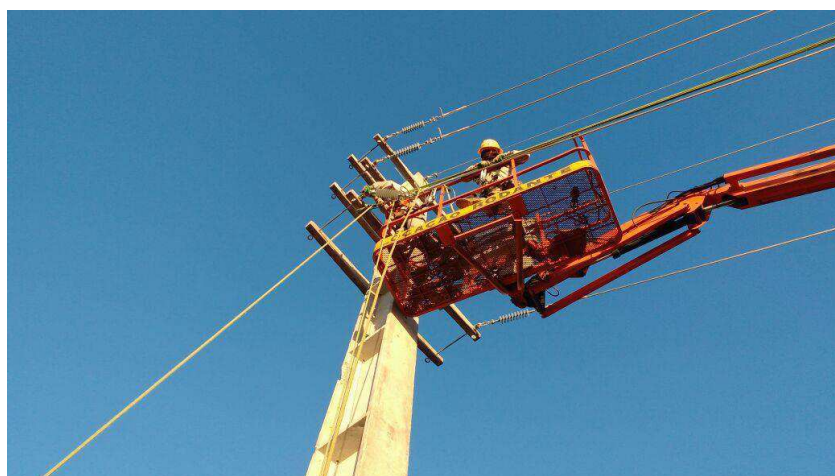
Fonte: próprio autor, 2017

Figuras 46: Lançamento de cabos



Fonte: próprio autor, 2017

Figura 47: Grampeamento de Cabos





Fonte: próprio autor, 2017

## 5.11 ATIVIDADES DE PLANEJAMENTO E ACOMPANHAMENTO

As outras áreas de atuação do estagiário eram o planejamento das atividades, acompanhamento e seu registro diário.

Sempre ao final do expediente era feito um balanço diário da produção. Esse balanço era registrado em documento, denominado Relatório Diário de Obra (RDO). O RDO dispunha de informações chave como as atividades desenvolvidas no dia, sua produção, possíveis problemas que impediam algum procedimento, fotos, condições climáticas, efetivo de trabalhadores em campo, entre outras. O relatório era então enviado aos representantes da empresa contratante.

Figura 48: Trecho de RDO

 		RMT 34,5 KV AVENTURA I		DATA	
				04/12/2017	
				segunda-feira	
Cond. Climática: Manhã (2.1)		Tarde (1)	Noite: (1)	Legenda: 1 - Bom 2 - Chuva	
ATIVIDADES		SERVIÇOS EXECUTADOS / OCORRÊNCIAS		MÃO DE OBRA INDIRETA	
		PRODUÇÃO		Função	
TOPOGRAFIA	NIVELAMENTO DE CABOS CONDUTORES				
GRAMPEAMENTO DE CABOS CONDUTORES	FASE A CIRCUITO 1 (83 a 87) / FASE A CIRC. 2 (83 a 87) // FASE B CIRCUITO 1 (83 a 87) / FASE B CIRC. 2 (83 a 87) // FASE C CIRCUITO 1 (83 a 87) / FASE C CIRC. 2 (83 a 87)				
NIVELAMENTO DE CABOS CONDUTORES	FASE A CIRCUITO 1 (83 a 87) / FASE A CIRC. 2 (83 a 87) // FASE B CIRCUITO 1 (83 a 87) / FASE B CIRC. 2 (83 a 87) // FASE C CIRCUITO 1 (83 a 87) / FASE C CIRC. 2 (83 a 87)				
LANÇAMENTO DE CABOS CONDUTORES	E.57 a E.58				
ESTRUTURAS MONTADAS	INSTALAÇÃO DE JUMPERS E.34 / E.40 / E.41 / E.43				
ATERRAMENTO DE ESTRUTURAS	E.37 a E.45				
<p>Conforme conversado em campo com sr. Alvaro, a tabela de esticamento apresentada pela TSK não pode ser utilizada, pois menciona um valor bem acima do suportado pelos tramos no decorrer da LT, seguindo instruções do mesmo, faremos as medidas de acordo com as flechas dos cabos, Será inserido uma força de tração de 400kgf a 450kgf. Seguiremos aplicando a tração mencionada anteriormente.</p>					

Fonte: próprio autor, 2017

Paralelamente ao RDO era preenchida a tabela de produção, denominada de Acompanhamento de Obra. Nessa tabela, feita no Excel, todas as atividades eram marcadas no dia em que foi completada. O acompanhamento era de vital importância pois, a partir dele, era feito o planejamento com os encarregados e suas equipes para as atividades a serem desenvolvidas no dia seguinte e na semana em questão. O acompanhamento também dava suporte ao planejamento de chegada e distribuição de materiais e/ou equipamentos na obra. Exemplo: no acompanhamento se via quais os postes já foram distribuídos e em quais estruturas faltava. O encarregado era chamado e sua equipe designada a realizar a atividade de distribuição de postes nas estruturas indicadas.

Figura 49: Trecho do Acompanhamento de atividades

ESTRUTURAS																								
UNITE/LOCALIZAÇÃO	POSTE ENERGY	TIPO DE CIRCUITO	TIPO DE POSTE - REVISÃO	ENGRASTAMENTO	ALTURA UTIL	ESPOURO	ALTURA TOTAL REVISÃO	LOCALIZAÇÃO TOPOGRAFICA	DATA	SUPRESSÃO VEGETAL	DATA	ESCAVAÇÃO	DATA	INSERÇÃO DE MANILHAS	DATA	DISTRIBUIÇÃO DE POSTE	DATA	MONTAGEM	DATA	IMPLEMENTAÇÃO DE POSTE	DATA	REATERGEM/ CONCRETAGEM	DATA	
107	106	DUPLO	2x4 ano de	2,2	13,8	1000	16	1		1		1	25/10/2017	1	04/11/2017	1	01/11/2017	1	01/11/2017	1	04/11/2017	1	04/11/2017	
108	107	DUPLO	2x3 H de	2,2	13,8	9000	16	1		1		1	09/11/2017	FUNDO		1	20/11/2017							
109	108	DUPLO	2x3 H de	2,2	13,8	9000	16	1		1		1	09/11/2017	FUNDO		1	20/11/2017							
110	109	DUPLO	2x4 ano de	2,2	13,8	1000	16	1		1		1	24/10/2017	1	06/11/2017	1			1	08/11/2017	1	08/11/2017	1	08/11/2017
111	110	DUPLO	2x4 ano de	2,4	15,4	1000	17,8	1		1		1	24/10/2017	1	06/11/2017	1			1	08/11/2017	1	08/11/2017	1	08/11/2017
112	111	DUPLO	2x1 susp de	2,4	15,6	1000	18	1		1		1	24/10/2017	1	06/11/2017	1	28/10/2017	1	08/11/2017	1	08/11/2017	1	08/11/2017	
113	112	DUPLO	2x4 ano de	2,4	15,4	2500	17,8	1		1		1	24/10/2017	1	06/11/2017	1	28/10/2017	1	06/11/2017	1	06/11/2017	1	06/11/2017	
114	113	DUPLO	2x4 ano de	2,2	13,8	4500	16	1		1		1	24/10/2017	FUNDO		1	11/11/2017	1	17/11/2017	1	2/11/2017	1	2/11/2017	
115	114	DUPLO	2x4 ano de	2,2	13,8	3500	16	1		1		1	24/10/2017	1		1	03/11/2017	1	06/11/2017	1	06/11/2017	1	06/11/2017	
116	115	DUPLO	2x4 ano de	2,4	15,4	2000	17,8	1		1		1	23/10/2017			1	2/11/2017	1	22/11/2017	1	22/11/2017	1	22/11/2017	
117	116	DUPLO	2x4 ano de	2,4	15,4	2500	17,8	1		1		1	11/10/2017			1	2/11/2017	1	22/11/2017	1	22/11/2017	1	22/11/2017	
118	117	DUPLO	2x4 ano de	2,4	15,4	7500	17,8	1		1		1	11/10/2017			1	2/11/2017	1	22/11/2017	1	22/11/2017	1	22/11/2017	
119	118	DUPLO	2x4 ano de	2,6	17,4	1000	20	1		1		1	10/10/2017	1	19/10/2017	1	20/10/2017	1	21/10/2017	1	21/10/2017	1	21/10/2017	
120	119	DUPLO	2x1 susp de	2,2	13,8	1000	16	1		1		1	10/10/2017	1	16/10/2017	1	17/10/2017	1	20/10/2017	1	21/10/2017	1	21/10/2017	
121	120	DUPLO	2x1 susp de	2,2	13,8	1000	16	1		1		1	10/10/2017	1	16/10/2017	1	17/10/2017	1	20/10/2017	1	20/10/2017	1	20/10/2017	
122	121	DUPLO	2x4 ano de	2,2	13,8	1000	16	1		1		1	10/10/2017	1	16/10/2017	1	16/10/2017	1	20/10/2017	1	20/10/2017	1	20/10/2017	
123	122	DUPLO	2x1 susp de	2,2	13,8	1000	16	1		1		1	10/10/2017	1	16/10/2017	1	16/10/2017	1	20/10/2017	1	20/10/2017	1	20/10/2017	
124	123	DUPLO	2x1 susp de	2,2	13,8	1000	16	1		1		1	10/10/2017	1	16/10/2017	1	16/10/2017	1	20/10/2017	1	20/10/2017	1	20/10/2017	
125	124	DUPLO	2x1 susp de	2,2	13,8	1000	16	1		1		1	10/10/2017	1	16/10/2017	1	16/10/2017	1	20/10/2017	1	20/10/2017	1	20/10/2017	

Fonte: próprio autor, 2017

## 5.12 ASPECTOS SÓCIO-ECONÔMICOS

Na execução da obra RMT 34,5 kV a empresa Energy LTDA fez suas instalações no distrito de Queimadas, no município de João Câmara – RN. À Queimadas, com pouco mais de 1000 habitantes, foi proporcionado o pico de desenvolvimento temporário característico de áreas que recebem diversas obras e abrigam dezenas de empresas.

No que diz respeito ao efetivo da Energy LTDA (aproximadamente 60 pessoas) era injetado diariamente R\$ 1.500,00 apenas com alimentação básicas (café da manhã, almoço e jantar) nos restaurantes do povoado. Com cerca de 8 casas alugadas para comportar os funcionários, mais R\$ 4.000,00 mensalmente rendia aos proprietários uma razoável alternativa de fonte.

Como foi percebido pelo estagiário durante os trabalhos, a soma de capital injetado pelas empresas no povoado de Queimadas gerava uma inflação nos preços dos produtos e serviços prestados. Os comunitários gozavam de bom poder de compra e negociação.

Ao término da obra, acompanhada da saída de diversas empresas do local, pôde-se constatar a “depressão” gerada na comunidade. O padrão de vida dos nativos da região cai bruscamente e os preços tanto de produtos como de serviços voltam ao patamar de mercado.

Faltam ações que proporcionem maior integração entre as empresas e a população local, até mesmo no que diz respeito a oportunidades de qualificação profissional e inserção no mercado de trabalho.

## 6 CONCLUSÃO

Este capítulo tem o propósito de descrever sequencialmente e de modo conclusivo as principais atividades desenvolvidas no decorrer do estágio curricular do graduando na empresa Energy Eletricidade LTDA.

No período correspondente foi adquirida uma visão geral de ordem prática na área de linhas de transmissão e sistemas elétricos de alta potência.

Vale aqui destacar a parte de gestão pessoal, o tratamento com as pessoas, a importância da boa convivência com os trabalhadores, o respeito e a necessidade de aprender e repassar os conhecimentos de maneira bastante clara.

Na parte técnica, antes de tudo, verificou-se a consolidação dos conhecimentos teóricos adquiridos na graduação; a execução de um projeto de linha de transmissão, na medida em que envolve aspectos mecânicos, elétricos, econômicos e ambientais na obtenção de uma solução final, requer muita habilidade das pessoas responsáveis, pois os problemas surgem diariamente e necessitam sempre de solução rápida. “Tudo aqui é urgente” costumava repetir o engenheiro.

O estudante estagiário pôde concluir algumas deficiências, a principal delas é que os projetistas da obra, espanhóis da empresa TSK Energia, não conheciam muito bem a área da RMT 34,5 kV, o que gerou alguns equívocos de projeto, como por exemplo no dimensionamento de estruturas.

Outra conclusão a se destacar é que os cursos de engenharia poderiam ser mais multidisciplinares e dinâmicos, o que facilitaria o entendimento de certos problemas no âmbito industrial e na parte econômica, centro da demanda de soluções em engenharia.

## 7 BIBLIOGRAFIA

ABNT. **NBR 5422-Projeto de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 1985.

ABNT. **NBR 15688 – Redes de distribuição aéreas com condutores nus**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 2009

**NTC 06 - Estruturas para Redes de Distribuição Aéreas Rurais Classes 15 e 36,2 kV**. NTC. 2016

ISOELETRIC. **Catálogo isoeletric**. Bagnolo Cremasco: [s.n.], 2006.

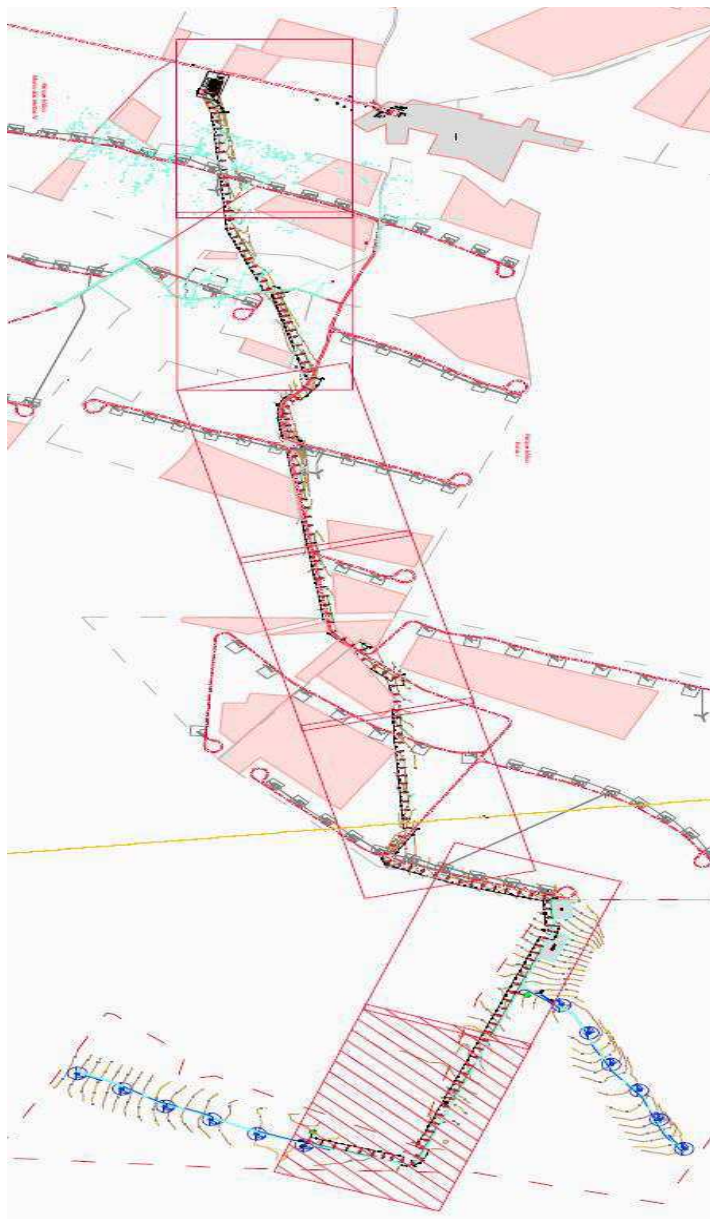
Norma de Distribuição – Redes de Distribuição Aéreas Rurais. ENERSUL

NT.31.005 – **CRITÉRIOS DE PROJETOS DE LINHAS E REDES DE DISTRIBUIÇÃO**

NP – 12.30602 – **NORMA DE PROCEDIMENTOS**

NTD – 003 705 – **MONTAGEM DE REDES DE DISTRIBUIÇÃO AÉREA – REDE ENERGIA**. Estruturas para redes de distribuição aéreas com condutores nus até 36,2 kV.

## ANEXO A – TRAÇADO DA RMT 34,5 kV



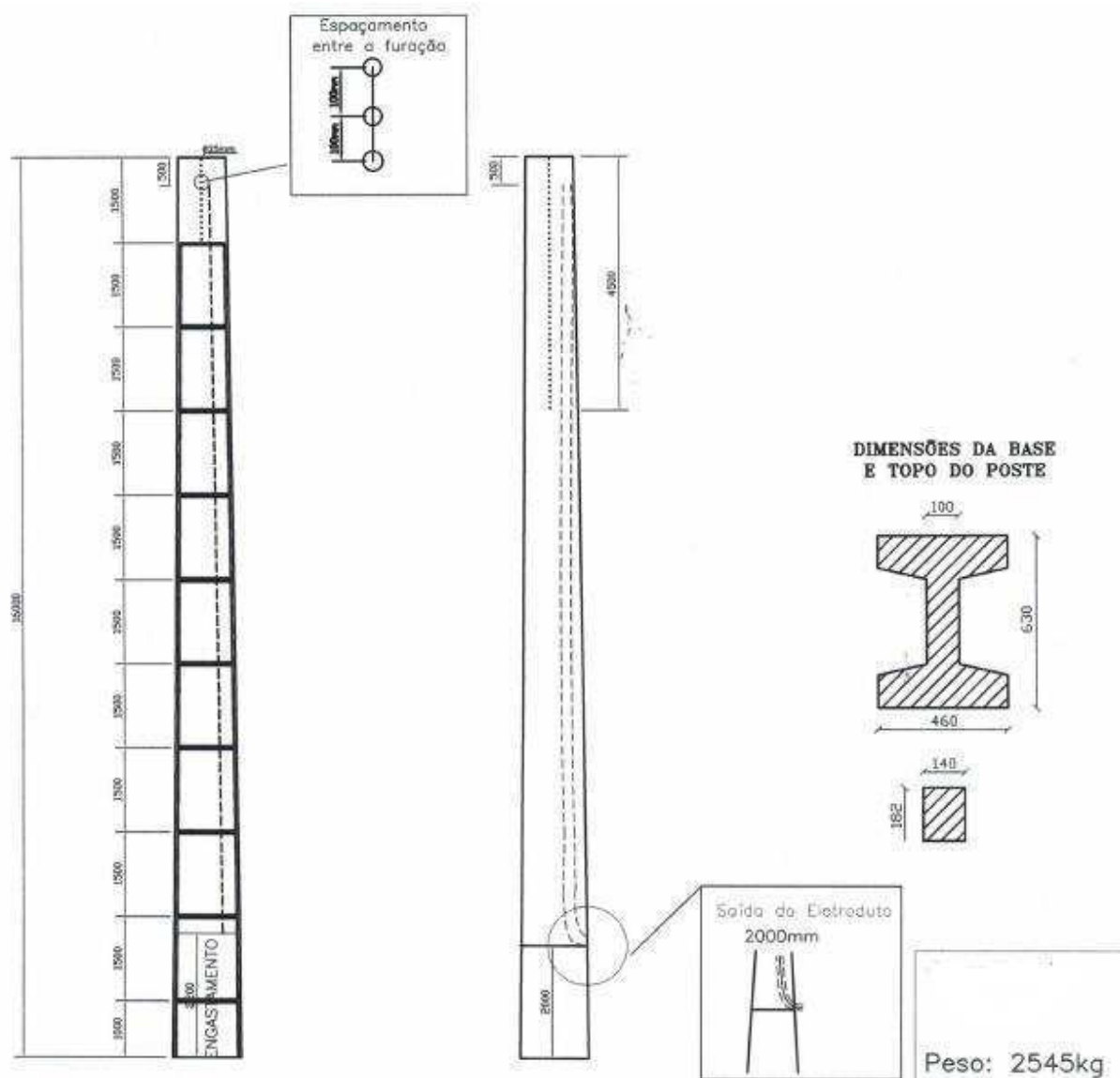


## ANEXO B – TABELA DE FURAÇÃO DOS POSTES

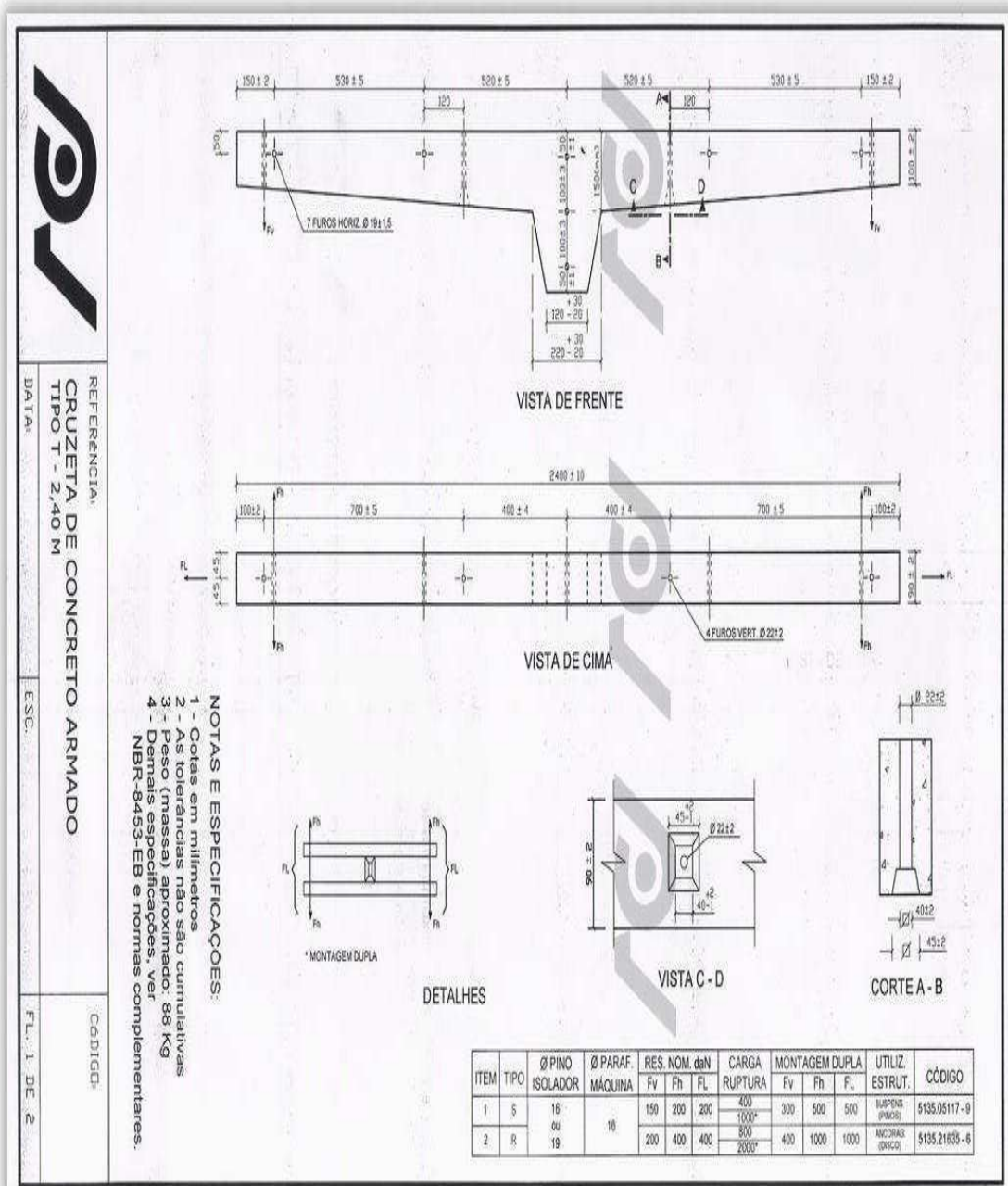
**TABELA DIMENSÃO TOPO DOS POSTES (Furção)**

Postes	TIPO	TOPO		1500 mm		3000 mm		4500 mm		6000 mm	
		Face B	Face A	Face B	Face A	Face B	Face A	Face B	Face A	Face B	Face A
6000/16	B-10,5	320	434	350	476	380	518	410	560	-	-
1000/16	B-1,5	140	182	170	224	200	266	230	308	-	-
5000/16	B-9	290	392	320	434	350	476	380	518	-	-
3000/16	B-6	230	308	260	350	290	392	320	434	-	-
7500/16	B-12	350	476	380	518	410	560	440	602	470	644
9000/16	B-15	410	560	440	602	470	644	500	686	530	728
9500/16	B-15	410	560	440	602	470	644	500	686	530	728
4500/16	B-9	290	392	320	434	350	476	380	518	-	-
3500/16	B-7,5	260	350	290	392	320	434	350	476	-	-
2500/16	B-6	230	308	260	350	290	392	320	434	-	-
2000/16	B-3	170	224	200	266	230	308	260	350	-	-
4000/16	B-7,5	260	350	290	392	320	434	350	476	-	-
5000/17,80	B-9	290	392	320	434	350	476	380	518	410	560
5500/17,80	B-9	290	392	320	434	350	476	380	518	410	560
2500/17,80	B-6	230	308	260	350	290	392	320	434	350	476
1000/20	B-1,5	140	182	170	224	200	266	230	308	260	350
1500/20	B-3	170	224	200	266	230	308	260	350	290	392
7000/16	B-12	350	476	380	518	410	560	440	602	470	644
1000/17,80	B-1,5	140	182	170	224	200	266	230	308	260	350
1000/18	B-1,5	140	182	170	224	200	266	230	308	260	350
1500/17,80	B-3	170	224	200	266	230	308	260	350	290	392

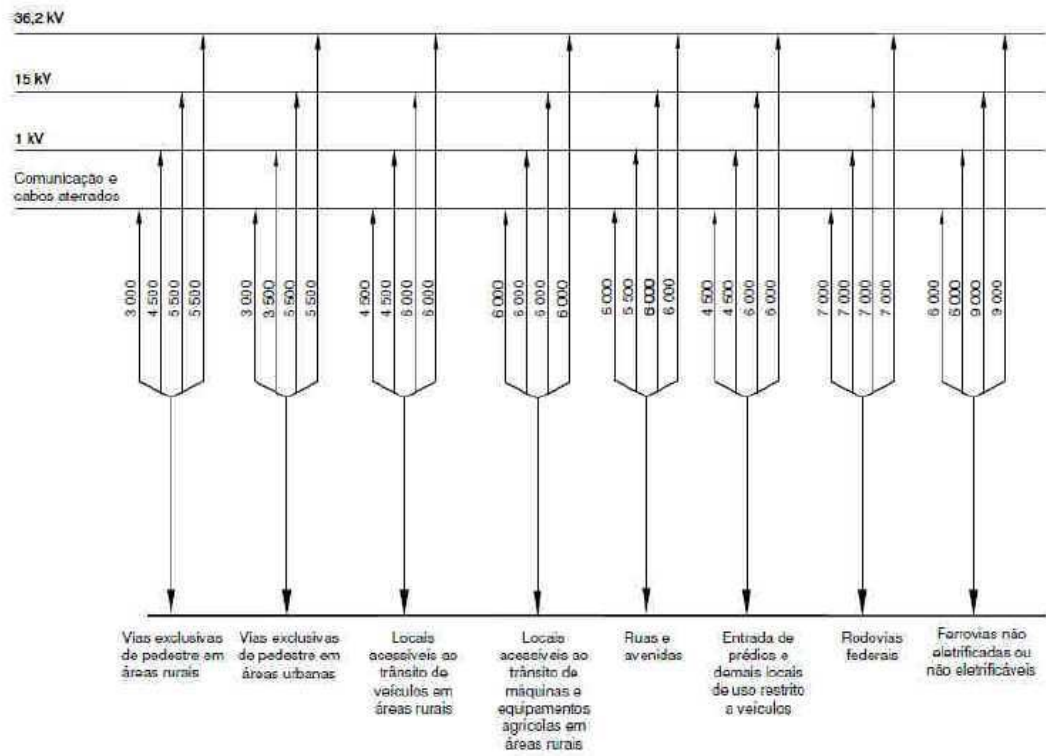
## ANEXO C – PROJETO DE POSTES (POSTE 16/1000)



ANEXO D – PROJETO DAS CRUZETAS



## ANEXO E – AFASTAMENTO DOS CONDUTORES AO SOLO (mm)



## APÊNDICE A

Nesta seção será detalhado o procedimento numérico realizado para obtenção dos resultados na seção estudo de caso, portanto as análises serão conduzidas detalhando os cálculos, obedecendo a ordem explicitada na referida seção.

A primeira etapa consiste em estabelecer a tensão de operação, para tanto conforme discutido no referencial teórico, devido ao comprimento da linha de transmissão é utilizada a equação 2 para o devido cálculo.

$$V = 0,25 \sqrt{14150}$$

$$V = 29,7 \text{ kV}$$

É possível observar que o resultado obtido não se encontra nas classes de tensão normatizadas. Portanto é necessário escolher o nível de tensão superior mais próximo o qual seja previsto em norma para subtransmissão de energia elétrica. A classe de tensão da RMT será 34,5 kV. A outra justificativa é que os transformadores dos aerogeradores do Parque Eólico de Aventura I são de 34,5/0,4 kV, portanto a rede exige essa classe de tensão.

A posteriori é calculado o valor da corrente nominal da linha de transmissão por meio da equação 3, para tanto é necessário conhecer, além do valor da tensão de operação, o fator de potência e potência.

$$I_s = \frac{14150}{\sqrt{3} \times 34,5 \times 0,95}$$

$$I_s = 249,26 \text{ A}$$

Para o valor da corrente calculada é possível verificar no catálogo do fabricante (NEXANS) quais os condutores possuem ampacidade compatível com o valor obtido. Os condutores tipo CAA analisados atendem a este requisito que é necessário, porém não suficiente para escolha do condutor, além de quantificar a corrente é necessário verificar a perda de energia e a queda de tensão provocada pelo condutor. Para calcular a perda de energia da linha foram utilizadas as equação 4 e 5, calculando primeiramente a resistência linear do condutor e por fim as perdas, conforme mostrado abaixo.

$$R = R_{20^\circ\text{C}} \times L$$

$$R = 0,1438 \times 11,3$$

$$R = 1,62 \ \Omega$$

$$P_{\text{perdas}} = 3 \times R \times I_s^2$$

$$P_{\text{perdas}} = 3 \times 1,62 \times (249,26)^2$$

$$P_{\text{perdas}} = 301,95 \text{ kW}$$

Em termos percentuais, temos que

$$P_{\text{perdas}} = \frac{301,95 \times 100}{14150} = 2,13\%$$

O resultado obtido indica que há uma perda de 2,13% da energia transmitida, portando o condutor escolhido em projeto atende ao requisito de perda máxima que deve ser de 5%.

No cálculo da máxima intensidade da corrente de curto-circuito, considerando uma falha de 0,5 segundos, temos que as tabelas a seguir mostram valores específicos de  $k_1$  para alguns materiais utilizados em linhas de média tensão (MADUREIRA, 2009).

Material do condutor	$K_1$
Cobre	4,419
Alumínio - aço	6,902
Ligas de alumínio	6,902

O valor da constante  $k_2$  é calculado tendo como base as temperaturas do condutor antes e após a ocorrência do curto-circuito. Assim, considerando uma temperatura inicial do condutor em 50 °C e as temperaturas finais apresentadas na tabela a seguir, para diferentes tipos de materiais, foram calculados os valores da constante  $k_2$  (MADUREIRA, 2009).

Material do condutor	Temperatura final (°C)	$K_2$
Cobre	170	1,685
Alumínio - aço	160	1,732
Ligas de alumínio	160	1,809

$$I_{\text{max}} = \frac{1}{k_1 \times k_2} \frac{S}{\sqrt{t}}$$

$$I_{\text{max}} = \frac{1}{6,902 \times 1,732} \times \frac{201}{\sqrt{0,5}} = 23,77 \text{ kA}$$

