FEUP
Universidade do Porto
Faculdade de Engenharia

MATEACE S.A.

Fases de Instalação de uma Linha Aérea de Transmissão de Energia

Engenharia Electrotécnica e de Computadores – Sistemas de Energia
Projecto, Seminário ou Trabalho Final de Curso
Luís Gonçalo de Oliveira Silva
N.º: 040503263

Resumo

Este relatório tem como objectivo descrever o estágio realizado na empresa Mateace S.A.. Neste irei descrever as minhas funções e trabalhos na empresa que foram desde a elaboração de propostas de preços, acompanhamento de levantamentos topográficos, execução de projectos de linhas de média tensão, acompanhamento de obras de empreitada continua para a EDP, construção de linhas de distribuição de energia de 15, 30 e 60 kV para a EDP e ainda o acompanhamento na construção de uma linha de transporte para a REN de 220 kV.

Para além destas funções, também foi facultado a oportunidade de participar em palestras apresentadas pela empresa na Faculdade de Engenharia do Porto e no Instituto Superior de Engenharia do Porto, bem como a oportunidade de participar na reunião anual da empresa.

O relatório incide sobre as Fases de Construção de uma Linha Aérea de Transmissão de Energia, com maior destaque para o projecto de uma linha de média tensão de 30 kV (caso prático).

Agradecimentos

Gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos pela ajuda e acompanhamento de diversas entidades e pessoas no decorrer do estágio, sem as quais não teria sido realizado com o sucesso pretendido. Tive um apoio excepcional que me permitiu uma boa integração na empresa, e que permitiu ultrapassar todas as dificuldades. Deixo aqui os meus agradecimentos.

- Ao Professor Doutor António Machado e Moura, pela disponibilidade, prestabilidade demonstrada em todas as situações, também pelas sugestões e correcções dadas, e pela indicação dos contactos da Mateace S.A.;
- À empresa Mateace S.A., por me ter aceite como estagiário e ter facultado todas as condições e disponibilidade para a realização do mesmo;
- Ao Eng.º João Neves, por me ter acompanhado durante o estágio, prestando todo o apoio necessário e disponibilizando-me o seu tempo para qualquer esclarecimento;
- Ao Sr. Paulo Silva, por me ter ajudado nos momentos difíceis, e ter tirado todas as dúvidas necessárias à realização do projecto de uma linha de 30 kV;
- Ao Sr. Artur Vieira chefe do departamento de linhas, por todo o seu apoio e disponibilidade;
- Ao Sr. Ilídio Costa e ao Sr. António Silva, por me terem acompanhado na visita às obras e por todos os esclarecimentos prestados;
- Ao Sr. Jorge Pinto presidente da comissão executiva, por toda a sua disponibilidade;
- Ao Eng.º Rui Silva e Eng.ª Ana Silva, por todos os seus esclarecimentos prestados e ajuda na resolução de alguns problemas;
- Aos restantes colaboradores da Mateace com quem de alguma forma contactei durante o estágio, por me terem tratado como um colega de trabalho, nunca desprezando o facto de ser estagiário;
- À minha família, namorada e amigos, que me apoiaram sempre que necessário;
- A todos que sabem que lhe estou agradecido.

Índice

1. Lista de abreviaturas ou siglas ..... - 7 -
2. Introdução ..... - 8 -
3. Elaboração de propostas de preços ..... - 9 -
4. Estudo do traçado da linha ..... - 10 -
5. Levantamento topográfico ..... - 10 -
6. Desenho do perfil e planta parcelar ..... - 13 -
7. Projecto ..... - 14 -
7.1 Objecto ..... - 14 -
7.2 Impacto Ambiental ..... - 14 -
7.3 Critérios Gerais de Projecto ..... - 15 -
7.4 Identificação da Instalação ..... - 15 -
7.4.1 Características da Linha ..... - 15 -
7.4.2 Localização ..... - 15 -
7.4.3 Directriz da linha ..... - 16 -
7.4.4 Apoios ..... - 17 -
7.5 Cálculo eléctrico ..... - 17 -
7.5.1 Tensão de transporte ..... - 17 -
7.5.2 Secção transversal dos condutores ..... - 18 -
7.5.2.1 Determinação da secção técnica ..... - 18 -
7.5.2.2 Determinação da secção económica ..... - 18 -
7.5.2.3 Conclusões ..... - 19 -
7.5.3 Perda de energia ..... - 20 -
7.5.4 Queda de tensão ..... - 20 -
7.5.5 Efeitos dos campos electromagnéticos ..... - 24 -
7.5.5.1 Cálculo do Campo Eléctrico ..... - 25 -
7.5.5.2 Cálculo do campo magnético ..... - 28 -
7.6 Cadeias de Isoladores ..... - 29 -
7.7 Distâncias de segurança associadas aos cabos ..... - 32 -
7.7.1 Distância entre condutores ..... - 32 -
7.7.2 Distância entre os condutores e os apoios ..... - 32 -
7.7.3 Distância dos condutores ao solo ..... - 33 -
7.7.4 Distância dos condutores aos edifícios ..... - 33 -
7.7.5 Distância dos condutores a obstáculos diversos ..... - 34 -
7.7.6 Distância dos condutores às auto-estradas e às estradas nacionais e municipais ..... - 34 -
7.7.7 Distância dos condutores aos cursos de água não navegáveis ..... - 34 -
7.7.8 Distância entre duas linhas ..... - 35 -
7.8 Cálculo mecânico ..... - 35 -
7.8.1 Condições atmosféricas ..... - 36 -
7.8.2 Tensão máxima de serviço ..... - 36 -
7.8.3 Cálculo do parâmetro e flechas de montagem ..... - 37 -
7.8.3.1 Vão entre o apoio nº1 e apoio nº 2 ..... - 37 -
7.8.3.1.1 Dimensionamento do estado atmosférico ..... - 37 -
7.8.3.1.2 Tensões e flechas de montagem ..... - 39 -
7.8.3.1.3 Altura dos apoios e travessas a considerar ..... - 41 -

7.8.3.2 Vão entre o apoio nº 27 e apoio nº 31 - 44 -
7.8.3.2.1 Dimensionamento do estado atmosférico - 44 -
7.8.3.2.2 Tensões e flechas de montagem - 45 -
7.8.3.2.3 Altura dos apoios e travessas a considerar - 46 -
7.8.3.3 Vão entre o apoio nº 38 e o apoio nº 43 - 48 -
7.8.3.3.1 Dimensionamento do estado atmosférico - 48 -
7.8.3.3.2 Tensões e flechas de montagem - 49 -
7.8.3.3.3 Altura dos apoios e travessas a considerar - 50 -
7.8.4 Cálculo mecânico dos apoios - 51 -
7.8.4.1 Apoio em ângulo nº 13 (Metálico) - 51 -
7.8.4.1.1 Estabilidade do apoio - 51 -
7.8.4.1.2 Dimensionamento do maciço de fundação - 53 -
7.8.4.2 Apoio de alinhamento nº 28 (Betão) - 54 -
7.8.4.2.1 Estabilidade do apoio - 55 -
7.8.4.2.2 Dimensionamento do maciço de fundação - 56 -
7.8.4.3 Apoio de fim de linha nº 50 (Betão) - 62 -
7.8.4.3.1 Estabilidade do apoio - 63 -
7.8.4.3.2 Dimensionamento do maciço de fundação - 64 -
7.9 Estabilidade das cadeias de suspensão - 67 -
7.10 Amortecedores - 70 -
7.11 Balizagem aérea - 71 -
7.12 Conjuntos sinaléticos - 73 -
8. Licenciamento - 73 -
9. Montagem - 74 -
9.1 Piquetagem - 74 -
9.2 Abertura de escavações para maciços dos apoios - 74 -
9.3 Regulação das bases e colocação da armação - 75 -
9.4 Betonagem dos maciços - 76 -
9.5 Assemblagem, colocação e arvoramento dos apoios - 76 -
9.6 Desenrolamento dos cabos - 77 -
9.7 Regulação dos cabos e fixação dos cabos às cadeias de isoladores - 78 -
10. Plano de segurança e saúde (PSS) - 80 -
11. Conclusão - 82 -
12. Bibliografia - 83 -
Anexos - 84 -

Índice de figuras e tabelas

Figuras

Figura 1 – Folha de cálculo usada para quantificar o material necessário para a obra.....- 9 -
Figura 2 – Exemplo de uma ortofoto .....- 10 -
Figura 3 – Exemplo de uma carta militar.....- 10 -
Figura 4 – Estação base do GPS .....- 11 -
Figura 5 – Estação móvel do GPS .....- 11 -
Figura 6 – Estação total.....- 12 -
Figura 7 – Mira .....- 12 -
Figura 8 – Exemplo de inserção de pontos no Autodesk Land.....- 13 -
Figura 9 – Localização da subestação.....- 16 -
Figura 10 – Localização do parque eólico .....- 16 -
Figura 11 – Vão 46 - 47 .....- 25 -
Figura 12 – Vão 23 - 24 .....- 25 -
Figura 13 – Haste de descarga e pormenor de montagem .....- 31 -
Figura 14 – Árvore de decisão do estado atmosférico mais desfavorável.....- 39 -
Figura 15 – Vão disnevelado .....- 40 -
Figura 16 – Vão 1 - 2 .....- 43 -
Figura 17 – Cantão entre o apoio 27 e o apoio 31 .....- 47 -
Figura 18 – Cantão entre o apoio 38 e o apoio 43 .....- 50 -
Figura 19 – Planta parcelar do apoio 13 .....- 51 -
Figura 20 – Fundações (uma das 4 pernas) dos postes tipo F95CD .....- 54 -
Figura 21 – Planta parcelar do apoio 28 .....- 54 -
Figura 22 – Maciço tipo de um apoio de betão.....- 57 -
Figura 23 – Planta parcelar do apoio 50 .....- 62 -
Figura 24 – Maciço a utilizar.....- 65 -
Figura 25 – Cálculo do ângulo máximo.....- 68 -
Figura 26 – Cadeias de isoladores inclinadas sob a acção do vento.....- 69 -
Figura 27 – Amortecedor do tipo Stockbridge, vista frontal .....- 71 -
Figura 28 – Amortecedor do tipo Stockbridge .....- 71 -
Figura 29 – Esfera de balizagem.....- 71 -
Figura 30 – Esquema de montagem da esfera de balizagem .....- 72 -
Figura 31 – Vão balizado entre o apoio 45 e o apoio 46 .....- 72 -
Figura 32 – Conjunto sinalético.....- 73 -
Figura 33 – Estaca de marcação de cova .....- 74 -
Figura 34 – Estaca de centro.....- 74 -
Figura 35 – Abertura de cova.....- 75 -
Figura 36 – Aspecto final de uma cova .....- 75 -
Figura 37 – Regulação da base .....- 75 -
Figura 38 - Colocação da armação.....- 76 -
Figura 39 - Base com armação até ao topo.....- 76 -
Figura 40 – Betonagem do maciço .....- 76 -
Figura 41 – Aspecto final de um maciço .....- 76 -
Figura 42 – Assemblagem de um apoio.....- 77 -
Figura 43 – Colocação de um apoio .....- 77 -

Figura 44 – Desenrolador....- 78 -
Figura 45 – Guincho ....- 78 -
Figura 46 – Bobine de cabo e desenrolador....- 78 -
Figura 47 – Apoio com roldanas....- 78 -
Figura 48 – Método de ajuste óptico de flechas. a) Linha de visada paralela à corda da curva. b) Linha de visada qualquer....- 79 -
Figura 49 – Pinça de amarração por compressão....- 80 -
Figura 50 – Execução da compressão....- 80 -

Tabelas

Tabela 1 – Coordenadas da directriz....- 16 -
Tabela 2 – Densidade de correntes económicas ....- 19 -
Tabela 3 – Armação CD para o apoio F20 e F30 ....- 21 -
Tabela 4 - Armação CD para o apoio F65 ....- 22 -
Tabela 5 – Armação CD para o apoio F95 ....- 22 -
Tabela 6 – Armação EVDAL ....- 23 -
Tabela 7 – Limites de Exposição a Campos Eléctricos e Magnéticos a 50 Hz ....- 24 -
Tabela 8 – Características eléctricas e mecânicas dos isoladores....- 30 -
Tabela 9 – Estado teste, resumo das equações de estado....- 39 -
Tabela 10 – Tensões de montagem para diversas temperaturas ....- 41 -
Tabela 11 – Estado teste, resumo das equações de estado....- 45 -
Tabela 12 – Tensões de montagem para diversas temperaturas ....- 46 -
Tabela 13 – Estado teste, resumo das equações de estado....- 49 -
Tabela 14 – Tensões de montagem para diversas temperaturas ....- 49 -
Tabela 15 – Expressões para verificação da estabilidade do apoio ....- 51 -
Tabela 16 – Características do apoio tipo F95CD/27 ....- 53 -
Tabela 17 – Maciço do apoio F95CD/27....- 53 -
Tabela 18 – Dimensões da fundação ....- 54 -
Tabela 19 – Expressões para verificação da estabilidade do apoio ....- 55 -
Tabela 20 – Características do apoio tipo MM04-2250/740 - 24 ....- 56 -
Tabela 21 – Maciço do apoio MM04-2250-740....- 57 -
Tabela 22 – Dimensões do apoio MM04-2250-740 ....- 57 -
Tabela 23 – Expressões para verificação da estabilidade do apoio ....- 63 -
Tabela 24 – Características do apoio tipo MM08-3500/1260 - 22 ....- 64 -
Tabela 25 – Maciço do apoio MM08-3500-1260....- 65 -
Tabela 26 – Dimensões do apoio MM08-3500-1260 ....- 65 -

1. Lista de abreviaturas ou siglas

FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
REN	Rede Eléctrica Nacional
EDP	Electricidade de Portugal (EDP Distribuição de Energia S.A.)
PDM	Plano Director Municipal
RAN	Reserva Agrícola Nacional
GPS	Global Positioning System
RSLEAT	Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão
LN	Linha
SE	Subestação
PE	Parque Eólico
BT	Baixa Tensão
MT	Média Tensão
AT	Alta Tensão
MAT	Muito Alta Tensão
DGE	Direcção Geral de Energia

2. Introdução

O presente relatório realizado no ano lectivo de 2005/2006 insere-se na disciplina de Projecto, Seminário ou Trabalho Final de Curso, do 5º ano da Licenciatura em Engenharia Electrotécnica e de Computadores – Sistemas de Energia da Faculdade Engenharia do Porto. Este descreve o estágio realizado na empresa Mateace S.A., durante o período de 20 de Fevereiro e 16 de Junho.

No decorrer do estágio fui inserido inicialmente no departamento de linhas e posteriormente no departamento de projectos, sendo o meu orientador o Engenheiro João Neves. Na faculdade, a orientação esteve à responsabilidade do Professor Doutor António Machado e Moura.

O estágio teve como objectivo a integração do estagiário no mundo do trabalho, o que obriga o estagiário a assumir responsabilidades, a aplicar os conhecimentos teóricos em situações práticas, desenvolver capacidades de decisão, a superar desafios propostos e a aprender, planear e coordenar tarefas.

Foi-me proporcionada a possibilidade de tratar o projecto da Linha PE de Tendais – SE de Castelo de Paiva, para que, de alguma forma, tomasse contacto com a realidade do que é um verdadeiro projecto de Linhas de Média Tensão, o que permitiu o confronto entre a realidade sentida e a teoria desenvolvida no mundo académico.

A linha em questão acaba por ter características especiais, não só pelo seu comprimento (+/- 14,5 km), mas pelo facto de ser instalada numa zona montanhosa com altitudes entre os 90 e 1000 metros, estando sujeita a condições particularmente adversas, tais como ventos fortes, elevada humidade relativa do ar e formação de gelo.

Todo o trabalho teve a participação da pessoa responsável pela elaboração de projectos na Mateace, bem como do Engenheiro que orientou o estágio na empresa. Deste modo, foi possível a discussão das questões levantadas e troca de ideias, de forma a chegar a uma resolução do problema levantado.

A visita a obras possibilitou a recolha de dados essenciais ao projecto, bem como a apreciação da execução das diversas tarefas e o correspondente conhecimento das soluções usadas.

O objectivo principal do estágio foi a aprendizagem da elaboração de projectos de linhas aéreas de média tensão.

O relatório pode ser dividido em duas partes: a primeira incide sobre a elaboração de propostas de preços; e a segunda sobre as Fases de Construção de uma Linha Aérea de Transmissão de Energia.

Todo o trabalho de projecto foi realizado manualmente, recorrendo apenas ao software de cálculo – Microsoft Office Excel. Posteriormente, todos os dados foram comparados com a utilização do programa de cálculo automático de linhas aéreas de transmissão de energia, Clinhas de onde se retiraram algumas conclusões essenciais para a elaboração do projecto.

3. Elaboração de propostas de preços

Em muitos casos a Mateace S.A. concorre para a adjudicação de uma linha que um determinado cliente pretende executar, podendo ser a REN, a EDP ou mesmo um cliente privado como o promotor de um parque eólico. Deste modo é necessário fazer uma proposta de preço.

Em muitos casos, o cliente solicita à Mateace essa proposta enviando a informação necessária para a elaboração de propostas de preços, contudo existe casos em que é lançado um concurso num jornal e a Mateace solicita ao cliente a informação necessária para a elaboração de propostas de preços.

A informação que é enviada pelo cliente consta de: caderno de encargos, memória descritiva, planta parcelar e perfil do terreno com a implantação dos apoios, listagem do tipo de apoios, tipos de cadeias ou planos de cadeias a utilizar entre outras informações.

Numa primeira fase, a Mateace deve comunicar ao cliente se pretende apresentar uma proposta de preço, anexando a essa comunicação uma série de documentos que são solicitados pelo cliente.

A elaboração de uma proposta de preços pode ser dividida em três fases. Na primeira procede-se à leitura e análise do caderno de encargos e memória descritiva de forma a conhecer quais os elementos que constituem a linha e onde devem ser utilizados. Numa segunda fase procede-se à quantificação do material numa folha de Excel idêntica à representada na figura 1. Numa terceira fase é feito o pedido de orçamentação do material aos respectivos fornecedores e colocação desses preços na folha de cálculo. É ainda acrescentado os custos de mão-de-obra associados à montagem da linha.

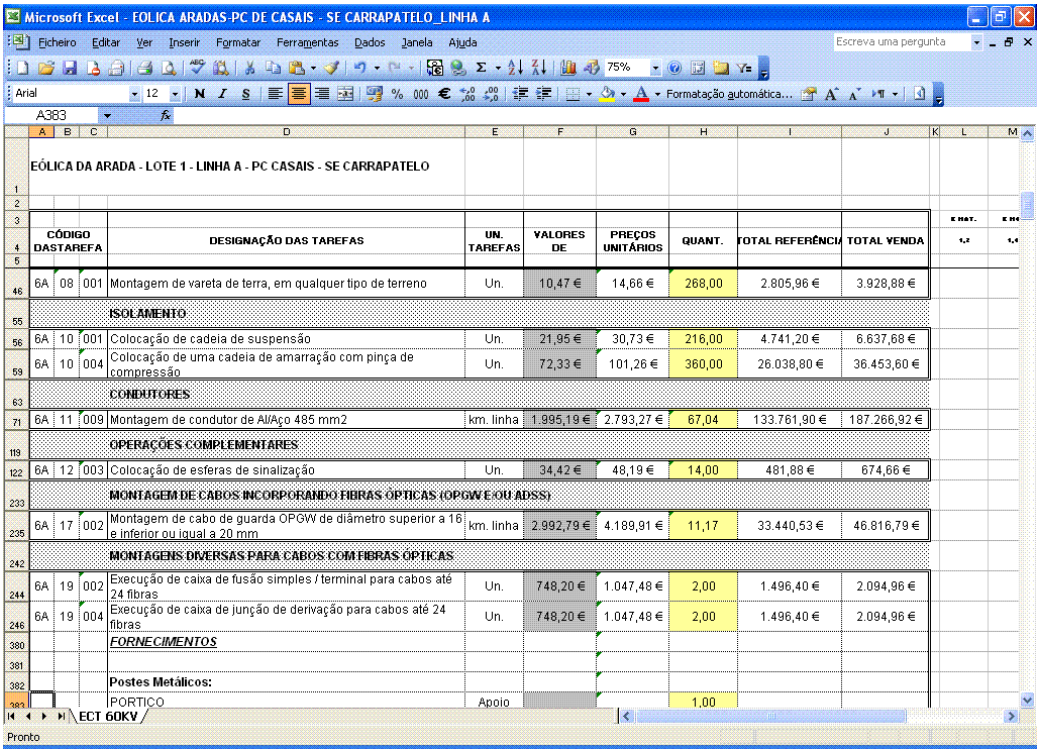


Figura 1 – Folha de cálculo usada para quantificar o material necessário para a obra

4. Estudo do traçado da linha

A escolha do traçado é feita pelo Engenheiro em conjunto com a equipa de topografia, procedendo ao posterior levantamento topográfico. Nesta fase é feito um pré estudo do traçado pelo Engenheiro no seu gabinete, recorrendo a cartas militares, ortofotos, PDM dos concelhos atravessados, etc.

No estabelecimento da linha deve-se ter em atenção o disposto no artigo 5º e 6º do RSLEAT e também que é proibido a passagem de linhas sobre escolas, recintos desportivos, dispositivos elevados de combustíveis, estabelecimentos militares, antenas e refinarias.

Figura 2 – Exemplo de uma ortofoto

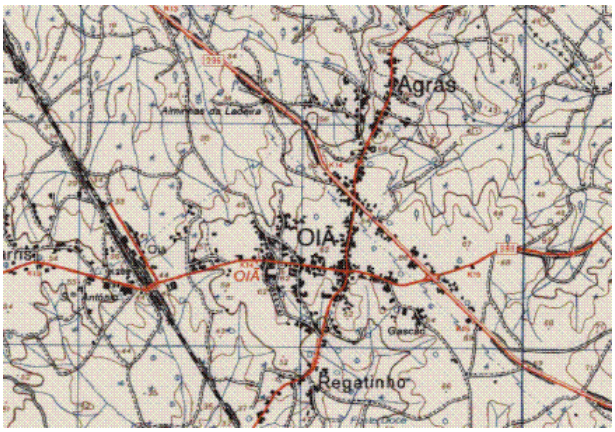


Figura 3 – Exemplo de uma carta militar

Posteriormente é feito um percorrido, em conjunto com a equipa de topografia para validar ou eventualmente alterar o traçado escolhido em gabinete. Neste trabalho de campo são recolhidas com recurso a GPS, as coordenadas geográficas dos vértices da linha (postes fim de linha e ângulos).

5. Levantamento topográfico

O levantamento topográfico permite definir o perfil do terreno e a planta parcelar.

Para o perfil do terreno deve-se escolher vários pontos de forma, a que pela consideração de que o declive entre eles é constante, não advenham erros significativos.

Entre os pontos que se escolhem para o perfil estão os pontos de implantação de apoios, os pontos que caracterizam a parte superior de qualquer muro ou construção, os pontos que representam a passagem de linhas de telecomunicações, linhas de BT, MT, AT, MAT, casas, árvores e outros obstáculos que se julguem importantes para posteriormente se garantir que a linha fica à distância de segurança.

Para a planta parcelar serão escolhidos os pontos que caracterizam a vizinhança de maior interesse como vias de comunicação, cursos de água, linhas aéreas de energia e telecomunicações, edifícios ou outras construções e limitações de terrenos bem como o tipo de cultura e o nome dos proprietários. Na planta parcelar devem constar os ângulos das linhas dos apoios de derivação e dos apoios de ângulo.

Aquando a realização de um levantamento topográfico podem ser utilizados diferentes métodos, tais como o GPS e a estação total em conjunto com uma mira.

No decorrer de um levantamento topográfico utiliza-se sempre que possível o GPS, para se fazer o levantamento dos pontos que caracterizam quer o perfil do terreno quer a planta parcelar.

O primeiro objectivo do levantamento por GPS é definir a estação base a partir da qual todos os pontos que sejam levantados ficam referenciados a esta.

Figura 4 – Estação base do GPS

Após se ter definido a estação base é possível fazer o levantamento dos pontos que se pretendem para definir quer o perfil do terreno, quer vias de comunicação, limitações de terreno, etc. Este levantamento é feito com uma estação móvel. Esta, ao ser colocada num determinado ponto lê as coordenadas do mesmo e de seguida o utilizador atribuí um nome para esse ponto.

Figura 5 – Estação móvel do GPS

Para se determinar a altura de um determinado obstáculo (árvore, linha BT, etc), usa-se uma estação total.

A estação total não tem só como função a determinação de alturas. Quando não é possível a utilização do GPS, o levantamento topográfico é feito utilizando a estação total e uma mira.

Figura 6 – Estação total

Figura 7 – Mira

O levantamento recorrendo a uma estação total e uma mira é feito pelo topógrafo e pelo porta miras. Inicialmente, define-se o local onde ficará estacionada a estação total que é marcado no chão por uma estaca ou por uma marca de tinta. Depois de estar definida a estação, o porta miras coloca a mira nos pontos desejados sendo feito o registo da cota e da distância desse ponto em relação à estação.

Os pontos não deverão distar mais do que 150 metros da estação porque os erros introduzidos nas leituras da mira começam a ser consideráveis, sendo necessário a mudança de estação.

Quando há mudança de estação, procede-se ao levantamento do ponto onde a estação será instalada a seguir. Quando instalados na nova estação faz-se a "contra-visada" da estação anterior, para poder determinar a nova cota da estação, da forma mais fiel possível.

No levantamento topográfico procede também ao registo dos proprietários dos terrenos por onde a linha passará.

O levantamento topográfico termina com a piquetagem do terreno, que consiste em marcar no terreno através de estacas ou marcas o local onde os apoios da linha serão instalados.

6. Desenho do perfil e planta parcelar

Depois de terminado o levantamento topográfico dos pontos que foram obtidos, os mesmos são introduzidos num programa de desenho assistido por computador, que no caso da Mateace é o Autodesk Land Desktop.

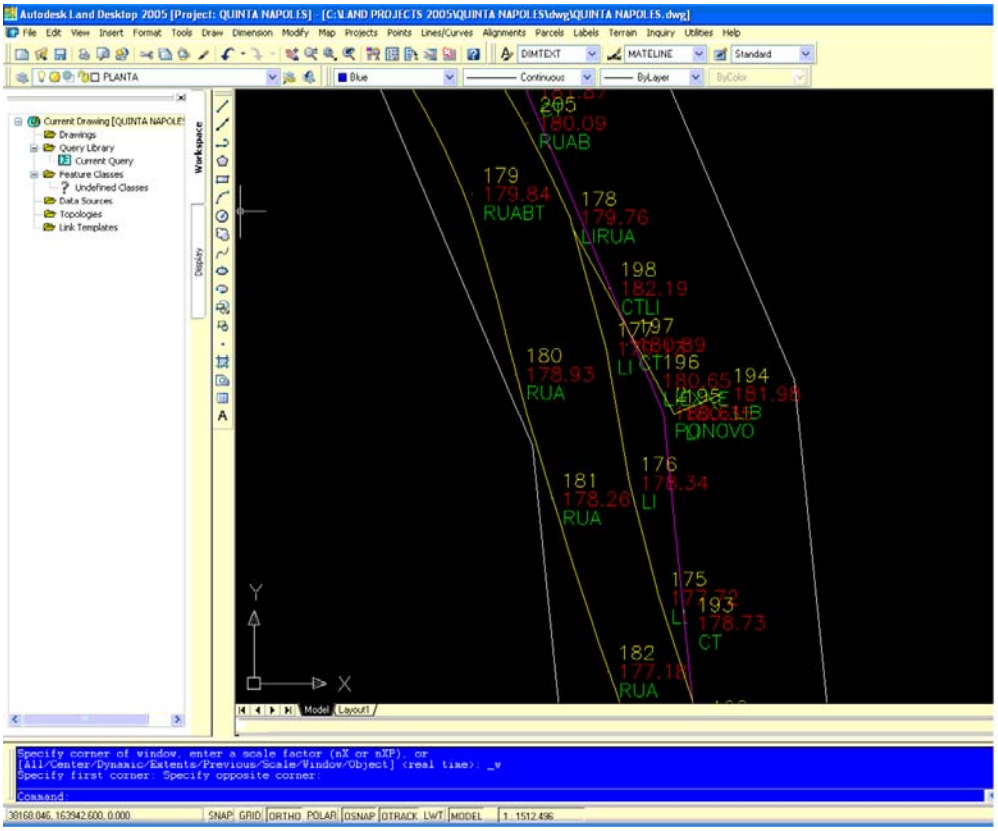


Figura 8 – Exemplo de inserção de pontos no Autodesk Land

Para fazer a planta parcelar começa-se por assinalar as estações utilizadas. A partir delas são marcados todos os pontos a elas referenciados através da distância. Finalmente unem-se todos os pontos de forma a retratar a planta do terreno.

Na planta parcelar coloca-se o nome dos proprietários dos terrenos por onde alinha passará, bem como a divisão de freguesias, conselhos e distritos.

Para fazer o perfil do terreno onde a linha irá passar, será atribuído a cada ponto uma cota (anteriormente determinada). A união entre pontos, entretanto feita, traduzirá o perfil do terreno.

Depois disto, o desenho terá que ser partido por forma a encaixar directamente no perfil do terreno escolhido, formando assim a parte inferior do desenho do projecto.

O desenho do perfil é feito com escalas diferentes para as alturas e para as distâncias horizontais. Habitualmente a escala das alturas é de 1/500 e a das distâncias horizontais é de 1/2500, um valor cinco vezes menor. Obtêm-se assim um perfil sobrelevado do terreno atravessado pela linha.

7. Projecto

Como já foi mencionado uma das componentes abordadas no estágio foi o projecto de linhas aéreas de transmissão de energia. Este ponto do relatório explica todos os passos, decisões e conclusões de um projecto de uma linha de 30 kV.

No anexo II encontra-se o perfil, planta parcelar e interferências da linha. Dado o comprimento da linha (+/- 14,5 km) e consequente alargamento da representação em papel, será somente apresentada a extensão da linha entre o apoio nº1 e o apoio nº 9, apoio nº 25 e o apoio nº 33 e entre o apoio nº 48 e o apoio nº 50.

7.1 Objecto

A empresa, Enerbigorne – Projectos de Energia, S.A. pretende construir na freguesia de Tendais, concelho de Cinfães, um aproveitamento eólico denominado Parque Eólico de Tendais.

A construção deste parque, é mais um contributo para que Portugal possa, dentro do prazo estabelecido, atingir as cotas mínimas de consumo de energias renováveis, de acordo com os compromissos assumidos ao abrigo do Protocolo de Quioto.

Para tal, torna-se necessária a implementação de uma linha capaz de transportar em condições de segurança e eficiência óptimas, a energia produzida no empreendimento até ao ponto de entrega ideal, mais próximo, neste caso a subestação de Castelo de Paiva da EDP – Distribuição.

7.2 Impacto Ambiental

Apesar de uma vasta área envolvente ao parque eólico ter sido previamente alvo de estudos de condicionalismos ambientais e a legislação em vigor não impor um estudo exaustivo particular para a linha a este nível de tensão, no desenvolvimento do projecto executivo, ter-se-á especial atenção a eventuais condicionantes de diversos tipos, nomeadamente:

- Servidões rodoviárias (existentes e previstas);
- Servidões aeronáuticas;
- Imóveis de interesse público;
- Áreas verdes de equipamento desportivo;
- Áreas de protecção a recursos naturais;
- Reserva agrícola nacional;
- Reserva ecológica nacional;
- Área Reservada a Cemitério;
- Áreas sujeitas a Regime Florestal;
- Recursos Hídricos;
- Áreas Urbanas;
- Património Arqueológico;
- Aterros Sanitários;
- Pedreiras;
- Áreas de Protecção Radioeléctricas;

- Servidões de aquedutos, gasodutos e oleodutos, etc.

Para este efeito, será consultada a Câmara Municipal da Área de Estudo, bem como as entidades públicas reguladoras nas diversas áreas. Serão também consultadas entidades privadas de interesse social ambientalista, ecológico e desportivo, bem como empresas concessionárias de infra-estruturas com servidões diversas (ferroviárias, rodoviárias, aeronáuticas, telecomunicações, etc.).

7.3 Critérios Gerais de Projecto

Nos aspectos técnicos regulamentares e/ou normativos, observam-se neste projecto, dois em particular:

- RSLEAT – Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (DR 1/92)
- Especificações da EDP – Electricidade de Portugal S.A., para linhas eléctricas de média tensão.

Além destes, ter-se-ão em conta também, as técnicas e regras de arte em uso, assim como, quaisquer outros aspectos que, de alguma forma possam minimizar os impactes ambientais ou outros e que contribuam de uma forma positiva para uma optimização da solução final, quer em termos de exequibilidade, quer em termos de custos.

7.4 Identificação da Instalação

7.4.1 Características da Linha

Designação – LN PE de Tendais – SE de Castelo de Paiva

Tensão nominal – 30 kV

Nº de ternos – 2

Comprimento aproximado – 14,5 km

7.4.2 Localização

A linha terá o seu início no parque eólico de Tendais, na freguesia de Tendais e final num dos painéis de 30 kV da Subestação de Castelo de Paiva, da EDP – Distribuição, na freguesia de Fornos, concelho de Castelo de Paiva, passando também pelas freguesias de Nespereira, Santiago de Piães, Moimenta, Tarouquela e Souselo, todas do concelho de Cinfães.

A localização e desenvolvimento previsto da linha, poderá ser observado na planta de localização no anexo I.

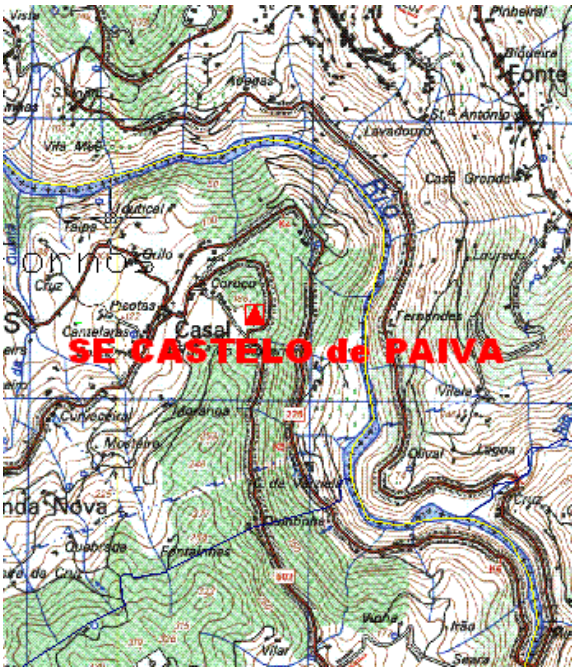


Figura 9 – Localização da subestação

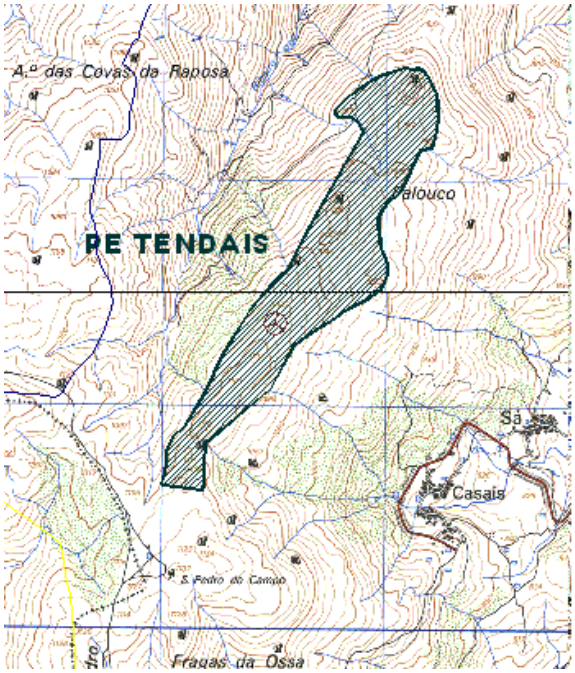


Figura 10 – Localização do parque eólico

7.4.3 Directriz da linha

A linha será previsivelmente desenvolvida, nas freguesias referidas em 7.4.2 e a sua directriz será definida pelos vértices com as coordenadas aproximadas, indicadas na tabela a seguir:

Nº	MERIDIANA	PERPENDICULAR	DESCRIÇÃO
V1	204376,012	449786,006	PE-TENDAIS
V2	203220,116	449292,525	VÉRTICE
V3	202931,011	449233,677	VÉRTICE
V4	194450,220	455554,626	VÉRTICE
V5	193080,008	455272,641	VÉRTICE
V6	190853,242	453971,171	SE-C. de PAIVA

NOTA: Coordenadas Militares, com uma translação de +200km na meridiana e de +300km na perpendicular, relativamente ao referencial de origem – *Datum* Lisboa, sistema de projecção de Hayford.

Tabela 1 – Coordenadas da directriz

7.4.4 Apoios

Existem no mercado, para linhas com estas características, várias soluções de apoios, quer em perfilados de aço, quer em betão. As vantagens dos apoios de betão comparativamente com os apoios e aço, são algumas; ocupam um menor espaço de implantação, terão porventura um impacte visual menor, têm um custo de fabrico e montagem inferior. No entanto, dadas as suas dimensões, dificuldades de montagem e de transporte, os apoios de betão só deverão ser utilizados em condições de terreno muito particulares, seja em termos de acesso, seja em termos de espaço de manobra. Caso contrário, poder-se-ia chegar a uma boa solução de projecto mas que na fase de construção se traduziria em enormes dificuldades. Além do referido, com a utilização de apoios em aço, dado as suas condições de utilização permitirem vãos maiores, consegue-se, aproveitando a topografia do terreno, fazer uma distribuição de apoios mais eficaz.

7.5 Cálculo eléctrico

Os objectivos do cálculo eléctrico de uma linha são a fixação da tensão de transporte, isto é, a tensão nominal da linha e a determinação da secção transversal dos condutores que a constituem.

7.5.1 Tensão de transporte

Tal como acontece em todos os problemas de engenharia, o aspecto económico tem de ser ponderado. Deste modo, e no caso da tensão de transporte existe uma tensão de transporte mais económica que torna mínimos os encargos totais da linha.

Dada a complexidade dos cálculos que são envolvidos pelos estudos económicos envolvidos, tem-se procurado estabelecer expressões matemáticas baseadas na experiência obtida ao longo dos anos que permitam calcular rapidamente a tensão de transporte mais económica. Uma dessas fórmulas é a de Alfred Still:

$$U_c = 5{,}5 \times \sqrt{\frac{L}{1{,}6} + \frac{3 \times P_n}{100}}$$

Em que,

- U é a tensão composta mais económica (kV);
- P é a potência total de transporte (kW);
- L é o comprimento da linha (km).

A fórmula de Still apresenta um inconveniente dado que, para linhas de transporte com comprimentos inferiores a 30 km os resultados não são os mais precisos.

Deste modo e com base na fórmula de Still, nas características das linhas aéreas de distribuição inferiores a 30 km a formula a usar é a seguinte:

$$U_{Ec} = 0{,}25 \times \sqrt{P} = 0{,}25 \times \sqrt{10000} = 25\,kV$$

Em que,

- P é a potência total de transporte (kW).

Dado que a linha a instalar irá ligar a uma subestação cuja tensão de recepção já se encontra pré-definida, e limitados pelas tensões normalizadas pela EDP, a tensão da linha será de 30 kV.

No caso de o valor calculado ser muito superior ao valor existente, poder-se-ia adoptar uma das seguintes soluções:

- Aumentar a tensão de transporte e tensão de recepção da subestação;
- Aumentar a tensão de transporte e desviar a linha para uma subestação com essa recepção;

7.5.2 Secção transversal dos condutores

7.5.2.1 Determinação da secção técnica

Para se determinar a secção técnica é necessário conhecer a intensidade a transmitir em regime normal. Com este valor, e recorrendo às tabelas de cabos que os fabricantes colocam á disposição é possível escolher um cabo que tenha a capacidade nominal que pretendemos.

$$I = \frac{P}{\sqrt{3} \times U \times \cos\varphi} = \frac{10000}{2 \times \sqrt{3} \times 30 \times 0{,}9} = 106{,}92\,A$$

Em que,

- P é a potência total de transporte (kW);
- U é a tensão composta mais económica (kV);
- P é a potência total de transporte (kW);
- cosφ é o factor de potência da linha.

7.5.2.2 Determinação da secção económica

A secção calculada anteriormente não corresponde necessariamente à secção que conduz à melhor solução, no plano económico.

Com base em expressões empíricas e através da lei de Kelvin o cálculo da secção económica para as linhas de distribuição calcula-se da seguinte forma:

$$Secção\ económica = \frac{I}{\delta_{Ec}}$$

Em que,

- I é a intensidade em regime normal (A);
- δ_{Ec} é a densidade de corrente económica (A\mm^2)

O valor da densidade de corrente económica calcula-se com base nas taxas de juro, resistividade dos condutores, custo unitário da energia eléctrica e encargos económicos. Para os condutores normalizados apresenta os seguintes valores:

Tipo de Linha Aérea	U≤30kV	U=60kV
Condutores nus de cobre	1,9	1,7
Condutores nus de alumínio - aço	0,9	0,8

Tabela 2 – Densidade de correntes económicas

Dado que o nível de poluição é baixo e respeitando as normas da EDP o cabo a usar será de alumínio-aço, logo a densidade de corrente económica será de 0,9 A/mm^2 para uma linha de 30 kV.

Conhecendo já a intensidade em regime normal é possível calcular a secção económica:

$$Secção\ económica = \frac{I}{\delta_{Ec}} = \frac{106{,}92}{0{,}9} = 118{,}8\,mm^2$$

7.5.2.3 Conclusões

Com base nas secções normalizadas pela EDP o cabo mais próximo da secção técnica seria o alumínio - aço de 50 mm^2, enquanto para a secção económica o cabo mais próximo é Partridge 160. O cabo de alumínio - aço não será escolhido visto que este cabo não se usa em zonas onde existe a possibilidade de formação de gelo. A outra possibilidade seria escolher o cabo alumínio - aço de 90 mm^2 e desta forma teríamos uma solução que estaria próxima da secção técnica e da secção económica. Contudo, esta solução não será adoptada, visto que em linhas que transportam energia de parques eólicos o cabo fica sempre sobredimensionado, dado que existe sempre a possibilidade de haver aumento de potência do parque devido à instalação de novos aerogeradores. Sendo assim, o cabo normalizado a utilizar será Partridge 160 (136-AL1/22-ST1A) que possui as seguintes características:

- Secção total — 157,90 mm^2
- Secção do alumínio — 135,9 mm^2
- Secção do aço — 22,0 mm^2
- Diâmetro — ·16,32 mm
- Composição — 26x2,58+7x2,00 mm ∅
- Resistência por km a 20 ºc — 0,2124 Ω
- Peso por metro — 0,5473 Kg
- Carga de rotura — 4775 daN
- Módulo de elasticidade final — 7300 daN/mm^2
- Coeficiente de dilatação linear — 18,9 x 10^{-6} /ºC

7.5.3 Perda de energia

A perda de energia, por resistência óhmica numa linha é obtida a partir da expressão:

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

Em que,
- R é a resistência óhmica por fase (Ω);
- I é a intensidade em regime nominal (A).

A resistência óhmica, por fase, será:

$$R = r_{20^oC} \times L$$

Em que:
- r_{20^oC} é a resistência do cabo a 20ºC (Ω/km);
- L é o comprimento total da linha (km).

$$R = 0{,}2124 \times 14{,}221 \times 2 = 6{,}041\Omega$$

Logo,

$$P_{perdas} = 3 \times 6{,}041 \times 106{,}92^2 = 207{,}18\,kW$$

Em termos percentuais o valor de perdas é:

$$\frac{207{,}18 \times 100}{10000} = 2{,}07\% \text{ da potência total transportável}$$

7.5.4 Queda de tensão

A queda de tensão entre a emissão e recepção de uma linha eléctrica é obtida tendo por base o diagrama de Fresnel:

$$V_1 - V_0 = \sqrt{3} \times I \times \left(R \times \cos\varphi + X \times sen\varphi\right)$$

Em que,
- L é o comprimento da linha (km);
- I é a intensidade nominal da linha (A);
- R e X são a resistência e a reactância da linha (Ω);
- cosφ é o factor de potência da linha;

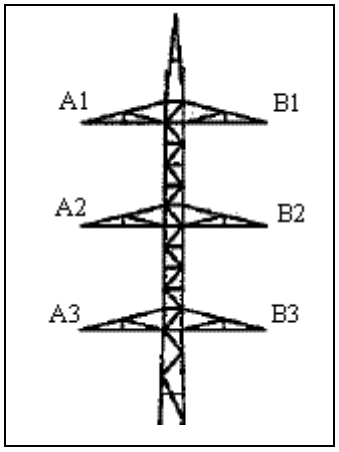
Como a linha é dupla o coeficiente de auto-indução médio, por fase e por quilómetro, é dada por:

$$L = 0{,}025 + 0{,}4605 \text{ x } \log_{10} \sqrt[12]{\frac{K}{r^6 \text{ x } (A1B1)^2 \text{ x } (A2B2)^2 \text{ x } (A3B3)^2}} \quad \text{mH/km}$$

Em que,

k = (A1A2 x A1B2 x A1A3 x A1B3) x (A2A3 x A2B3 x A2A1 x A2B1) x
x (A3 A1 x A3B1 x A3A2 x A3B2)

Nesta linha aérea serão montados postes metálicos do tipo F20 e F30 com armação CD para os quais temos:



A1B1 = 4 m

A2B2 = 4 m

A3B3 = 4 m

A1A2 = A2A3 = B1B2 = B2B3 = 2,25 m

B1B3 = A1A3 = 4,5 m

A1B2 = A2B3 = A3B2 = A2B1 = 4,59 m

A1B3 = A3B1 =6,02 m

Tabela 3 – Armação CD para o apoio F20 e F30

Onde:

K1 = 7274245,93

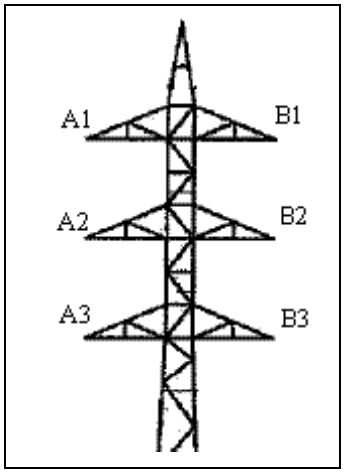
Como,

r = 16,32 / 2 = 8,16 mm = 0,00816 m (raio do condutor)

Pelo que,

L1= 0,63053 x 10^{-3} H/km

Serão também montados postes metálicos do tipo F65 com armação CD, para os quais temos:



A1B1 = 4,2 m
A2B2 = 4,2 m
A3B3 = 4,2 m
A1A2 = A2A3 = B1B2 = B2B3 = 2,25 m
B1B3 = A1A3 = 4,5 m
A1B2 = A2B3 = A3B2 = A2B1 = 4,76 m
A1B3 = A3B1 = 6,16 m

Tabela 4 - Armação CD para o apoio F65

Donde:

K1 = 8933867,81

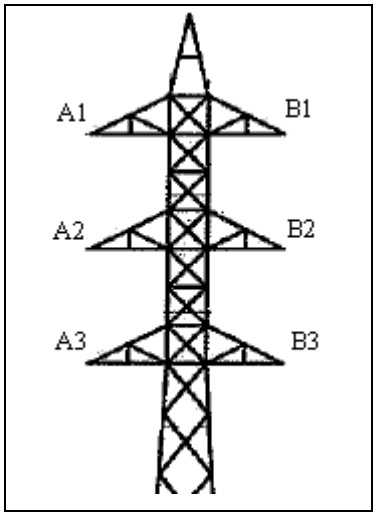
Como,

r = 16,32 / 2 = 8,16 mm = 0,00816 m (raio do condutor)

Pelo que,

L1=0,62908 x 10^{-3} H/km

Serão também montados postes metálicos do tipo F95 com armação CD, para os quais temos:



A1B1 = 4,5 m
A2B2 = 4,5 m
A3B3 = 4,5 m
A1A2 = A2A3 = B1B2 = B2B3 = 2,70 m
B1B3 = A1A3 = 5,4 m
A1B2 = A2B3 = A3B2 = A2B1 = 5,25 m
A1B3 = A3B1 = 7,03 m

Tabela 5 – Armação CD para o apoio F95

Donde:

K1 = 49798452,98

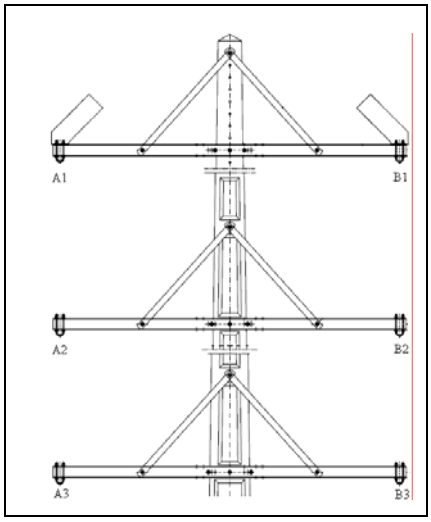
Como,

r = 16,32 / 2 = 8,16 mm = 0,00816 m (raio do condutor)

Pelo que,

L1= 0,65081x 10^{-3} H/km

Serão também montados postes de betão do tipo AM04 com armação EVDAL, para os quais temos:



A1B1 = 3,5 m
A2B2 = 3,5 m
A3B3 = 3,5 m
A1A2 = A2A3 = B1B2 = B2B3 = 2,5 m
B1B3 = A1A3 = 5 m
A1B2 = A2B3 = A3B2 = A2B1 = 4,3 m
A1B3 = A3B1 =6,10 m

Tabela 6 – Armação EVDAL

Donde:

K1 = 10130991,65

Como,

r = 16,32 / 2 = 8,16 mm = 0,00816 m (raio do condutor)

Pelo que,

L1= 0,64940 x 10^{-3} H/km

Nota: Embora a armação dos apoios fim de linha seja EVDAN (que é metade da armação EVDAL) e que os apoios ficarão a uma certa distância, para a realização de cálculos

considera-se que os dois postes se encontram juntos o que formará em termos de armações uma armação do tipo EVDAL.

Considerando que os apoios F20 e F30 se encontram em cerca de 78,9% da linha (11,22 Km) e os F65 em 9,98% (1,4197 Km) e F95 em 7,79% (1,108 Km) e os AM04 em 3,33% (0,4732 Km) a reactância total da linha, por fase, será:

X = 2π x 50 x (0,63053 x 11,22 + 0,62908 x 1,4197 + 0,65081 x 1,108 + 0,64940 x 0,4732) x 0,001
= 2,825 Ω

Pelo que a queda de tensão será de:

$$V_1 - V_0 = \sqrt{3} \times 106{,}92 \times (6{,}041 \times 0{,}9 + 2{,}825 \times 0{,}43589) = 1234{,}86V$$

Em termos percentuais o valor da queda de tensão é:

$$\frac{1234{,}86 \times 100}{30000} = 4{,}12\% \text{ da tensão de serviço.}$$

7.5.5 Efeitos dos campos electromagnéticos

O Conselho Europeu emitiu em 99/07/05, uma recomendação sobre os limites de exposição do público em geral aos campos electromagnéticos, na gama de frequências de 0 Hz – 300Hz (Doc. Ref. 1999-1100-0001 / 8550/99 "Coucil Recommendation on tehe limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz – 300Hz)", e que foi ratificada por Portugal. De acordo com a Portaria n.º 1421/2004, de 23 de Novembro, publicada no Diário da República - I Série B, n.º 275, os níveis de referência da exposição aos campos eléctricos, magnéticos e electromagnéticos (0 Hz – 300GHz, valores eficazes não perturbados), são os seguintes:

Limites de Exposição a Campos Eléctricos e Magnéticos a 50 Hz		
Características de exposição	Campo Eléctrico [KV/m] (RMS)	Densidade de fluxo magnético [μT] (RMS)
Público Permanente	5	100

Tabela 7 – Limites de Exposição a Campos Eléctricos e Magnéticos a 50 Hz

7.5.5.1 Cálculo do Campo Eléctrico

O cálculo dos campos eléctricos efectua-se a partir do conhecimento das cargas eléctricas em cada um dos cabos da linha. No presente caso considerou-se a presença de um circuito trifásico e um cabo de guarda, este suposto ao potencial do solo. A disposição geométrica dos cabos será em "Dupla Esteira Vertical" em toda a linha.

O cálculo foi efectuado para o local onde a distância dos condutores, na sua condição de flecha máxima, é mínima relativamente ao solo (vão 23-24) e para o local onde a distância dos condutores, na sua condição de flecha máxima, é mínima relativamente a habitações (vão 46-47).

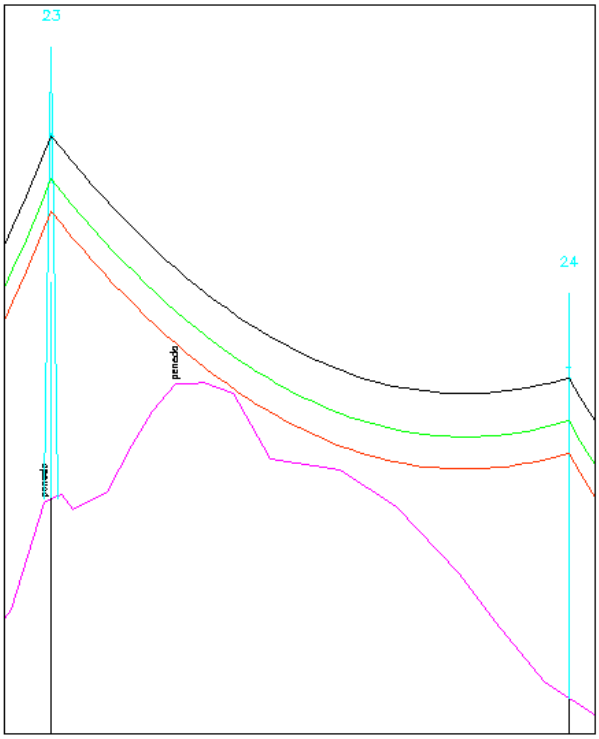


Figura 11 – Vão 46 - 47

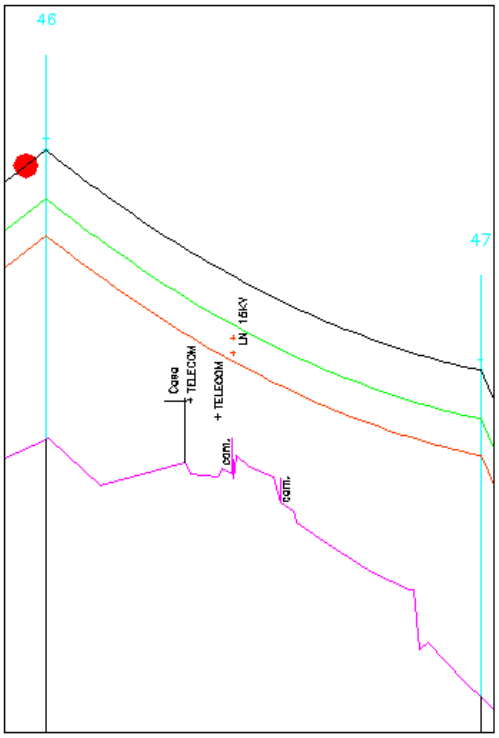


Figura 12 – Vão 23 - 24

Os valores que se obtiveram correspondem portanto a valores máximos absolutos do campo eléctrico, nos planos horizontais em que foram calculados e que correspondem, sensivelmente ao nível do solo e ao nível da cabeça de um homem com 1,80 m, no vão 23-24, e ao nível do cume do telhado, no vão 46-47.

Para o cálculo da distribuição de cargas eléctricas sobre os condutores da linha considerou-se um modelo de cálculo bidimensional onde a geometria é definida num plano vertical transversal à linha, o solo é suposto ser plano, horizontal e de extensão infinita. Neste modelo os condutores são também supostos paralelos entre si e ao solo, e os condutores inferiores situam-se a uma distância do solo correspondente ao mínimo absoluto acima referido.

O plano de corte transversal considera-se afastado dos apoios, uma vez que o campo eléctrico é distorcido pela sua presença, dado que estes normalmente são estruturas metálicas, portanto condutoras, ao potencial do solo. Este efeito - efeito écran - é no sentido favorável,

isto é, de diminuição dos valores daqueles campos, pelo que o modelo utilizado é mais simples e melhor do ponto de vista da segurança.

Nesta conformidade o vector de fasores das cargas $[(qr + j.qi)\,j]$ $j = 1,....8$ calculou-se através de:

$$\left[\tilde{Q}\right] = [P]^{-1}.\left[\tilde{V}\right]$$

onde $[P]$ é a matriz dos coeficientes de potencial de Maxwell e $[(vr + j.vi)\,j]$ $j = 1,...8$ o vector de fasores de tensões. A matriz $[P]$ é simétrica e os seus elementos definidos por:

$$P_{ii} = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon}.\ln(\frac{4\cdot y_i}{d_i})$$

$$P_{ij} = \frac{1}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon}\cdot\ln\left[\frac{(x_i - x_j)^2 + (y_i + y_j)^2}{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}\right]^{1/2}$$

onde y_i e y_j são as alturas dos condutores i e j acima do solo, d_i é o diâmetro do condutor i e x_i e x_j são as coordenadas horizontais dos condutores i e j.

Uma vez calculadas as cargas eléctricas em cada condutor, o campo eléctrico num determinado ponto $N(x_N, y_N)$ do espaço é calculado através de:

$$\vec{E}_j = \tilde{E}_{x.j}\cdot\left[\frac{0}{1}\right] + \tilde{E}_{y.j}\cdot\left[\frac{0}{1}\right]$$

onde as componentes horizontal e vertical do campo referentes à carga j são dadas por (método de imagens):

$$E_{x.j} = \frac{(q_{rj} + j\cdot q_{ij})\cdot(x_{N-}x_j)}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon\cdot\left[(x_j - x_N)^2 + (y_j - y_N)^2\right]} - \frac{(q_{rj} + j\cdot q_{ij})\cdot(x_N - x_j)}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon\cdot\left[(x_j - x_N)^2 + (y_j + y_N)^2\right]}$$

$$E_{y.j} = \frac{(q_{rj} + j\cdot q_{ij})\cdot(y_{N-}y_j)}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon\cdot\left[(x_j - x_N)^2 + (y_j - y_N)^2\right]} - \frac{(q_{rj} + j\cdot q_{ij})\cdot(y_N + y_j)}{2\cdot\pi\cdot\varepsilon\cdot\left[(x_j - x_N)^2 + (y_j + y_N)^2\right]}$$

As componentes horizontal e vertical referentes a todas as cargas obtêm-se fazendo o somatório das contribuições de todas as cargas:

$$\tilde{E}_x = \sum_{j=1}^{8}\tilde{E}_{x,j}$$

$$\tilde{E}_y = \sum_{j=1}^{8} \tilde{E}_{y.j}$$

O campo eléctrico é assim um vector de fasores à frequência de 50 Hz da forma

$$\vec{E} = (\tilde{E}_x, \tilde{E}_y) = (E_{x,r} + j \cdot E_{x,i}, E_{y,r} + j \cdot E_{y,i})$$

o qual descreve no plano xy uma trajectória pulsante elíptica. A componente máxima do fasor do campo eléctrico num determinado ponto do espaço é dada pelo valor do semi-eixo maior daquela elipse.

O valor E_α do módulo do campo ao longo de uma direcção definida por um ângulo α, medido em relação à horizontal, é dado por:

$$(E_\alpha)^2 = (E_{ry} \cdot sen(\alpha) + E_{rx} \cdot \cos(\alpha))^2 + (E_{iy} \cdot sen(\alpha) + E_{ix} \cdot \cos(\alpha))^2$$

cujo máximo em α deverá satisfazer

$$\frac{d(E_\alpha)^2}{d\alpha} = 0$$

o que conduz à relação quadrática em $tg(\alpha)$

$$tg^2(\alpha) \cdot (E_{ry} \cdot E_{rx} + E_{iy} \cdot E_{ix}) + tg(\alpha) \cdot (-E_{iy}{}^2 + E_{ix}^2 - E_{ry}^2 + E_{rx}^2) - (E_{ry} \cdot E_{rx} \cdot E_{iy} \cdot E_{ix}) = 0$$

válida para $\alpha \neq \pi/2$, valor onde simplesmente $E\pi/2 = E_y$. As duas soluções para $tg(\alpha)$ correspondem aos dois semi-eixos da elipse do campo, calculando-se assim o valor máximo do módulo do campo através da expressão acima para $E\alpha$.

Valores calculados

Para os condutores a uma altura ao solo de 0,38 m (mínimo absoluto em toda a linha), considerando a tensão nominal de 30 kV, o valor do campo eléctrico a 1,80m do solo, ocorre a 2 metros do eixo da linha e tem o valor de 0,2 kV/m.

Para os condutores a uma altura ao cume do telhado de uma habitação de 5,52 m, considerando a tensão nominal de 30 kV, o valor máximo do campo ocorre no eixo da linha e tem o valor de 0,41 kV/m.

Estes valores, como se verifica, estão dentro dos limites recomendados pela Portaria n.º 1421/2004.

7.5.5.2 Cálculo do campo magnético

Modelo de cálculo

O Campo magnético foi calculado usando um modelo bidimensional geometricamente idêntico ao descrito para o campo eléctrico. O valor do campo magnético num ponto de coordenadas (x_j, y_j) em resultado da corrente I_i que percorre um condutor no ponto de coordenadas (x_i, y_i) pode ser dado por:

$$\vec{H}_{j,i} = \frac{\vec{I}_i \times \vec{r}_{j,i}}{2 \cdot \pi \cdot r_{i,j}^2} = \frac{I_i}{2 \cdot \pi \cdot r_{i,j}} \cdot \vec{\phi}_{i,j}$$

onde $\phi_{i,j}$ é o vector unitário na direcção do produto externo do vector corrente com o vector $r_{i,j}$.

Teremos portanto,

$$\vec{\phi}_{i,j} = -\frac{y_i - y_j}{r_{i,j}} \cdot \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} + \frac{x_i - x_j}{r_{i,j}} \cdot \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$$

e,

$$r_{i,j} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2}$$

O campo magnético total é dado pela soma das contribuições devidas às correntes em todos os condutores, desprezando a corrente de retorno pela terra e correntes nos cabos de guarda. As correntes de defeito que se escoam pelo cabo de guarda produzem picos de campo magnético de muito curta duração e portanto sem relevância para a análise que estamos a efectuar.

$$\vec{H}_j = \sum_{i=1}^{6} \frac{I_i}{2 \cdot \pi \cdot r_{i,j}} \cdot \vec{\phi}_{i,j}$$

A densidade de fluxo magnético é então:

$$\vec{B} = \mu \cdot \vec{H}$$

onde $\mu = 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}$ tanto no solo como no ar.

Valores calculados

Nestes cálculos admitiu-se um regime estabilizado e equilibrado de funcionamento para as correntes. Para efeitos da avaliação dos valores máximos de densidade de fluxo magnético

correspondentes a exposições com carácter permanente, esta condição é perfeitamente legítima.

O valor máximo da densidade de fluxo magnético para o caso em que a linha está a 0,38 m do solo (vão 23-24), para um módulo de corrente "nominal" de 213,83 A, é de 4,02 μT. Este valor é muito inferior ao valor limite recomendado, mesmo numa perspectiva de exposição pública permanente.

O valor máximo da densidade de fluxo magnético para o caso em que a linha está a 5,58 m do cume do telhado de uma habitação (vão 46-47), para um módulo de corrente "nominal" de 213,83 A, é de 5,06 μT. Este valor é também muito inferior ao valor limite recomendado, mesmo numa perspectiva de exposição pública permanente.

7.6 Cadeias de Isoladores

Numa linha aérea, a separação entre as travessas e as peças em tensão é geralmente garantida por isoladores. Os isoladores a adoptar no projecto, são isoladores de cadeia cerâmicos ou de vidro. Deverão suportar tanto as solicitações eléctricas como mecânicas da linha.

Segundo o art. 50º. do RSLEAT o local de implantação da linha é classificado como uma zona de nível de poluição fraca, logo a linha de fuga nominal específica mínima entre fase e terra a considerar é de 16 mm/kV. (Lfe=16 mm/kV) (tensão composta).

Respeitando o disposto do art. 4º. do RSLEAT, a tensão estipulada para os materiais da linha em 30kV deve ser de 36kV (Um=36kV).

As cadeias de isoladores a utilizar deverão ser caracterizadas pelos seguintes parâmetros electromecânicos:

Tensão mínima de contornamento sob chuva:

$$U_{CH} \geq 2{,}45 \times U_m \Leftrightarrow U_{CH} \geq 2{,}45 \times 36 \Leftrightarrow U_{CH} \geq 88{,}2\,kV$$

Comprimento mínimo da linha de fuga:

$$L_{FT} \geq L_{fe} \times U_m \Leftrightarrow L_{FT} \geq 16 \times 36 \Leftrightarrow L_{FT} \geq 576\,mm$$

Força mínima de trabalho à tracção

$$F_{Trabalho} \geq \sigma \times t_{\max} \Leftrightarrow F_{Trabalho} \geq 157{,}9 \times 9 \Leftrightarrow F_{Trabalho} \geq 1421{,}1\,daN$$

$$F_{Trabalho} = 0{,}4 \times F_{Rotura} \Leftrightarrow F_{Rotura} = 3552{,}75\,daN$$

Em que:

- σ - Secção do condutor
- t_{max} – Tensão máxima de serviço;
- F_{rotura} – Força de rotura do isolador.

Serão usados isoladores do tipo U 70 BS para toda a linha. Estes isoladores ditos "normais" estão bem adaptados às zonas de poluição fraca, o que é favorável relativamente à poluição muito baixa que caracteriza em geral todo o corredor da linha. As características destes isoladores estão tabeladas na tabela 8.

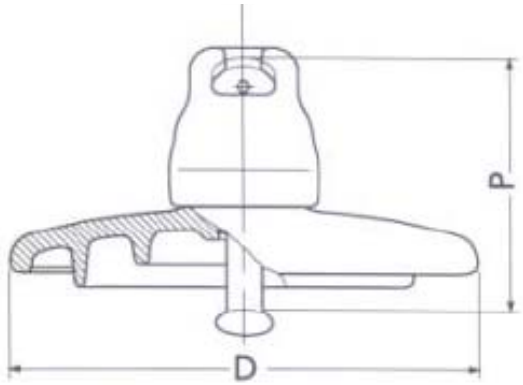
Isolador: U 70 BS	
	
Material	Vidro
Carga de rotura (kN)	70
Carga máxima de trabalho (kN)	40
Passo (P) (mm)	127
Comprimento da linha de fuga (mm)	320
Diâmetro do disco isolante (D) (mm)	255
Massa (Kg)	3,4
Tensão de frequência industrial (kV)	130
Tensão suportável ao choque (kV)	100
Tensão suportável a seco (kV)	70
Tensão suportável sob chuva (kV)	40

Tabela 8 – Características eléctricas e mecânicas dos isoladores

Uma vez que o tipo de isolador adoptado tem uma linha de fuga de 320 m, por isolador, a constituição, a constituição mínima de cadeia é de 1,8 isoladores, ou seja 3 isoladores.

De acordo com estas considerações, a composição adoptada para os diferentes tipos de cadeias é a seguinte:

- A – Amarração simples 3xU70 BS
- AR – Amarração com reforço 4xU70 BS
- Ad – Amarração descendente 3xU70 BS
- AdR – Amarração descendente com reforço 4xU70 BS

- Aa – Amarração ascendente 3xU70 BS
- AaR – Amarração ascendente com reforço 4xU70 BS
- S – Suspensão simples 3xU70 BS
- SR – Suspensão com reforço 4XU70 BS

As cadeias com reforço de isolamento serão utilizadas em todos os vãos onde há travessias, garantindo assim que, em caso de avaria de um isolador se manterá o nível de isolamento que permite a continuidade de serviço (16mm/kV). Nos restantes vãos serão utilizadas cadeias com isolamento normal, garantindo assim que em caso avaria de um isolador o comprimento de linha de fuga seja de 480mm, garantindo ainda os 16mm/kV para a tensão composta nominal (30 kV).

Segundo o art. 89º. do RSLEAT os apoios de travessia ou de cruzamento quando forem dotados de isoladores de cadeia, devem ser dotadas do lado de condutor, de hastes de descarga ou de anéis de guarda, de modo a afastar do condutor e dos isoladores qualquer eventual arco de contormamento sem reduzir, sensivelmente, as tensões suportáveis da cadeia de isoladores.

Desta forma, serão utilizadas hastes de descarga das cadeias referidas anteriormente e devido ao tipo de instalação, disposição do perfil do terreno e condições atmosféricas está previsto a utilização de haste de descarga no lado dos condutores em toda a linha

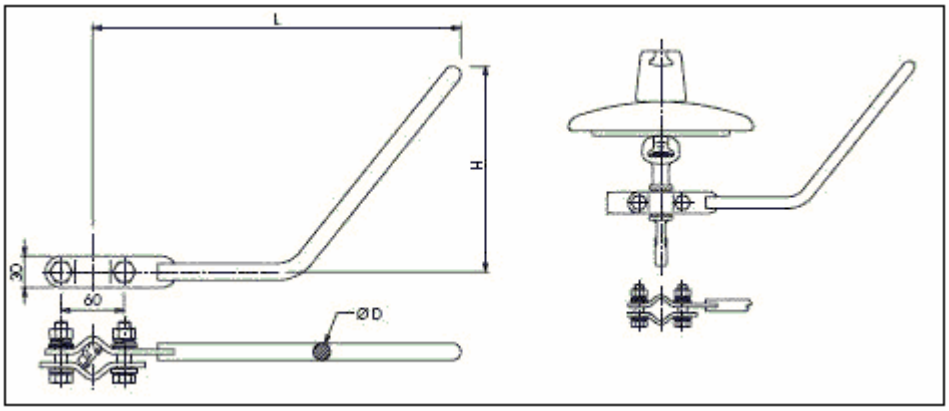


Figura 13 – Haste de descarga e pormenor de montagem

7.7 Distâncias de segurança associadas aos cabos

Os condutores são estabelecidos de modo a não serem atingíveis, sem meios especiais, de quaisquer lugares acessíveis a pessoas.

Sobre este tema será observado o disposto no RSLEAT, onde se definem distâncias mínimas, como por exemplo: aos edifícios, ao solo, estradas, etc., que determinarão a altura dos apoios.

Em relação às distâncias de segurança, particularmente aos obstáculos situados por baixo dos cabos (solo, árvores, edifícios, estradas, etc.) deve dizer-se que estas são avaliadas para a situação regulamenta de flecha máxima, ou seja, temperatura dos condutores de 65º C na ausência de vento. No caso da presente linha, este critério regulamentar é claramente pelo lado da segurança, tendo em atenção que as temperaturas ambientes médias nas zonas que a linha atravessa são mais baixas e que a carga esperada na linha não é suficiente para levar os condutores a esta temperatura.

7.7.1 Distância entre condutores

A distância entre condutores de uma linha de 2ª classe é determinada através da expressão apresentada no artigo 31º do RSLEAT. Segundo este, os condutores nus deverão ser estabelecidos de forma a não poderem aproximar-se perigosamente, atendendo às oscilações provocadas pelo vento, não devendo, entre eles, observar-se uma distância inferior à dada pela expressão:

$$D = 0{,}75k \times \sqrt{f + d} + \frac{U}{200}$$

Em que:

- U, em kilovolts, é a tensão nominal da linha;
- f, em metros é a flecha máxima dos condutores;
- d, em metros, é o comprimentos da cadeias de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha;
- k, coeficiente dependente da natureza dos condutores, (Alumínio-aço k=0,6).

Segundo o mesmo artigo, o valor da distância mínima entre os condutores é de 0,45 metros.

7.7.2 Distância entre os condutores e os apoios

A distância entre os condutores e os apoios determinada através da expressão apresentada no artigo 33º do RSLEAT. Segundo este, a distância entre os condutores nus e os apoios deverá ser verificada nas duas hipóteses seguintes:

- Condutores em repouso, à temperatura mais desfavorável;
- Condutores desviados pela acção do vento referido na alínea b) do artigo 12º, à temperatura de 15ºC.

Esta distância não deverá ser inferior à dada por uma das expressões seguintes:

- $D = 0{,}1 + 0{,}0065U$, para condutores em repouso;

- $D = 0{,}0065U$, para condutores desviados pelo vento.

Em que U, em kilovolts, é a tensão nominal da linha.

- $D = 0{,}1 + 0{,}0065 \times 30 = 0{,}3m$, para condutores em repouso;

- $D = 0{,}0065 \times 30 = 0{,}2m$ para condutores desviados pelo vento.

Segundo o mesmo artigo, o valor da distância não deverá ser inferior a 0,15 metros.

7.7.3 Distância dos condutores ao solo

A distância dos condutores ao solo é determinada através da expressão apresentada no artigo 27º do RSLEAT. Segundo este, a distância entre os condutores nus das linhas e o solo, nas condições de flecha máxima, desviados ou não pelo vento, não deverá ser inferior à dada pela expressão:

$$D = 6 + 0{,}005U$$

Em que U, em kilovolts, é a tensão nominal da linha.

$$D = 6 + 0{,}005 \times 30 = 6{,}15m$$

7.7.4 Distância dos condutores aos edifícios

A distância dos condutores aos edifícios é determinada através da expressão apresentada no artigo 29º do RSLEAT. Segundo este, na proximidade de edifícios, neste caso casas e barracos, a linha será estabelecida de forma a observar-se, nas condições de flecha máxima, uma distância não inferior à dada pela expressão:

$$D = 6 + 0{,}0075U$$

Em que U, em kilovolts, é a tensão nominal da linha.

$$D = 6 + 0{,}0075 \times 30 = 6{,}225m$$

Segundo o mesmo artigo, o valor da distância não deverá ser inferior a 4 metros.

7.7.5 Distância dos condutores a obstáculos diversos

A distância dos condutores a obstáculos diversos é determinada através da expressão apresentada no artigo 30º do RSLEAT. Segundo este, na vizinhança de obstáculos tais como terrenos de declive muito acentuado, falésia e construções normalmente não acessíveis a pessoas, a linha será estabelecida de forma a observar-se, nas condições de flecha máxima, uma distância não inferior à dada pela expressão:

$$D = 2 + 0{,}0075U$$

Em que U, em kilovolts, é a tensão nominal da linha.

$$D = 2 + 0{,}0075 \times 30 = 2{,}225m$$

Segundo o mesmo artigo, o valor da distância não deverá ser inferior a 3 metros.

7.7.6 Distância dos condutores às auto-estradas e às estradas nacionais e municipais

A distância dos condutores às auto-estradas e às estradas nacionais e municipais é determinada através da expressão apresentada no artigo 91º do RSLEAT. Segundo este, os condutores nus, nas condições de flecha máxima, deverão manter uma distância não inferior à dada pela expressão:

$$D = 6{,}3 + 0{,}01U$$

Em que U, em kilovolts, é a tensão nominal da linha.

$$D = 6{,}3 + 0{,}01 \times 30 = 6{,}6\,m$$

Segundo o mesmo artigo, o valor da distância não deverá ser inferior a 7 metros.

7.7.7 Distância dos condutores aos cursos de água não navegáveis

A distância dos aos cursos de água não navegáveis é determinada através da expressão apresentada no artigo 93º do RSLEAT. Segundo este, os condutores nus, nas condições de flecha máxima, deverão manter em relação ao mais alto nível das águas uma distância não inferior à dada pela expressão:

$$D = 6 + 0{,}005U$$

Em que U, em kilovolts, é a tensão nominal da linha.

$$D = 6 + 0{,}005 \times 30 = 6{,}15\,m$$

7.7.8 Distância entre duas linhas

A distância entre duas linhas é determinada através da expressão apresentada no artigo 93º do RSLEAT. Segundo este, os condutores nus, nas condições de flecha mais desfavoráveis, deverão manter uma distância não inferior à dada pela expressão:

$$D = 1{,}5 + 0{,}01U + 0{,}005L$$

Em que:
- U, em kilovolts, é a tensão nominal da linha;
- L, em metros, é a distância entre o ponto de cruzamento e o apoio mais próximo da linha superior.

Segundo o mesmo artigo, o valor da distância não deverá ser inferior a 2 metros.

No caso dos cruzamentos de linhas eléctricas de alta tensão e linhas de telecomunicações, a distância mínima entre as duas linhas é de 2 metros, sendo definida pelo artigo 113º do RSLEAT.

7.8 Cálculo mecânico

O cálculo mecânico de uma linha de transmissão de energia tem como objectivos:

- Determinar a tensão mecânica de montagem da linha, conforme as condições climatéricas que se verifiquem nesse momento, por forma a garantir que quaisquer que sejam as condições atmosféricas que se venham a verificar, os condutores nunca sejam solicitados por tensões mecânicas superiores à sua tensão de segurança;
- Determinar a altura dos apoios de modo a garantir que os condutores não ultrapassem as distâncias regulamentares, quaisquer que sejam as condições atmosféricas que se venham a verificar;
- Dimensionamento dos apoios ou, pelo menos, à verificação da estabilidade dos tipos de apoios escolhidos e dos seus maciços.

No cálculo mecânico dos apoios e cálculo mecânico dos condutores, nomeadamente cálculo do parâmetro e flechas de montagem para diversas temperaturas, dada a extensão da linha e consequente extensão de cálculo apenas demonstra-se para cálculo do parâmetro e flechas de montagem os seguintes casos:

- Vão entre o apoio nº1 e apoio nº 2;
- Vão entre o apoio nº 27 e apoio nº 31;
- Vão entre o apoio nº 38 e o apoio nº 43.

Para cálculo mecânico dos apoios e face às razões anteriormente apresentadas, demonstra-se os cálculos para três apoios, sendo eles:

- Apoio em ângulo nº 13 (Metálico);
- Apoio de alinhamento nº 28 (Betão);
- Apoio de fim de linha nº 50 (Betão).

Dada a limitação de páginas e a extensão da linha e consequente extensão de resultados, serão apresentados em anexo alguns resultados obtidos manualmente e pelo do programa cálculo automático de linhas aéreas de transmissão de energia (Clinhas).

7.8.1 Condições atmosféricas

A linha em estudo será implantada num terreno bastante irregular onde existem diversas cotas do terreno em relação ao mar. Respeitando o artigo 16º do RSLEAT, existem zonas da linha onde deve ser considerada a acção do gelo.

Considerou-se uma formação de gelo de 12mm entre o apoio nº 1 e o apoio nº 27 e a formação de gelo de 10mm entre o apoio 27 e o apoio 37.

Tendo em conta o artigo 13º do RSLEAT é possível definir os valores da pressão dinâmica do vento em função da altura acima do solo a que se encontra o elemento da linha que se pretende calcular. Desde modo, considerou-se entre o apoio nº 1 e o apoio nº 27 o 2º escalão e entre o apoio 27 e o apoio 50 o 1º escalão.

Importa referir que os valores apresentados para a acção do gelo e para os valores da pressão do vento entre apoio nº 1 e o apoio nº 27 encontram-se majorados face ao que indica o RSLEAT. Esta situação deve-se a uma questão de segurança, visto que, nesta zona temos cotas dos terrenos em relação ao mar superiores a 800m.

7.8.2 Tensão máxima de serviço

A tensão máxima de serviço pode ser calculada recorrendo a software apropriado. Contudo, e na ausência deste, o valor da tensão de serviço é realizado por interacções e com base na experiência do projectista.

Para a linha em estudo houve que considerar diversas tensões máximas de serviço, nomeadamente:

- Entre o apoio nº1 e o apoio nº 2 a tensão máxima de serviço será de 7 daN/mm^2;
- Entre o apoio nº2 e o apoio nº 49 a tensão máxima de serviço será de 9 daN/mm^2;
- Entre o apoio nº49 e o apoio nº 50 a tensão máxima de serviço será de 7 daN/mm^2.

Segundo artigo 24º do RSELAT as tensões máximas de tracção admissíveis para os condutores não deverão ser superiores ao quociente das suas tensões de rotura por 2,5. Deste modo:

$$t_{máx} = \frac{t_{roptura}}{2,5}$$

Em que,

- $t_{máx}$ – tensão máxima de tracção (daN/mm^2);
- $t_{ruptura}$ – tensão de ruptura do condutor, Patridge 160 – 47,75 daN/mm^2;
- $t_{serviço}$ – tensão máxima de serviço em (daN/mm^2).

$$t_{máx} = \frac{47,75}{2,5} = 19,1 daN/mm^2 \Leftrightarrow t_{serviço} < t_{máx} \Leftrightarrow 7 < 19,1 \quad e \quad 9 < 19,1$$

7.8.3 Cálculo do parâmetro e flechas de montagem

7.8.3.1 Vão entre o apoio nº1 e apoio nº 2

O vão têm entre o apoio nº 1 e o apoio nº 2, tem um comprimento de 180m.

7.8.3.1.1 Dimensionamento do estado atmosférico

Estado de Inverno

Segundo o art. 21º do RSLEAT, o estado de Inverno é caracterizado pela existência de manga de gelo e vento reduzido, actuando sobre os condutores com manga de gelo. A temperatura a considerar é de -10ºC.

Força do vento nos condutores (art.10º do RSLEAT):

$$F_v = \alpha \times c \times q \times s$$

Em que,
- α é o coeficiente de redução (art.14º do RSLEAT);
- c é o coeficiente de forma (art.15º do RSLEAT);
- q é a pressão dinâmica do vento (Pa);
- s é a área da superfície batida pelo vento (mm^2/m).

Diâmetro total

$$d_{total} = d_{condutor} + 2 \times d_{gelo} = 16{,}32 + 2 \times 12 = 40{,}32\, mm$$

Área da superfície batida pelo vento

$$s = \frac{d_{total}}{1000} = \frac{40{,}32}{1000} = 0{,}04032\, mm^2 / m$$

Deste modo:

$$F_v = 0{,}6 \times 1 \times 360 \times 0{,}04032 = 8{,}709\, N / m = 0{,}889\, kgf / m$$

Coeficiente de sobrecarga:

$$m_1 = \frac{\sqrt{\left[w + w_g \times \frac{\pi}{4} \times (d_t - d_c)^2 \right]^2 + F_v^{\,2}}}{w}$$

Em que,

- w é o peso próprio do condutor (kgf/m);
- w_g é a densidade do gelo (art.16º do RSLEAT) (kg/m^3);
- d_t é o diâmetro total (mm);
- d_c é o diâmetro do condutor (mm);
- F_v é a força proveniente da acção do vento (kgf/m).

Deste modo:

$$m_1 = \frac{\sqrt{\left[0{,}5473 + 900 \times \frac{\pi}{4} \times \left(0{,}04032^2 - 0{,}01632^2\right)\right]^2 + 0{,}889^2}}{0{,}5473} = 3{,}20$$

Estado de primavera

Segundo o art. 21º do RSLEAT, o estado de Primavera é caracterizado pela existência de vento máximo habitual actuando sobre os condutores e a temperatura a considerar é de 15ºC.

Força do vento nos condutores (art.10º do RSLEAT):

$$F_v = \alpha \times c \times q \times s$$

Diâmetro total

$$d_{total} = d_{condutor} = 16{,}32\,mm$$

Área da superfície batida pelo vento

$$s = \frac{d_{total}}{1000} = \frac{16{,}32}{1000} = 0{,}01632\,mm^2/m$$

Deste modo:

$$F_v = 0{,}6 \times 1 \times 900 \times 0{,}01632 = 8{,}813\,N/m = 0{,}899\,kgf/m$$

Coeficiente de sobrecarga:

$$m_2 = \frac{\sqrt{w^2 + F_v^{\,2}}}{w}$$

Em que,
- w é o peso próprio do condutor (kgf/m);
- F_v é a força proveniente da acção do vento (kgf/m).

$$m_2 = \frac{\sqrt{0{,}5473^2 + 0{,}899^2}}{0{,}5473} = 1{,}92$$

Comparando os coeficientes de sobrecarga do estado de Inverno com o estado de Primavera e usando a árvore de decisão apresentada na figura 14, é possível concluir que o estado mais desfavorável é o estado de Inverno, isto porque, $m_1 > m_2$.

Figura 14 – Árvore de decisão do estado atmosférico mais desfavorável

7.8.3.1.2 Tensões e flechas de montagem

Para calcular a tensão de montagem e consequente flecha de montagem para um determinado estado atmosférico, aplica-se a equação de estados. Comparando o estado mais desfavorável com o estado em estudo obtêm-se a tensão de montagem deste.

	Estado de Inverno	Estado em estudo
Coeficiente de sobrecarga	3,20	1
Tensão máxima de serviço (daN/mm^2)	7	?
Temperatura (ºC)	-10	20

Tabela 9 – Estado teste, resumo das equações de estado

Aplicando a equação de estados:

$$\theta_i + \frac{t_i}{\alpha E} - \frac{m_i^{\,2} w^2 L^2}{24\alpha\sigma^2 t_i^{\,2}} = \theta_k + \frac{t_k}{\alpha E} - \frac{m_k^{\,2} w^2 L^2}{24\alpha\sigma^2 t_k^{\,2}}$$

Em que:

- θ_i e θ_k é a temperatura do estado i (-10ºC) e k (20ºC);

- t_i e t_k é a tensão máxima no estado i (7 da/Nmm^2) e k (?);
- w é o peso próprio do condutor (0,5473 kg/m);
- L é o comprimento do vão em estudo (180m);
- E é o módulo de elasticidade do condutor (7300 daN/mm^2);
- α é o coeficiente de dilatação linear do condutor (1,89x10^{-5}/ºC);
- σ é a secção real do condutor (157,9 mm^2).

Substituindo os valores na equação e resolvendo obtêm-se uma tensão de 2,22 daN/mm^2.

A tensão de montagem será: $T = \sigma \times t_k = 157{,}9 \times 2{,}22 = 351 daN$

A flecha de montagem obtém-se pela expressão:

$$f = \frac{wLL_1}{8T}$$

Em que:
- L é a distância entre os dois apoios medida na perpendicular;
- L_1 é a distância entre os dois apoios ($L_1 = \sqrt{L^2 + h^2}$).

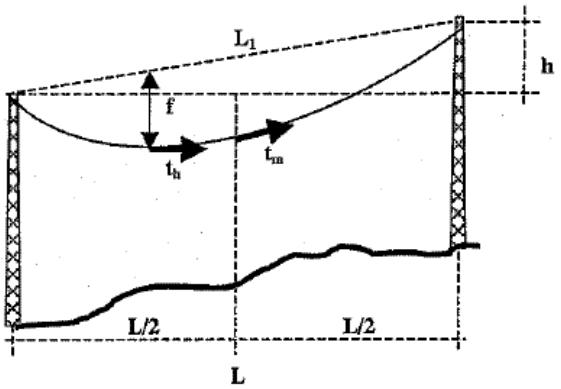


Figura 15 – Vão disnevelado

$$L_1 = \sqrt{180^2 + 35{,}31^2} = 183{,}43\ m$$

Deste modo:

$$f = \frac{0{,}5473 \times 180 \times 183{,}43^2}{8 \times 351} = 6{,}44\ m$$

O parâmetro da catenária para a temperatura de 20ºC, é determinada através da expressão apresentada no ponto 62 do artigo 3º do RSLEAT:

$$p = \frac{T}{w}$$

Em que:
- T é a tensão máxima no estado k;
- w é o peso próprio do condutor.

Deste modo:

$$p = \frac{T}{0{,}5473} = 641\,m$$

O cálculo mecânico apresentado anteriormente, refere-se à tensão e flecha a uma temperatura de 20º C. Contudo, é necessário fazer uma repetição do cálculo para diferentes temperaturas, dado que a temperatura ambiente da altura da montagem da linha é desconhecida.

O método de cálculo para as outras temperaturas é igual ao demonstrado anteriormente. Os valores apresentados na tabela 10 foram confirmados pela utilização do programa cálculo automático de linhas aéreas de transmissão de energia (Clinhas).

Temperatura	Tensão de montagem (da/N)	Flechas (m)	Parâmetro
-10	385	5,82	704
-5	379	5,91	692
0	373	6,01	682
5	367	6,10	671
10	362	6,19	662
15	357	6,28	652
20	351	6,44	641
25	347	6,49	634
30	343	6,54	625
35	338	6,63	618
40	334	6,71	610
45	330	6,80	603
50	326	6,88	595

Tabela 10 – Tensões de montagem para diversas temperaturas

7.8.3.1.3 Altura dos apoios e travessas a considerar

Como foi referido anteriormente, um dos objectivos do cálculo mecânico é definir a altura dos apoios. Para tal, necessitamos do parâmetro da catenária a 50º C o qual já foi determinado anteriormente. No entanto, estes dados não são suficientes, visto que, os condutores não são fixos no topo do poste, mas sim em travessas em diferentes alturas.

No vão em estudo vamos ter dois tipos de travessas, respectivamente:

- Nos postes de betão que constituem o apoio número 1 a disposição da linha será em esteira vertical com aplicação de amarrações, em que a travessa a usar será a EVDAN;

- No poste metálico número 2 a disposição será em esteira vertical com aplicação de amarrações, em que a travessa a usar será a F30 CD.

Conhecida a flecha máxima dos condutores definida pelo artigo 22º do RSLEAT é possível determinar a distância entre condutores através da expressão apresentada no artigo 31º do RSLEAT. A distância mínima para linhas de 2ª classe será:

$$D = 0{,}75k \times \sqrt{f + d} + \frac{U}{200}$$

Em que:

- U, em kilovolts, é a tensão nominal da linha;
- f, em metros é a flecha máxima dos condutores, artigo 22º do RSLEAT;
- d, em metros, é o comprimentos da cadeias de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha;
- k, coeficiente dependente da natureza dos condutores, (Alumínio-aço k=0,6)

$$D = 0{,}75 \times 0{,}6 \times \sqrt{6{,}88 + 0} + \frac{30}{200} = 1{,}33\,m$$

Dado que a disposição da linha nos postes que constituem o apoio número 1 é em esteira vertical e que a distância horizontal de fixação dos condutores para a travessa EVDAN é de 1,75 metros e a distância entre travessas é de 2,50 metros, logo é possível a utilização da travessa EVDAN.

Dado que a disposição da linha no apoio número 2 é em esteira vertical e que a distância horizontal de fixação dos condutores para a travessa F30CD é de 4 metros, a distância entre travessas é de 2,25 metros, logo é possível a utilização da travessa F30CD.

Deste modo é possível traçar a catenária da linha deste vão:

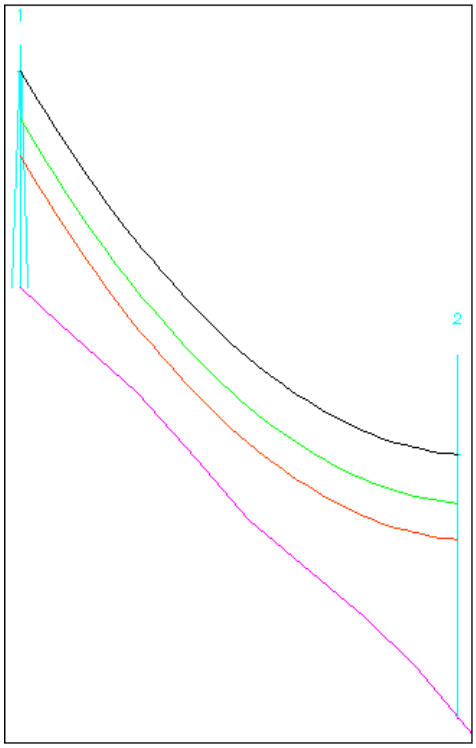


Figura 16 – Vão 1 - 2

A catenária a preto é a catenária referente à linha. A linha a verde representa a distância dos condutores aos edifícios definida pelo artigo 29º do RSLEAT. A distância ao longo do vão entre a catenária azul e catenária a verde é de 4 metros.

Através da análise da figura 16 é possível concluir que a distância dos condutores aos edifícios é cumprida.

A linha a vermelho refere-se à distância dos condutores ao solo definida pelo artigo 27º do RSLEAT. A distância ao longo do vão entre a catenária azul e catenária a vermelho é de 7 metros. Através da análise da figura 16 anterior é possível concluir que a distância dos condutores ao solo é cumprida.

O apoio 1 terá uma altura de 22 metros, o que corresponde a uma altura útil de 19,5 metros. O apoio 2 terá uma altura de 32,7 metros, o que corresponde uma altura útil de 29,8 metros.

7.8.3.2 Vão entre o apoio nº 27 e apoio nº 31

Os vãos isolados são relativamente pouco frequentes em linhas de transmissão, que na realidade, são constituídas de uma sucessão de vãos (cantão) e que não podem ser tratados isoladamente, pois os pontos de suspensão não são rígidos como admitimos e nem os condutores são independentes do ponto de vista mecânico. Os esforços são transmitidos de um vão para o outro. Daí a necessidade de se considerar uma sucessão de vãos.

O vão que considerávamos entre dois pontos de amarração será substituído pelo vão fictício equivalente ao lanço de vãos do cantão compreendidos entre os dois pontos de amarração (cantão).

Admitindo que o lanço de vãos se encontra em patamar, a expressão para o cálculo do vão fictício equivalente será:

$$l = \sqrt{\frac{\sum i\, L_i^3}{\sum i\, L_i}}$$

Em que:

- L_i é a distância entre os apoios (m)

Deste modo:

$$l = \sqrt{\frac{285^3 + 349^3 + 288^3 + 259^3}{285 + 349 + 288 + 259}} = 301m$$

7.8.3.2.1 Dimensionamento do estado atmosférico

Como o método de cálculo do estado atmosférico já foi demonstrado anteriormente, apenas são apresentados os respectivos coeficientes de sobrecarga.

Estado de Inverno

$m_1 = 2{,}66$

Estado de primavera

$m_2 = 1{,}69$

Comparando os coeficientes de sobrecarga do estado de Inverno com o estado de Primavera e usando a árvore de decisão do estado atmosférico mais desfavorável, apresentada na figura 14, é possível concluir que o estado mais desfavorável é o estado de Inverno, porque, $m_1 > m_2$.

7.8.3.2.2 Tensões e flechas de montagem

Para calcular a tensão de montagem e consequente flecha de montagem para um determinado estado atmosférico, aplica-se a equação de estados. Comparando o estado mais desfavorável com o estado em estudo obtêm-se a tensão de montagem deste.

	Estado de Inverno	Estado em estudo
Coeficiente de sobrecarga	2,66	1
Tensão máxima de serviço (daN/mm^2)	9	?
Temperatura (ºC)	-10	30

Tabela 11 – Estado teste, resumo das equações de estado

Substituindo os valores na equação de estados e resolvendo obtêm-se uma tensão de 3,38 daN/mm^2.

A tensão de montagem será: $T = \sigma \times t_k = 157{,}9 \times 3{,}38 = 535\, daN$

Quando se trata da regulação de um cantão é escolhido um vão de regulação, um vão de verificação e um vão máximo para os quais se calcula a respectiva flecha.

O vão de regulação é o vão entre o apoio nº 29 e o apoio nº 30.

$$L_1 = \sqrt{288^2 + 56{,}12^2} = 293{,}42\ m$$

$$f = \frac{0{,}5473 \times 288 \times 293{,}42}{8 \times 535} = 10{,}80\ m$$

O vão de verificação é o vão entre o apoio nº 30 e o apoio nº 31.

$$L_1 = \sqrt{259^2 + 69{,}62^2} = 268{,}19\ m$$

$$f = \frac{0{,}5473 \times 288 \times 268{,}19}{8 \times 535} = 8{,}88\ m$$

O vão máximo é o vão entre o apoio nº 28 e o apoio nº 29.

$$L_1 = \sqrt{349^2 + 13{,}26^2} = 349{,}25\ m$$

$$f = \frac{0{,}5473 \times 349 \times 349{,}25}{8 \times 535} = 15{,}59\ m$$

O parâmetro da catenária para a temperatura de 30ºC, é determinada através da expressão apresentada no ponto 62 do artigo 3º do RSLEAT:

$$p = \frac{535}{0{,}5473} = 978\ m$$

O método de cálculo para as outras temperaturas é igual ao demonstrado anteriormente. Os valores apresentados na tabela 12 foram confirmados pela utilização do programa cálculo automático de linhas aéreas de transmissão de energia (Clinhas).

Temperatura	Tensão de montagem (da/N)	Flechas (m)			Parâmetro
		Vão máximo	Vão regulação	Vão verificação	
-10	595	14,05	9,76	7,98	1086
-5	587	14,24	9,89	8,09	1072
0	579	14,43	10,02	8,20	1058
5	571	14,62	10,15	8,30	1044
10	564	14,80	10,28	8,41	1031
15	557	14,99	10,41	8,51	1018
20	551	15,17	10,54	8,61	1006
25	544	15,37	10,66	8,72	994
30	535	15,59	10,80	8,88	978
35	532	15,74	10,91	8,93	972
40	526	15,88	11,03	9,02	961
45	520	16,06	11,15	9,12	951
50	515	16,23	11,27	9,22	941

Tabela 12 – Tensões de montagem para diversas temperaturas

7.8.3.2.3 Altura dos apoios e travessas a considerar

No vão em estudo vamos ter dois tipos de travessas, respectivamente:

- No poste de betão número 28 a disposição da linha será em esteira vertical com aplicação de suspensões, em que a travessa a usar será a EVDAL;
- No poste 29 a disposição da linha será em esteira vertical com aplicação de suspensões, em que a travessa a usar será a F20CD
- No poste 30 a disposição da linha será em esteira vertical com aplicação de suspensões, em que a travessa a usar será a F30CD
- Nos postes metálicos número 27 e 31 a disposição será em esteira vertical com aplicação de amarrações, em que a travessa a usar será a F30 CD.

Para a análise da distância entre condutores é necessário conhecer as travessas usadas nos apoios. No apoio 28 será usada a EVDAL e no apoio 31 a F30CD.

Conhecida a flecha máxima dos condutores definida pelo artigo 22º do RSLEAT é possível determinar a distância entre condutores através da expressão apresentada no artigo 31º do RSLEAT. A distância mínima para linhas será:

Para o apoio número 28:

$$D = 0{,}75 \times 0{,}6 \times \sqrt{16{,}23 + 0} + \frac{30}{200} = 1{,}96\,m$$

Para o apoio número 31:

$$D = 0{,}75 \times 0{,}6 \times \sqrt{9{,}22 + 0{,}7} + \frac{30}{200} = 1{,}57\,m$$

Dado que a disposição da linha no apoio número 28 é em esteira vertical e que a distância horizontal de fixação dos condutores para a travessa EVDAL é de 3,5 metros, sendo distância entre travessas é de 2,5 metros, logo é possível a utilização da travessa EVDAL.

Dado que a disposição da linha no apoio número 31 é em esteira vertical e que a distância horizontal de fixação dos condutores para a travessa F30CD é de 4 metros e a distância entre travessas é de 2,25 metros, logo é possível a utilização da travessa F30CD.

Deste modo é possível traçar a catenária da linha deste vão:

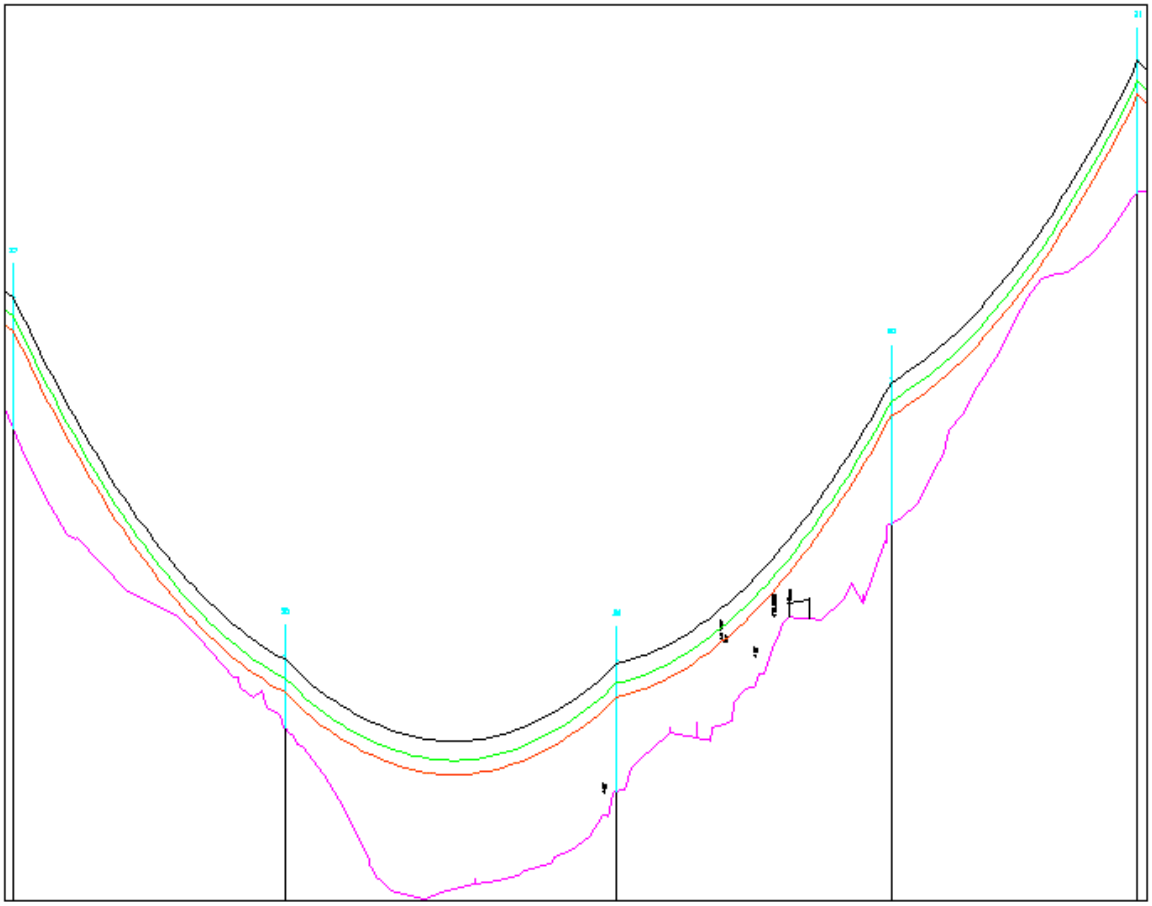


Figura 17 – Cantão entre o apoio 27 e o apoio 31

A catenária a preto é a catenária referente à linha. A linha a verde representa á distância dos condutores aos edifícios definida pelo artigo 29º do RSLEAT. A distância ao longo do

vão entre a catenária azul e catenária a verde é de 4 metros. Através da análise da figura 17 é possível concluir que a distância dos condutores aos edifícios é cumprida.

A linha a vermelho refere-se à distância dos condutores ao solo definida pelo artigo 27º do RSLEAT. A distância ao longo do vão entre a catenária azul e catenária a vermelho é de 7 metros. Através da análise da figura 17 é possível concluir que a distância dos condutores ao solo é cumprida.

O apoio 28 terá uma altura de 24 metros, o que corresponde a uma altura útil de 21,5 metros. O apoio 31 terá uma altura de 37,4 metros, o que corresponde uma altura útil de 29,8 metros.

7.8.3.3 Vão entre o apoio nº 38 e o apoio nº 43

Como o método de cálculo já foi demonstrado anteriormente apenas serão apresentados os resultados.

Vão fictício equivalente: $l = 288{,}245\,m$

7.8.3.3.1 Dimensionamento do estado atmosférico

Estado de Inverno

$$m_1 = 1{,}14$$

Estado de primavera

$$m_2 = 1{,}67$$

Dado que $m_2 > m_1$ e usando a árvore de decisão do estado atmosférico mais desfavorável, apresentada na figura 14, torna-se o necessário calcular o vão critico equivalente. O vão critico equivalente é calculado a partir da expressão:

$$l_{cr} = \frac{\sigma t_{máx}}{w}\sqrt{\frac{24\alpha(\theta_2 - \theta_1)}{m_2^2 - m_1^2}}$$

Substituindo os valores na expressão, obtêm-se um vão critico equivalente de 202,65 m. Analisando a árvore de decisão do estado atmosférico mais desfavorável é possível concluir que o estado atmosférico mais desfavorável é o de Primavera.

7.8.3.3.2 Tensões e flechas de montagem

	Estado de Primavera	Estado em estudo
Coeficiente de sobrecarga	1,67	1
Tensão máxima de serviço (daN/mm^2)	9	?
Temperatura (ºC)	15	30

Tabela 13 – Estado teste, resumo das equações de estado

Substituindo os valores na equação de estados e resolvendo obtêm-se uma tensão de 5,73 daN/mm^2.

A tensão de montagem será: $T = \sigma \times t_k = 157{,}9 \times 5{,}73 = 905\, daN$

O vão de regulação é o vão entre o apoio nº 41 e o apoio nº 42: $f = 6{,}39\ m$

O vão de verificação é o vão entre o apoio nº 42 e o apoio nº 43: $f = 6{,}15\ m$

O vão máximo é o vão entre o apoio nº 38 e o apoio nº 39: $f = 4{,}43\ m$

O parâmetro da catenária para a temperatura de 30ºC, é: $p = 1654\ m$

O método de cálculo para as outras temperaturas é igual ao demonstrado anteriormente. Os valores apresentados na tabela 14 foram confirmados pela utilização do programa cálculo automático de linhas aéreas de transmissão de energia (Clinhas).

Temperatura	Tensão de montagem (da/N)	Flechas (m)			Parâmetro
		Vão máximo	Vão regulação	Vão verificação	
-10	1175	4,96	4,93	4,74	2146
-5	1132	5,15	5,12	4,92	2058
0	1092	5,33	5,30	5,10	1995
5	1055	5,52	5,49	5,28	1928
10	1020	5,71	5,68	5,46	1854
15	988	5,90	5,86	5,64	1805
20	958	6,08	6,05	5,82	1750
25	929	6,27	6,23	5,99	1698
30	905	6,43	6,39	6,15	1654
35	878	6,64	6,60	6,34	1604
40	955	6,82	6,78	6,52	1562
45	833	7,00	6,95	6,69	1522
50	812	7,17	7,13	6,86	1484

Tabela 14 – Tensões de montagem para diversas temperaturas

7.8.3.3.3 Altura dos apoios e travessas a considerar

No vão em estudo vamos ter dois tipos de travessas, respectivamente:

- No poste 38 a disposição da linha será em esteira vertical com aplicação de suspensões, em que a travessa a usar será a F30CD
- Nos postes 39, 40, 41, 42 a disposição da linha será em esteira vertical com aplicação de suspensões, em que a travessa a usar será a F20CD
- No poste metálico número 43 a disposição será em esteira vertical com aplicação de amarrações, em que a travessa a usar será a F65 CD.

Após a análise da distância entre condutores realizada como nos vãos anteriores, verificou-se que é possível a utilização das travessas mencionadas anteriormente.

Deste modo é possível traçar a catenária da linha deste vão:

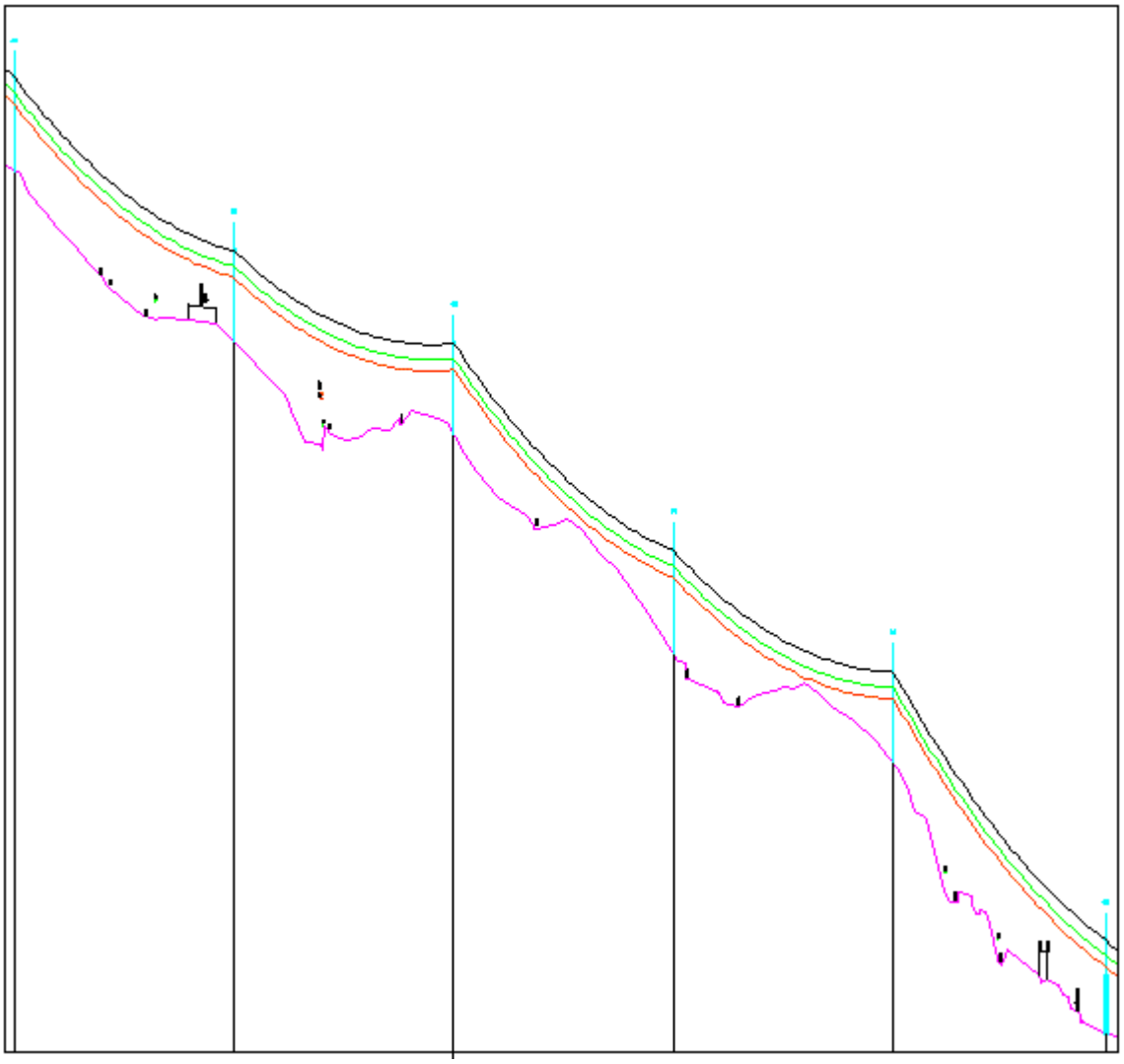


Figura 18 – Cantão entre o apoio 38 e o apoio 43

Através da análise da figura 18 é possível concluir que a distâncias regulamentares já referidas nos vãos anteriores são cumpridas.

O apoio 38, terá uma altura de 34,7 metros, o que corresponde a uma altura útil de 31,5 metros. Os apoios 39, 40, 42 terão uma altura de 34,4 metros, o que corresponde uma altura útil de 31,5 metros. O apoio 41, terá uma altura de 37,4 metros, o que corresponde a uma altura útil de 34,5 metros. O apoio 43, terá uma altura de 34,7 metros, o que corresponde a uma altura útil de 31,8 metros.

7.8.4 Cálculo mecânico dos apoios

7.8.4.1 Apoio em ângulo nº 13 (Metálico)

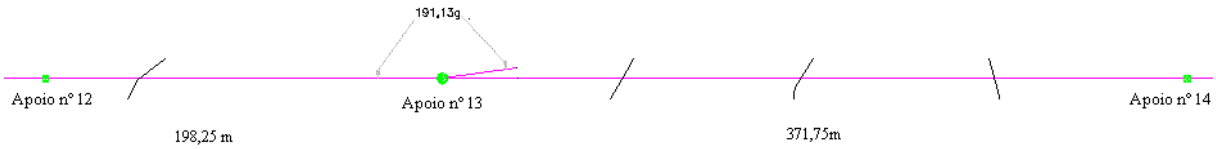


Figura 19 – Planta parcelar do apoio 13

7.8.4.1.1 Estabilidade do apoio

No do artigo 60º do RSLEAT encontram-se as recomendações de cálculo para a verificação da estabilidade de apoios de reforço em ângulo. As condições a considerar são as seguintes:

Apoios de reforço em ângulo	
Hipótese 1 (vento paralelo à bissectriz do ângulo)	
$F_y = F_v^{Isoladores} + F_v^{Travessas} + F_v^{Condutores}$	Esforço no sentido da bissectriz do ângulo (eixo yy')
$F_Z = F_Z^{Isoladores} + F_z^{Travessas} + F_z^{Condutores}$	
Hipótese 2 (sem vento)	
$F_x = \frac{1}{5} 6w\cos^2\beta\left(\frac{S_1 + S_2}{2}\right)$	Esforço no sentido normal à bissectriz do ângulo (eixo xx')
$F_Z = F_Z^{Isoladores} + F_z^{Travessas} + F_z^{Condutores}$	

Nota: A verificação da hipótese 3 é dispensada em linhas de 2ª classe.

Tabela 15 – Expressões para verificação da estabilidade do apoio

Hipótese 1

Segundo o artigo 57º a força do vento sobre os condutores é calculado da seguinte forma:

$$F_v^{Condutores} = 6\left[w\cos^2\beta\left(\frac{S_1+S_2}{2}\right) + 2Tsen\beta \right]$$

Em que,

- w é a força do vento sobre os condutores $(w = \alpha cqs)$;
- S_1 e S_2 são os vãos adjacentes ao apoio.

$$w = 0{,}6\times 1\times 90\times 16{,}32\times 10^{-3} = 0{,}881\, daN/m$$

Tracção do condutor

$$T = 157{,}9\times 7 = 1421{,}1\ daN$$

$$F_v^{Condutores} = 6\times\left[0{,}881\times\cos(7{,}983)^2\times\left(\frac{198{,}25+371{,}75}{2}\right) + 2\times 1421{,}1\times sen(7{,}983)\right] = 3845{,}79\, daN$$

$F_v^{Isoladores} = 30\, daN$ / cadeia (valor tabelado)

$$F_{v\ total}^{Isoladores} = 30\times 6 = 180\, daN$$

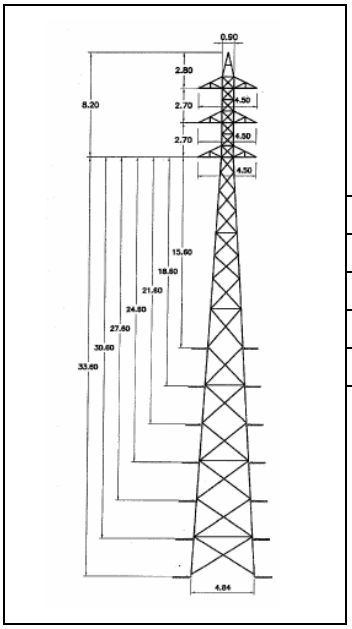
Os esforços de vento sobre as travessas são desprezados, visto que se trata de uma valor baixo.

$$F_y = F_v^{Condutores} + F_v^{Isoladores} = 3845{,}79 + 180 = 4025{,}79\, daN$$

Hipótese 2

$$F_x = \frac{1}{5}\times 6\times 0{,}881\times\cos(7{,}983)^2\times\left(\frac{198{,}25+371{,}75}{2}\right) = 295\, daN$$

Apoio a instalar:



Designação	F95CD
Altura total (m)	24
Altura útil (m)	21,5
Solicitação principal (daN)	8345
Solicitação secundária (daN)	1000

Tabela 16 – Características do apoio tipo F95CD/27

No anexo IV encontra-se as condições de utilização desta gama de postes. Importa salientar que estes postes permitem uma divisão de forças consoante a sua utilização. Ou seja, é possível dividir a carga máxima que ele suporta pela solicitação principal e secundária. Esta condição só é possível porque o poste tem uma base quadrada

7.8.4.1.2 Dimensionamento do maciço de fundação

Devido à exaustão e complexidade de cálculos o dimensionamento do maciço de fundação para este apoio não será apresentado. O maciço a considerar para este apoio será o definido pelo fabricante do apoio apresentando as seguintes características:

Ref. do poste	Altura do apoio fora do solo (m)	Altura ao solo da consola inferior (m)	Peso aproximado do apoio (kg) (*)	Fundações (#)	
				Volume de escavação (m^3)	Volume de betão (m^3)
F95CD/27	35,8	27,6	8035	39,477	9,107

(*) Peso teórico. Inclui consola, barras das fundações, parafusos e galvanização
(#) Dimensionamento para terrenos com o coeficiente de compressibilidade igual a 70 N/cm3. Volume de escavação e de betão por apoio.

Tabela 17 – Maciço do apoio F95CD/27

Fundações

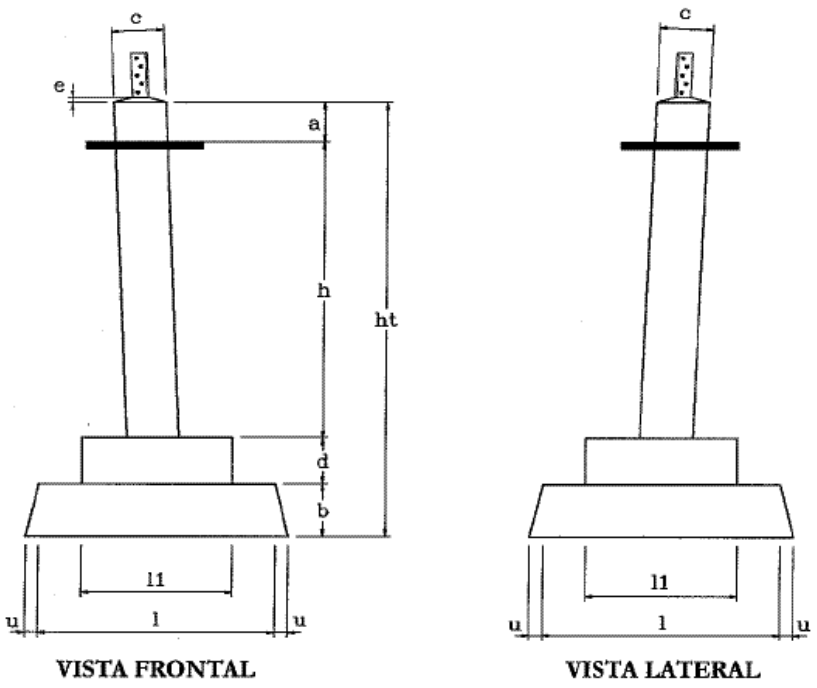


Figura 20 – Fundações (uma das 4 pernas) dos postes tipo F95CD

Dimensões da fundação

a (m)	b (m)	ht (m)	c (m)	l (m)	l1 (m)	b (m)	d (m)	c (m)	e (m)
0,3	2,25	3,3	0,4	1,8	1,1	0,4	0,35	0,05	0,1

Tabela 18 – Dimensões da fundação

7.8.4.2 Apoio de alinhamento nº 28 (Betão)

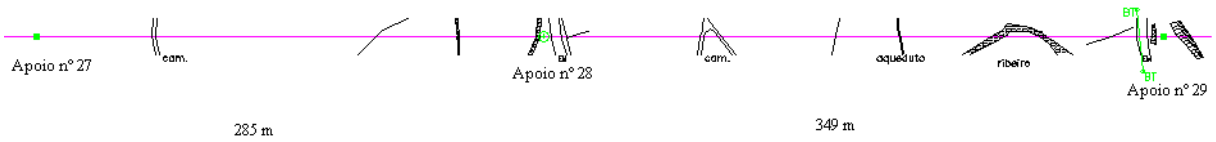


Figura 21 – Planta parcelar do apoio 28

7.8.4.2.1 Estabilidade do apoio

No do artigo 56º do RSLEAT encontram-se as recomendações de cálculo para a verificação da estabilidade de apoios de alinhamento. As condições a considerar são as seguintes:

Apoios de alinhamento	
Hipótese 1 (vento perpendicular à linha)	
$F_y = F_v^{Isoladores} + F_v^{Travessas} + F_v^{Condutores}$	Esforço no sentido normal à linha (eixo yy')
Hipótese 2 (sem vento)	
$F_x = \frac{1}{5} F_v^{Condutores}$	Esforço no sentido da linha (eixo xx')

Nota: O vento sobre o apoio é considerado no diagrama de esforços úteis do apoio.
É desnecessário o cálculo do esforço vertical em apoios de betão.

Tabela 19 – Expressões para verificação da estabilidade do apoio

<u>Hipótese 1</u>

Segundo o artigo 56º a força do vento sobre os condutores é calculado da seguinte forma:

$$F_v^{Condutores} = 6w\left(\frac{S_1 + S_2}{2}\right)$$

Em que,

- w é a força do vento sobre os condutores $(w = \alpha cqs)$;
- S_1 e S_2 são os vãos adjacentes ao apoio.

$$w = 0{,}6 \times 1 \times 75 \times 16{,}32 \times 10^{-3} = 0{,}734\, daN/m$$

$$F_v^{Condutores} = 6 \times 0{,}734 \times \left(\frac{285 + 349}{2}\right) = 1396\, daN$$

$F_v^{Isoladores} = 30\, daN$ / cadeia (valor tabelado)

$$F_{v\ total}^{Isoladores} = 30 \times 6 = 180\, daN$$

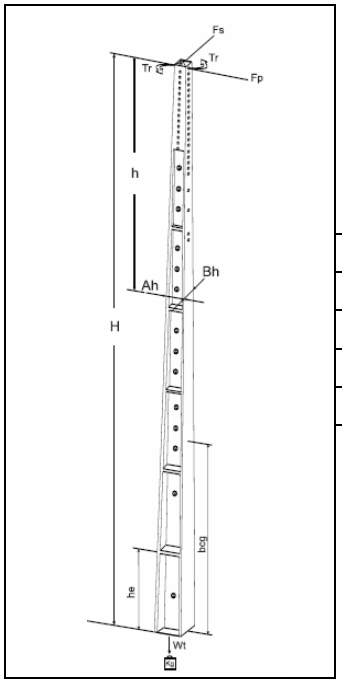
Os esforços de vento sobre as travessas são desprezados, visto que se trata de uma valor baixo.

$$F_y = F_v^{Condutores} + F_v^{Isoladores} = 1396 + 180 = 1576\, daN$$

Hipótese 2

$$F_x = \frac{1}{5} F_v^{Condutores} = \frac{1}{5} \times 1396 = 279{,}2\, daN$$

Apoio a instalar:



Designação	MM04-2250/740 - 24
Altura total (m)	24
Altura útil (m)	21,5
Solicitação principal (daN)	2750
Solicitação secundária (daN)	740

Tabela 20 – Características do apoio tipo MM04-2250/740 - 24

No anexo V encontra-se o diagrama de esforços úteis deste apoio, bem como o quadro de características do poste

7.8.4.2.2 Dimensionamento do maciço de fundação

O cálculo de maciços de fundação foi realizado, usando o método de Sulzberger recomendado no RSLEAT.

O maciço a utilizar será o normalizado pela EDP, o qual apresenta as seguintes características:

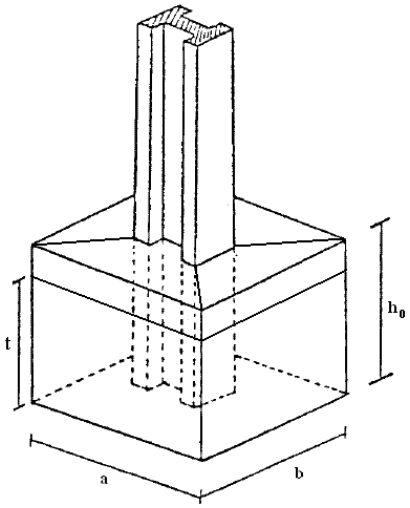


Figura 22 – Maciço tipo de um apoio de betão

Poste			Cova			Volumes	
Tipo	Alt. Total (m)	Peso total (kg)	a (m)	b (m)	h_0 (m)	Escavação (m^3)	Betão (m^3)
MM04-2250-740	24	7840	1,41	1,79	2,50	6,310	5,745

Os valores apresentados para as covas e maciços são válidos apenas para terrenos com coeficientes de compressibilidade compreendidos entre 5 e 7 daN/cm^3
Considera-se uma pressão admissível no terreno do fundo da fundação de 250 kPa

Tabela 21 – Maciço do apoio MM04-2250-740

Características do apoio:

Altura total (ht)	24 m
Altura útil (hu)	21,5 m
Jorramento A (já)	14 mm/m
Jorramento B (jB)	10 mm/m
Dimensão no topo A0	298 mm
Dimensão no topo B0	190 mm
Dimensão do lado maior da secção à cota h	$Ah = A0 + 2 \times jA \times h$
Dimensão do lado maior da secção à cota h	$Bh = B0 + 2 \times jB \times h$

Tabela 22 – Dimensões do apoio MM04-2250-740

Resistência ao enterramento

Os esforços de compressão são compensados pela reacção do solo e pelas forças de atrito entre as superfícies laterais do maciço da fundação e a terra adjacente. A resistência de

enterramento deve ser menor que a pressão máxima admissível no fundo da escavação. A resistência de enterramento traduz-se pela seguinte expressão:

$$R_e = \frac{P_t\left(\sum Forças\ verticais\ (pesos\ centrados)\right)}{(a \times b)}$$

Pesos:

Peso do maciço: $P_M = a \times b \times h_0 \times 2400 = 1{,}41 \times 1{,}79 \times 2{,}5 \times 2400 = 15143{,}4\ daN$

Peso do apoio: $P_A = 7840 \times 9{,}8 = 7683{,}2\ daN$

Peso dos condutores com gelo:

$$P_C = 6 \times w \times \left(\frac{S_1 + S_2}{2}\right) + 6 \times w_g \times \left(\frac{S_1 + S_2}{2}\right)$$
$$= 6 \times 0{,}5473 \times \left(\frac{285 + 349}{2}\right) + 6 \times 0{,}744 \times \left(\frac{285 + 349}{2}\right)$$
$$= 2456\ daN$$

Peso das travessas: $P_T = 245\ daN$

Peso das cadeias de isoladores: $P_I = 6 \times 25 = 150\ daN$

Peso total: $P_t = 25677{,}6\ \text{daN}$

Deste modo:

$$R_e = \frac{25677{,}6}{(1{,}41 \times 1{,}79)} = 101{,}7\ kPa < 250\ kPa$$

Momento resistente devido ao encastramento

Segundo o artigo 74º do RSLEAT o momento resistente devido ao encastramento não deverá ser superior a 1% (tgα ≤ 0,01).

$$tg\alpha = \frac{6\mu P_t}{bt^2 C_t}$$

Em que:

- α é o ângulo de rotação a partir do qual o eixo de rotação do maciço começa a deslocar-se para cima desde o fundo da escavação
- μ é o coeficiente de atrito (definido pelo artigo 74º do RSLEAT);
- P_t é o peso total;

- t é a altura de enterramento ($t = 2{,}5 - 0{,}2 = 2{,}3m$);
- C_t é a compressibilidade das paredes da fundação

$$\left(C_t = \frac{C_{2m}}{2} \times t = \frac{7}{2} \times 2{,}3 = 8{,}05 \times 10^6 \ N/m^3 \right)$$

Deste modo:

$$tg\alpha = \frac{6 \times 0{,}577 \times 25677{,}6}{1{,}79 \times 2{,}3^2 \times 8{,}05 \times 10^6} = 0{,}0012 \leq 0{,}01$$

$$M_s = \frac{bt^3}{X} C_t tg\alpha$$

Em que,
- X é o coeficiente dependente do ângulo de rotação:
  - tgα <0,01, X=36
  - tgα >0,01, X=36

Deste modo:

$$M_S = \frac{1{,}79 \times 2{,}3^3}{36} \times 8{,}05 \times 10^6 \times 0{,}01 = 48700 \, daN$$

Momento resistente devido à reacção do fundo da cova

Segundo o artigo 74º do RSLEAT o momento resistente à reacção do fundo da cova não deverá ser superior a 1% (tgα ≤ 0,01).

$$tg\alpha = \frac{2P_t}{a^2 b C_b}$$

Em que:

- C_b é a compressibilidade de escavação

$$\left(C_b = 1{,}2 \times C_t = 1{,}2 \times 10{,}5 = 9{,}66 \times 10^6 \ N/m^3 \right)$$

Deste modo:

$$tg\alpha = \frac{2 \times 25677{,}6}{1{,}41^2 \times 1{,}79 \times 12{,}6 \times 10^6} = 0{,}0014 \leq 0{,}01$$

Como tgα ≤ 0,01, o momento devido à reacção da cova será:

$$M_b = P_t\left(\frac{a}{2} - 0{,}47\sqrt{\frac{Pt}{bC_b tg\alpha}}\right)$$
$$= 25677{,}6 \times \left(\frac{1{,}41}{2} - 0{,}47 \times \sqrt{\frac{25677{,}6}{1{,}79 \times 9{,}66 \times 10^6 \times 0{,}01}}\right)$$
$$= 13452\, daN$$

Momento resistente total

$$M_R = M_s + M_b$$
$$= 48700 + 13452$$
$$= 62152\, daN$$

Momento derrubante

O momento derrubante de um apoio calcula-se através da expressão:

$$M_d = F_v\left(\lg + \frac{2}{3}h'\right)$$

Em que,
F_v é a força devido à acção do vento;
lg é o centro de massa;
h' é a profundidade da cova.

O momento derrubante total será a soma de todos os momentos derrubantes associados ao apoio, nomeadamente: apoio, condutores, cadeias de isoladores e travessas.

Apoio:

$$M_d^{Apoio} = F_v\left(\lg + \frac{2}{3}h'\right)$$

$$F_v = \alpha cqs$$

Área incidente de vento no apoio, $s = \frac{B_0 + B_{21,5}}{2} \times h_u$

$$B_{21,5} = 190 + 2 \times 10 \times 21{,}5 = 620\, mm$$

$$s = \frac{0{,}190 + 0{,}620}{2} \times 21{,}5 = 8{,}71 m^2$$

$$F_v = 1 \times 1{,}6 \times 75 \times 8{,}71 = 1045{,}2\, daN$$

Centro de massa, $\lg = \frac{h_u \left(2B_0 + B_{21,5m}\right)}{3\left(B0 + B_{21,5m}\right)} = \frac{21{,}5 \times \left(2 \times 0{,}190 + 0{,}620\right)}{3 \times \left(0{,}190 + 0{,}620\right)} = 8{,}84\, m$

$$M_d^{Apoio} = 1045{,}2 \times \left(8{,}84 + \frac{2}{3} \times 21{,}5\right) = 24220{,}77\, daN.m$$

Condutores:

$$M_d^{Condutores} = F_v \left(h_u - 0{,}25 + \frac{2}{3} h'\right)$$

F_v, força devido a acção do vento nos condutores, calculada anteriormente.

$$M_d^{Condutores} = 1396 \times \left(21{,}5 - 0{,}25 + \frac{2}{3} \times 2{,}3\right) = 31805{,}5\, daN$$

Cadeias de Isoladores:

$$M_d^{Isoladores} = F_v \left(h_u - 0{,}25 + \frac{2}{3} h'\right)$$

F_v, força devido a acção do vento nos isoladores, valor normalizado.

$$M_d^{Isoladoress} = 3 \times \left(21{,}5 - 0{,}25 + \frac{2}{3} \times 2{,}3\right) = 68{,}35 \times 6\, daN.m = 410{,}1\, daN.m$$

Travessas:

O momento derrubante das travessas é calculado com o vento a incidir sobre a quina da travessa. Dado o baixo valor podemos considerá-lo nulo.

Com o cálculo de todos os momentos derrubantes é possível obter o momento derrubante total:

$$M_D = M_d^{Apoio} + M_d^{Condutores} + M_d^{Isoladores} + M_d^{Travessas}$$
$$= 24220{,}77 + 31805{,}5 + 410{,}1 + 0$$
$$= 60127{,}4\,daN$$

O maciço garante a estabilidade e os esforços caso o momento resistente for maior que o momento derrubante, ou seja, o coeficiente de segurança (S) for maior que 1:

$$M_R > M_D \Rightarrow 62152 > 60127{,}5$$

$$S = \frac{M_R}{M_D} = \frac{62152}{60127{,}5} = 1{,}03 > 1$$

Deste modo verifica-se a estabilidade do maciço. O momento resistente é muito superior ao momento derrubante o que implicará um coeficiente de segurança também elevado. Deste modo, seria possível uma diminuição do maciço, contudo por uma questão de segurança e dado que o maciço é normalizado, o maciço a instalar será o normalizado.

7.8.4.3 Apoio de fim de linha nº 50 (Betão)

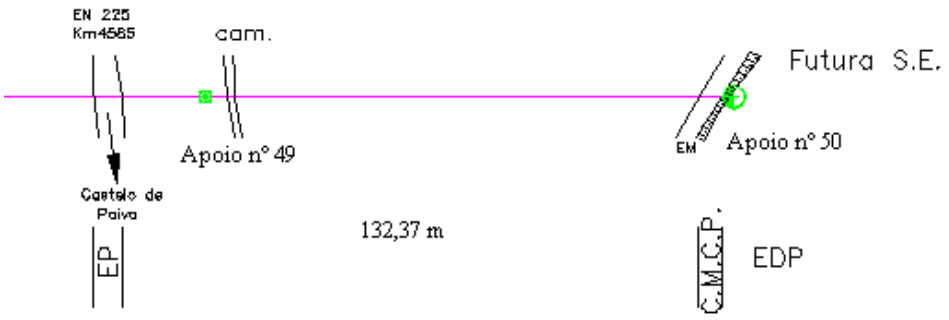


Figura 23 – Planta parcelar do apoio 50

7.8.4.3.1 Estabilidade do apoio

No do artigo 62º do RSLEAT encontram-se as recomendações de cálculo para a verificação da estabilidade de apoios de alinhamento. As condições a considerar são as seguintes:

Apoios de fim de linha	
Hipótese 1 (vento perpendicular à linha)	
$F_y = F_v^{Isoladores} + F_v^{\substack{Travessas\ e \\ aparelhagem}} + F_v^{Condutores}$	Esforço no sentido normal à linha (eixo yy')
Hipótese 2 (sem vento)	
$F_x = 6T$	Esforço no sentido da linha (eixo xx')

Nota: O vento sobre o apoio é considerado no diagrama de esforços úteis do apoio.
É desnecessário o cálculo do esforço vertical em apoios de betão.

Tabela 23 – Expressões para verificação da estabilidade do apoio

<u>Hipótese 1</u>

Segundo o artigo 56º a força do vento sobre os condutores é calculado da seguinte forma:

$$F_v^{Condutores} = 6w\left(\frac{S_1}{2}\right)$$

Em que,

- w é a força do vento sobre os condutores $(w = \alpha cqs)$;
- S_1 e S_2 são os vãos adjacentes ao apoio.

$$w = 0{,}6 \times 1 \times 75 \times 16{,}32 \times 10^{-3} = 0{,}734\, daN/m$$

$$F_v^{Condutores} = 6 \times 0{,}734 \times \left(\frac{132{,}37}{2}\right) = 292\, daN$$

$F_v^{Isoladores} = 30\, daN$ / cadeia (valor tabelado)

$$F_{v\ total}^{Isoladores} = 30 \times 6 = 180\, daN$$

Os esforços de vento sobre as travessas e aparelhagem são desprezados, visto que se trata de uma valor baixo.

$$F_y = F_v^{Condutores} + F_v^{Isoladores} = 292 + 180 = 472\, daN$$

Hipótese 2

Tracção do condutor

$$T = 157{,}9 \times 7 = 1105{,}3\ daN$$

$$F_x = 6T = 6 \times 1105{,}3 = 6631{,}8\ daN$$

Apoio a instalar:

Visto que é necessário fazer a transição de cabo aéreo para cabo subterrâneo, é aconselhável a utilização de postes de betão. Uma solução possível seria a utilização de um único apoio que suportasse as solicitações anteriormente calculadas, contudo opta-se pela utilização de dois postes. A adopção desta solução permite por um lado a economia no custo do apoio e permite que se faça a descida dos dois ternos separadamente.

Em termos de esforços admite-se que os dois apoios encontram-se juntos, contudo na prática eles encontram-se separados como demonstra a imagem.

Designação	2 x MM08-3500/1260 - 22
Altura total (m)	22
Altura útil (m)	19,5
Solicitação principal (daN)	7000
Solicitação secundária (daN)	3200

Tabela 24 – Características do apoio tipo MM08-3500/1260 - 22

No anexo V encontra-se o diagrama de esforços úteis do apoio MM08-3500/1260, bem como o quadro de características do poste

7.8.4.3.2 Dimensionamento do maciço de fundação

O cálculo de maciços de fundação foi realizado, usando o método de Sulzberger recomendado no RSLEAT.

Como irão ser utilizados dois postes iremos ter dois maciços, contudo e porque estes se encontram juntos é possível admitir para efeito de cálculos a existência de um único maciço. As dimensões do maciço serão o dobro do maciço normalizado pela EDP para o apoio

MM08-3500-1260 excepto na largura e na profundidade da cova, o qual apresenta as seguintes características:

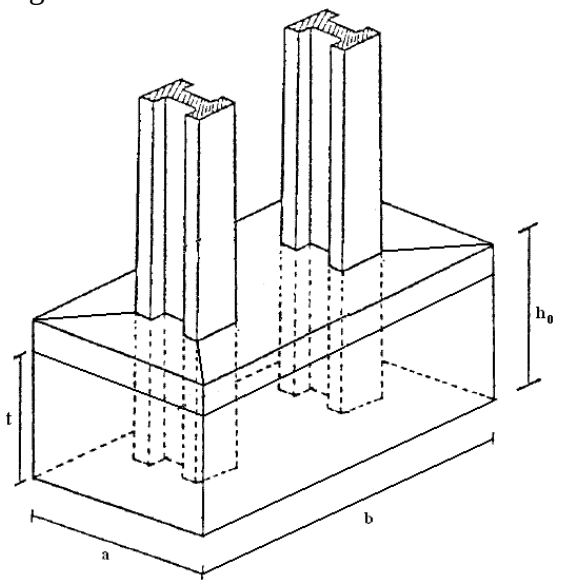


Figura 24 – Maciço a utilizar

Poste			Cova			Volumes	
Tipo	Alt. Total (m)	Peso total (kg)	a (m)	b (m)	h_0 (m)	Escavação (m^3)	Betão (m^3)
MM08-3500-1260	22	8500	1,45	1,85	2,5	6,7	6,1

Os valores apresentados para as covas e maciços são válidos apenas para terrenos com coeficientes de compressibilidade compreendidos de 7 daN/cm^3
Considera-se uma pressão admissível no terreno do fundo da fundação de 300 kPa

Tabela 25 – Maciço do apoio MM08-3500-1260

Características do apoio:

Altura total (ht)	22 m
Altura útil (hu)	19,5 m
Jorramento A (jA)	14 mm/m
Jorramento B (jB)	10 mm/m
Dimensão no topo A0	410 mm
Dimensão no topo B0	270 mm
Dimensão do lado maior da secção à cota h	$Ah = A0 + 2 \times jA \times h$
Dimensão do lado maior da secção à cota h	$Bh = B0 + 2 \times jB \times h$

Tabela 26 – Dimensões do apoio MM08-3500-1260

Como o método de cálculo já foi demonstrado anteriormente apenas serão apresentados os resultados.

Resistência ao enterramento

Pesos:

Peso do maciço: $P_M = a \times b \times h_0 \times 2400 = 2{,}9 \times 3{,}7 \times 2{,}5 \times 2400 = 64380\ daN$

Peso do apoio: $P_A = (8500 \times 2) = 17000\ daN$

Peso dos condutores: $P_C = 6 \times w \times \left(\frac{S_1}{2}\right)$

$$= 6 \times 0{,}5473 \times \left(\frac{132{,}37}{2}\right)$$

$$= 2173{,}4\ daN$$

Peso das travessas e aparelhagem: $P_T = 245\ daN$

Peso das cadeias de isoladores: $P_I = 8 \times 25 = 200\ daN$

Peso total: $\mathrm{P_t} = 82042{,}3\ \mathrm{daN}$

$R_e = 15{,}29\ kPa < 300\ kPa$

Momento resistente devido ao encastramento: $M_S = 100665\ daN$

Momento resistente devido à reacção do fundo da cova: $M_b = 59480\ daN$

Momento resistente total: $M_R = M_s + M_b = 100665 + 59480 = 160145\ daN$

Momento derrubante

Apoio: $M_d^{Apoio} = 16556{,}4\ daN.m$

Condutores: $M_d^{Condutores} = 5572{,}33\ daN$

Cadeias de Isoladores: $M_d^{Isoladores} = 498{,}8\ daN.m$

Travessas: O momento derrubante das travessas é calculado com o vento a incidir sobre a quina da travessa. Dado o baixo valor podemos considerá-lo nulo.

Com o cálculo de todos os momentos derrubantes é possível obter o momento derrubante total:

$$
\begin{aligned}
M_D &= M_d^{Apoio} + M_d^{Condutores} + M_d^{Isoladores} + M_d^{Travessas} \\
&= 16556{,}4 + 5572{,}33 + 498{,}8 + 0 \\
&= 22627{,}5\, daN
\end{aligned}
$$

O maciço garante a estabilidade e os esforços caso o momento resistente for maior que o momento derrubante, ou seja, o coeficiente de segurança (S) for maior que 1:

$$M_R > M_D \Rightarrow 160145 > 22627{,}5$$

$$S = \frac{M_R}{M_D} = \frac{160145}{22637{,}5} = 7{,}07 > 1$$

Deste modo verifica-se a estabilidade do maciço. O momento resistente é muito superior ao momento derrubante o que implicará um coeficiente de segurança também elevado. Perante este valor de segurança tão elevado podia-se proceder à diminuição do maciço, contudo e dado que o apoio se encontra à beira de uma descida opta-se por uma questão de segurança por colocar um maciço sobredimensionado. O maciço a instalar será constituído pelo conjunto de dois maciços normalizados, anteriormente referidos.

7.9 Estabilidade das cadeias de suspensão

Sob a acção do vento, os cabos condutores transmitem às cadeias de isoladores esforços horizontais, que as deslocam da sua posição vertical inclinando-as. O seu deslocamento é atenuado pelas forças verticais, constituídas pelo peso do cabo, isoladores e ferragens. É na posição de máximo deslocamento que as distâncias entre as partes em tensão e a estrutura devem ser mantidas pelo menos às distâncias mínimas regulamentares, para resistirem às solicitações eléctricas esperadas.

A distância mínima regulamentar já foi calculada anteriormente e o seu valor é de 0,2 metros. Sabendo que o comprimento da cadeia de isoladores é possível determinar o ângulo máximo de inclinação das cadeias, tal como demonstra a figura 25.

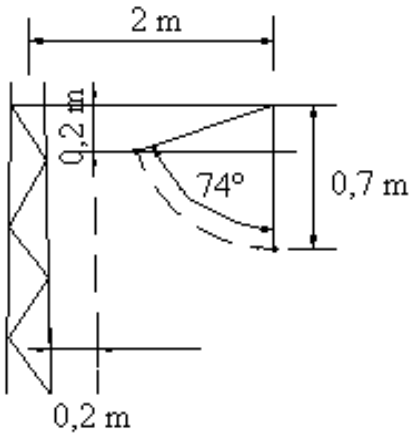


Figura 25 – Cálculo do ângulo máximo

O ângulo máximo de inclinação das cadeias é de 74º, contudo é usual usar para linhas de 30 kV um ângulo de 75º

Uma vez que a manutenção das distâncias de segurança depende dos chamados ângulos de balanço das cadeias de isoladores, que são função das relações vão de vento / vão de peso, será necessário verificar para cada estrutura o ângulo de desvio das cadeias.

Pela figura 26, podemos verificar que o ângulo de desvio das cadeias de isoladores da sua posição vertical pode ser expresso por:

$$tg\gamma = \frac{\sum F_v}{\sum F_h}$$

Em que,

$\sum F_v$, é a soma das forças verticais aplicadas ao ponto de suspensão do condutor, na cadeia de isoladores;

$\sum F_h$, é a soma das forças horizontais aplicadas ao ponto de suspensão dos condutor, na cadeia de isoladores.

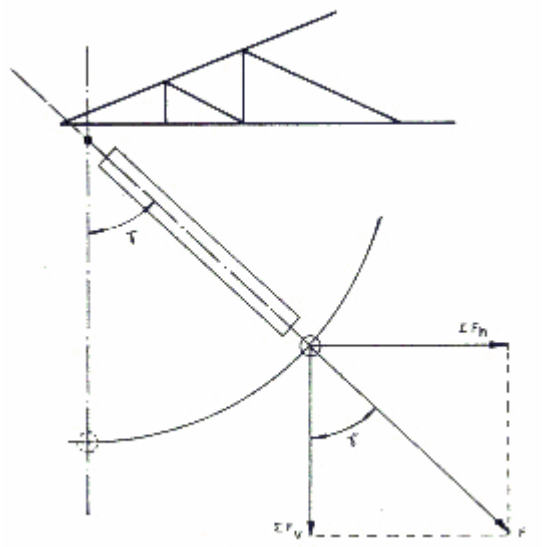


Figura 26 – Cadeias de isoladores inclinadas sob a acção do vento

Dada a extensão da linha e consequente extensão de cálculo apenas demonstra-se para cálculo o apoio nº 28.

As forças verticais aplicadas ao ponto de suspensão do condutor, nas cadeia de isoladores são as forças resultantes do peso do condutor e do peso da cadeia. Uma vez que a cadeia de isoladores é articulada na parte superior iremos considerar que só actua metade do peso na parte inferior. Deste modo:

Condutores: $P_C = 1 \times 0{,}5473 \times \left(\frac{285+349}{2}\right) + 1 \times 0{,}744 \times \left(\frac{285+349}{2}\right) = 409{,}34\ daN$

Isoladores: $P = \frac{2{,}5}{2} = 1{,}25\ daN$

Total: $\sum F_v = 409{,}24 + 1{,}25 = 410{,}59\ daN$

As forças horizontais aplicadas ao ponto de suspensão do condutor na cadeia de isoladores são as forças devidas à pressão do vento sobre o condutor e sobre a cadeia de isoladores. O efeito do vento sobre a cadeia de isoladores pode ser calculado considerando-se metade do valora da pressão do vento. Deste modo:

Condutores: $F_{vento} = 1 \times 0{,}734 \times \left(\frac{285+349}{2}\right) = 233\ daN$

Isoladores: $F_{vento} = \frac{30}{2} = 15\ daN$

Total: $\sum F_h = 233 + 15 = 248\ daN$

Aplicando a expressão acima mencionada para o cálculo do ângulo de desvio das cadeias:

$$tg\gamma = \frac{410{,}59}{248} \Leftrightarrow \gamma = 58{,}87^{o}$$

O valor calculado é muito inferior ao valor máximo de 75º, que foi estipulado anteriormente, dai que está verificada a estabilidade das cadeias de isoladores no apoio número 28.

Dada a limitação de páginas e a extensão da linha e consequente extensão de resultados, serão apresentados em anexo os resultados obtidos e pelo programa de cálculo automático de linhas aéreas de transmissão de energia (Clinhas).

7.10 Amortecedores

Considera-se aqui os problemas de fadiga causada por vibrações eólicas sobre os fios dos cabos, uma vez que este problema não se coloca em relação aos apoios (estes têm uma frequência própria de vibração muito baixa). Apesar das conhecidas características redutoras de danos de fadiga dos cabos condutores associadas ao uso de pinças de suspensão AGS, tanto estes como os cabos de guarda estão sujeitos a regimes de vibrações eólicas, que exigem a adopção de sistemas especiais de amortecimento das mesmas. Alguns factores determinam o comportamento dos cabos nestas circunstâncias:

- Características de inércia (massa) e de elasticidade;
- Tensão mecânica de esticamento (normalmente referenciada ao EDS (Every Day Stress));
- Geometria dos vãos;
- Regime dos ventos (geralmente os regimes de rajada que condicionam as tracções máximas sobre os cabos e estruturas; não produzem fadiga nos cabos; são neste caso os regimes lamelares de velocidade baixa-média que produzem vibrações de mais alta frequência que conduzem a problemas de fadiga mecânica; os terrenos de baixa rugosidade oferecem em geral as condições topográficas para a ocorrência deste tipo de ventos);

A modelização matemática deste fenómeno, com a intenção de produzir resultados generalizáveis a todas as circunstâncias de projecto é bastante complexa e uma perspectiva de cálculo caso a caso não é prática. De um modo geral, em função da parametrização das grandezas acima referidas, são projectados amortecedores, cujas características de inércia e elásticas permitem o amortecimento num espectro relativamente largo de frequências na gama das expectáveis. A geometria de colocação no vão é, geralmente, definida através de regras empíricas e de uma análise estatística baseada numa amostragem significativa de ensaios, medidas laboratoriais e experiência de utilização. Situações excepcionais têm, por vezes, de ser objecto de análise e tratamento específico, mas serão, para além de raras, situações de tratamento à posteriori, isto é, por medição e análise do espectro de vibrações num vão concreto já existente.

Tendo em conta a larga experiência na aplicação destes amortecedores e considerando as recomendações dos fabricantes estes serão colocados da seguinte maneira:

- Para vãos superiores a 500 metros, duas unidades por vão e por cabo;
- Para vãos entre os 500 e 300 metros, uma unidade por vão e por cabo.

Os amortecedores que serão colocados são do tipo Stockbridge.

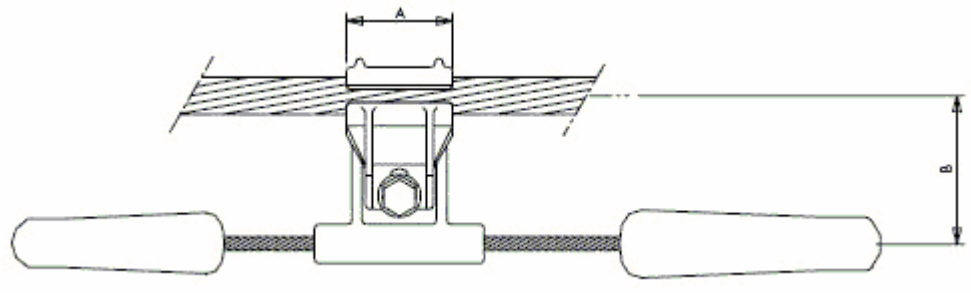


Figura 27 – Amortecedor do tipo Stockbridge, vista frontal

Figura 28 – Amortecedor do tipo Stockbridge

7.11 Balizagem aérea

A balizagem aérea da linha em estudo será do tipo diurna conforme o previsto na Circular da Aeronáutica 1CIA 10/03, de 6 de Maio, intitulada "Obstáculos Artificiais – Limitações e Balizagem", será colocada balizagem diurna nos no vão 45-46.

As esferas serão colocadas com espaçamento de 30m entre si e intercaladas nos dois cabos superiores, tal como demonstra a figura 29.

As esferas a usar serão de cor branca e vermelha ou laranja tal como se encontra na imagem.

Figura 29 – Esfera de balizagem

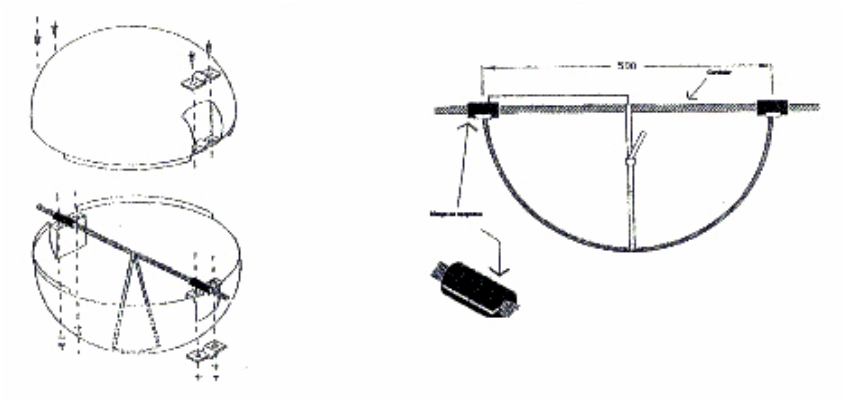


Figura 30 – Esquema de montagem da esfera de balizagem

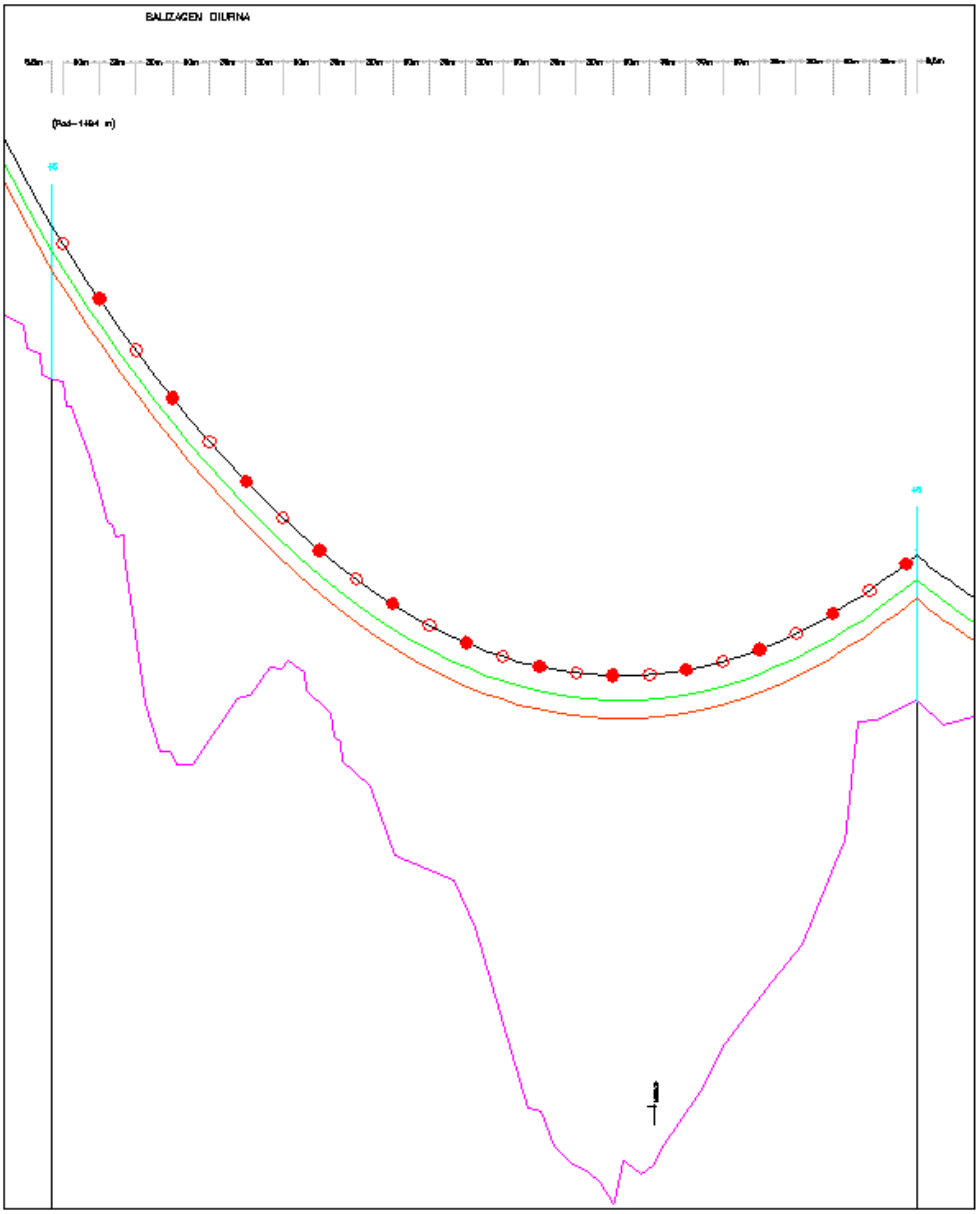


Figura 31 – Vão balizado entre o apoio 45 e o apoio 46

7.12 Conjuntos sinaléticos

Em cada apoio existirá sinalização claramente visível do solo constante de:

- ✓ Chapa de sinalização ou de advertência com o texto "Perigo de morte";
- ✓ Chapa de identificação com o nome (sigla) da linha e o nº de ordem do apoio na linha;
- ✓ Telefone de emergência;
- ✓ Serão ainda equipados os apoios de cinco em cinco, com uma chapa de numeração na cabeça, por forma a permitir identificar o apoio durante as rondas aéreas.

Figura 32 – Conjunto sinalético

8. Licenciamento

De modo geral, o estabelecimento de linhas eléctricas de média tensão carece de licença de estabelecimento pela DGE, conforme estipula o decreto lei nº 446/76, Regulamento de Instalações Eléctricas.

A documentação necessária para o licenciamento respeitando a regulamentação, é disposto da seguinte forma:

- Memória Descritiva e Justificativa;
- Planta geral de localização com a implantação do traçado da linha a estabelecer;
- Planta parcelar e perfil longitudinal, de escala 1/500 na vertical e 1/2500 na horizontal.

O número de exemplares a imprimir serão consoante a necessidade dos intervenientes. No entanto no mínimo, deverá ser impresso três exemplares que se destinam:

- Requisitante;
- DREN – Direcção Regional Economia do Norte (DGE)

9. Montagem

A montagem de uma linha aérea de transmissão de energia está divida em diversas fases.

9.1 Piquetagem

A piquetagem trata-se de sinalizar no terreno por meio de estacas ou marcas, os pontos de implantação dos apoios e o alinhamento que terão de ter. No caso de apoios a metálicos é colocada uma estaca de centro (figura 33) do poste bem como as estacas que se definem a bissectriz do poste. Nesta fase e para o caso dos apoios metálicos é necessário fazer a marcação das covas, marcação essa que é feita recorrendo a um diagrama de marcação covas que é previamente feito recorrendo a software. No anexo IX encontra-se a titulo de exemplo um diagrama de covas para um poste do tipo YDR2E. A marcação é feita no terreno colocando em cada vértice do quadrado que define a fundação uma estaca tal como demonstra a figura 34.

Figura 33 – Estaca de marcação de cova

Figura 34 – Estaca de centro

9.2 Abertura de escavações para maciços dos apoios

Nesta fase e tal como o título refere procede-se à abertura de escavações. Nesta fase e para o caso dos apoios metálicos é necessário ter em atenção o um diagrama de abertura de caboucos. No anexo X encontra-se a titulo de exemplo um diagrama de abertura de caboucos para o poste nº P1 do tipo CWT1 da linha Sines – Portimão3, a 400kv – Troço SSN – P78. Na figura 35 é possível ver a abertura de uma fundação, enquanto na figura 36 é possível ver uma escavação já concluída. Importa referir que as paredes da fundação devem ficar as mais direitas possíveis.

Figura 35 – Abertura de cova

Figura 36 – Aspecto final de uma cova

9.3 Regulação das bases e colocação da armação

Esta fase só se realiza no caso se o apoio a instalar for metálico, tal como o título refere é necessário fazer a regulação das bases, marcação essa que é feita recorrendo a um diagrama de regulação de bases que é previamente feito recorrendo a software. No anexo XI encontra-se a titulo de exemplo um diagrama de regulação de bases para o poste nº 14 do tipo QS5 da linha Sines – Portimão3, a 400kv – Troço SSN – P78. Na imagem 37 é possível ver a base de uma apoio já regulada e fixa por forma a não existir variações aquando da colocação da cofragem e aquando da betonagem.

Figura 37 – Regulação da base

Após a regulação das bases coloca-se a armação de ferro no fundo da escavação, como demonstra a imagem 38. Em algumas fundações é colocada uma armação de ferro até ao topo da fundação como demonstra a figura 39.

Figura 38 - Colocação da armação

Figura 39 - Base com armação até ao topo

9.4 Betonagem dos maciços

Nesta fase e tal como o título refere procede-se à betonagem dos maciços. Na figura 41 é possível ver um maciço já acabado, importa referir que o maciço não poderá ter imperfeições, caso aconteça será necessário a sua correcção.

Figura 40 – Betonagem do maciço

Figura 41 – Aspecto final de um maciço

9.5 Assemblagem, colocação e arvoramento dos apoios

Nesta fase e tratando-se de apoios metálicos é necessário efectuar a assemblagem do posto por módulos para ser posteriormente montados.

Depois de colocados os postes é possível fazer o arvoramento do poste que consiste em colocar as armações no caso dos postes de betão e colocação dos isoladores, roldanas e outro material necessário.

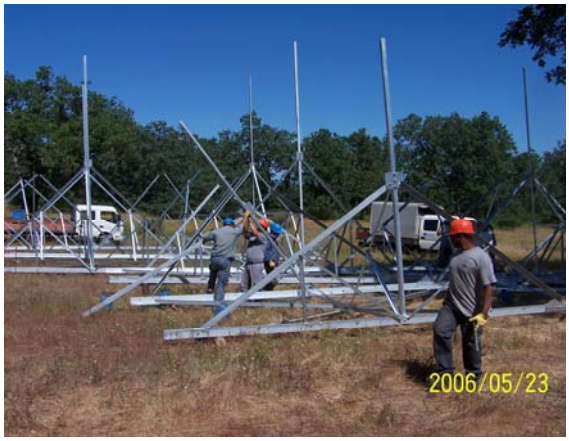


Figura 42 – Assemblagem de um apoio

Figura 43 – Colocação de um apoio

9.6 Desenrolamento dos cabos

Na fase do desenrolamento dos cabos começa-se inicialmente por passar uma corda guia que é transportada pelo solo e transposta para as roldanas que se encontra agarradas às cadeias de isoladores. Após a passagem da corda guia faz a passagem do cabo de reboque com o auxílio da corda guia. Depois de ser ter a corda de reboque é possível o desenrolamento do cabo condutor. O desenrolamento do cabo condutor é uma operação que deve ser feita com o máximo de cuidado para que não se provoque danos cabo, nomeadamente mecânicos e na sua constituição.

Para o desenrolamento do cabo condutor são necessárias duas máquinas um desenrolador e um guincho. O guincho tem como função puxar o cabo de reboque enquanto o desenrolador têm como função controlar a tensão a que está a sair o cabo. Esta operação é realizada estando os dois operadores, quer do guincho quer do desenrolador, em contacto permanente via rádio. O operador do desenrolador é que transmite ordens ao operador do guincho para ele aumentar ou diminuir a tensão de reboque conforme este aumenta ou diminui a tensão no desenrolador.

Figura 44 – Desenrolador

Figura 45 – Guincho

Figura 46 – Bobine de cabo e desenrolador

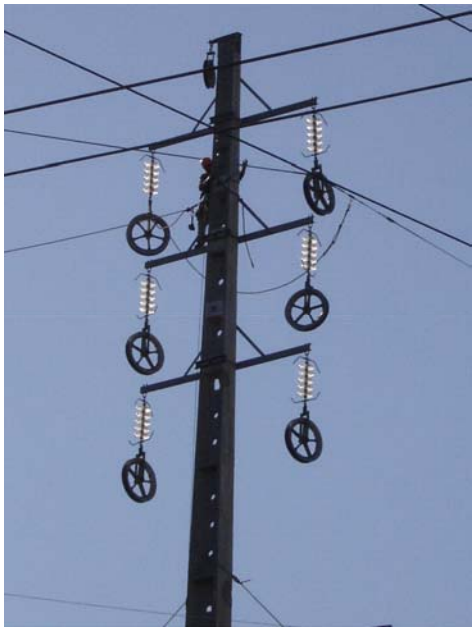


Figura 47 – Apoio com roldanas

9.7 Regulação dos cabos e fixação dos cabos às cadeias de isoladores

A regulação dos cabos é feita através de métodos ópticos. Foram desenvolvidos métodos para o controlo das flechas por processos ópticos. O método mais usado é aquele que apresentarei a seguir, aplicável em vãos nivelados e desnivelados.

Considerando o vão de regulação representado na figura 48, para o qual se conhece o valor da flecha f, nas condições de temperatura no momento da montagem. Para efectuar este trabalho é necessário material topográfico, nomeadamente, uma luneta e um alvo que possam

ser fixados aos apoios. A fixação conveniente permite então que se consiga medir as flechas fazendo tangenciar a parte inferior dos cabos com a linha de visada entre a luneta e o centro do alvo.

Dois processos podem ser empregues como demonstra a figura 48.

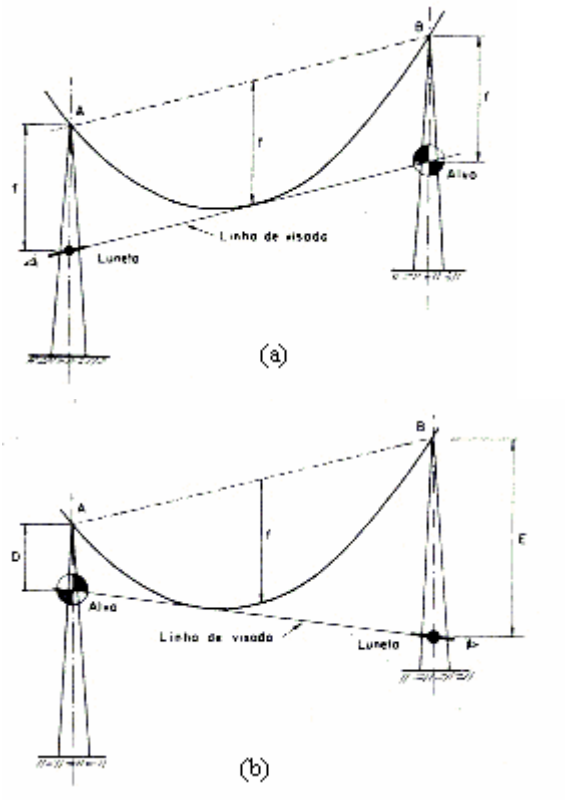


Figura 48 – Método de ajuste óptico de flechas. a) Linha de visada paralela à corda da curva. b) Linha de visada qualquer

1º Método - Fixando-se o alvo e luneta a uma mesma distância vertical dos pontos de suspensão dos cabos sobre a própria estrutura, a linha visada será a paralela à corda da curva. Se escolhermos essa distância igual ao valor da flecha f, quando o operador verificar que os cabos estão tangentes à linha visada, estes estarão tensionados no valor desejado

2º Método – a linha de visada é uma qualquer. Em geral, fixa-se ou 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 com razoável que com razoável aproximação que:

$$f = \left(\frac{\sqrt{D} + \sqrt{E}}{2} \right)^2$$

Da qual podemos obter, se fixarmos um valor para E:

$$D = \left(2\sqrt{f} - \sqrt{E} \right)^2$$

A regulação dos cabos pode ser feita com recurso a dinamómetros especiais. Contudo estes devem ser usados com as devidas precauções, pois, em virtude do atrito inerente das roldanas, os dinamómetros só indicam as tracções no cabo nos pontos próximos ao ponto de tensionamento. Devem ser usados exclusivamente em secções de tensionamento que abranjam um pequeno número de vãos (4). Para secção maiores devem ser usados métodos ópticos.

Depois de se fazer as regulações faz-se a fixação dos condutores às cadeias. As amarrações podem ser feitas por pinças de amarração mecânico ou pinças de amarração por compressão (figura 49). Na amarração por compressão tal como o nome indica a ligação do cabo à pinça é feita por compressão como mostra a figura 50. No caso das amarrações e dado que o cabo é cortado para fazer a fixação, é necessário a colocação de fiadores para fazer a continuação da linha. O ligador do fiador também é feito por compressão como mostra a figura 50.

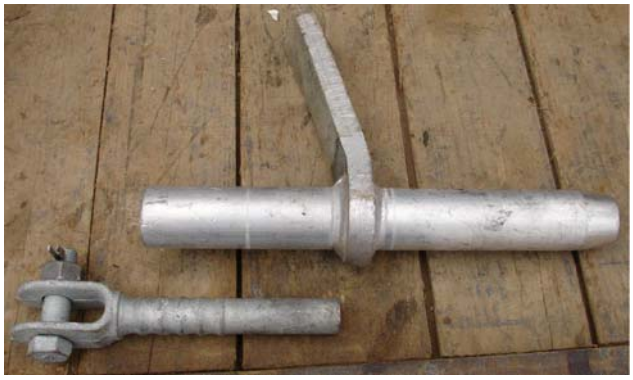


Figura 49 – Pinça de amarração por compressão

Figura 50 – Execução da compressão

10. Plano de segurança e saúde (PSS)

O Plano de Segurança e Saúde (PSS) tem por objectivo principal dar a conhecer:

- os riscos associados ao processo construtivo e aos materiais a aplicar, que não puderam ser evitados na fase de projecto;
- e a organização e gestão da segurança que se pretende ver aplicada na obra que se projecta levar a execução.

Pretende ser um documento dinâmico que deverá ser desenvolvido e especificado para a fase de execução da obra, em conformidade com os meios materiais e humanos que vierem a ser envolvidos e os processos construtivos adoptados, tendo como objectivo a prevenção dos riscos profissionais, no respeito pelos seguintes princípios gerais de prevenção:

- Avaliação dos riscos;
- Eliminação dos riscos;
- Combate dos riscos na origem;

- Organização do trabalho;
- Adaptação do trabalho ao homem;
- Prioridade da protecção colectiva face à individual;
- Informação e formação.

As disposições contidas no PSS não anulam ou modificam as disposições legais em vigor sobre segurança, higiene e saúde no trabalho.

A estrutura do PSS é constituída pelos seguintes capítulos:

- Caracterização da obra;
- Riscos associados ao meio envolvente;
- Fases da obra e programa de execução dos diversos trabalhos;
- Riscos evidenciados e medidas de prevenção;
- Riscos especiais;
- Gestão e organização do estaleiro de apoio;
- Lista de documentos associados e de regulamentação aplicável.

11. Conclusão

A construção de uma linha aérea de transmissão de energia, apesar de ser um processo sistemático com diversas fases que se sucedem, é sem dúvida um desafio novo para o Engenheiro que a projecta.

Tudo começa pelo próprio local, que é diferente da última linha que se projectou, as condições atmosféricas que se alteram, a própria potência a transportar também é diferente, ou seja, tudo é diferente. Perante estes factores as soluções que se encontram também são diferentes.

Ao ser confrontado com esta nova situação é necessário encontrar uma nova solução, que em primeiro respeite todos os regulamentos em vigor e que seja ao mesmo tempo o mais económica possível. Um outro aspecto que surge no projecto de uma linha é a própria escolha do material a usar, isto porque, aquilo que teoricamente se podia utilizar não é possível face às normalizações da EDP. Uma das normalizações impede que se usem postes metálicos com uma determinada altura, dado que para essas alturas a EDP exige a utilização de apoios de betão. Embora os apoios de betão sejam mais baratos, são mais complicados de transportar, nomeadamente quando a linha a construir se encontra em terreno montanhoso. Perante esta situação, a solução é de escolher um apoio metálico mais robusto o que levará a que este esteja sobredimensionado face às forças que suportará. Este facto, conduz ao aumento dos custos da linha, dado que, ao reformular o projecto para tentar optimizar os vãos para que o apoio não fique sobredimensionado, nem sempre se consegue.

Embora todo o trabalho de cálculo do projecto tenha sido desenvolvido manualmente e com o auxílio do Microsoft Office Excel, foi possível utilizar o do programa cálculo automático de linhas aéreas de transmissão de energia (Clinhas).

Os valores dos esforços obtidos no programa são ligeiramente diferentes dos calculados aqui em pormenor. Tal diferença pode dever-se a aproximações nas diversas fases de cálculo ou pela utilização de uma conversão diferente entre unidades (por exemplo kgf e N).

Apesar dos valores do programa serem inferiores, não comprometem de forma alguma a escolha dos apoios, principalmente porque se escolhem com alguma margem de segurança. No caso particular dos apoios metálicos, como o programa soma as forças como se fossem escalares em vez de fazer a soma vectorial, está a fazer a aproximação por excesso que é tida em consideração na escolha do apoio.

Gostaria de salientar que a empresa Mateace S.A. reserva-se ao direito de omitir todo o tipo de informação que assim entenda como necessária.

A exemplo disto, temos a não disponibilização da planta de localização; perfil, planta parcelar e interferências ambas em formato digital.

Qualquer trabalho no âmbito da electrotecnia foi realizado com base na regulamentação e nas especificações técnicas em vigor, não esquecendo as boas regras da arte.

A nível pessoal considero que este estágio foi bastante enriquecedor e importante, na medida em que nos permitiu consolidar diversos conhecimentos teóricos e práticos que adquiri ao longo do curso.

Por outro lado, considero a oportunidade de estagiar como a minha primeira etapa para integração no mercado trabalho.

Por último, considero que os objectivos traçados para este estágio foram integralmente cumpridos.

12. Bibliografia

- Regulamento de Redes de Distribuição de Alta e Baixa Tensão e Postos de Transformação
  Editora Rei dos livros

- Edição DGE do Regulamento de Segurança de Linhas eléctricas de Alta Tensão
  Direcção Geral de Energia

- Projectos Mecânicos das Linhas Aéreas de Transmissão
  Editora Edgard Blücher
    Rubens Dário Fuchs e Márcio Tadeu de Almeida

- Apontamentos teóricos e práticos da cadeira Concepção de Instalações Eléctricas
  Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
    Professor Pereira da Silva

- Linhas Aéreas de Transmissão de Energia
  Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
    Professor A. Almeida do Vale

- Normas DMA da Empresa EDP – Distribuição S.A

-Guia técnico da Solidal – Condutores Eléctricos S.A.

- Linhas de transporte de Energia
  Edições CETOP
    Luís M. Checa

- Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão até 30 kV
  Direcção Geral de Energia

- Catálogos de diversas empresas