



**Octávio Filipe das Neves Madureira**

**Dissertação para obtenção do grau de Mestre em  
Engenharia Industrial  
Ramo Engenharia Electrotécnica**

**Novembro 2009**

## **Agradecimentos**

Ao longo da realização do presente projecto tive um apoio excepcional de diversas entidades e pessoas que me permitiram ultrapassar as mais diversas dificuldades. A todos eles gostaria de expressar os meus mais sinceros agradecimentos.

Em primeiro lugar, um forte agradecimento à minha orientadora professora Fernanda Resende, pelo esforço, disponibilidade e dedicação.

Ao topógrafo Filipe Ribeiro, pela preciosa colaboração e tempo dispendido.

Aos meus amigos, por todo o apoio e preocupação.

À minha família, especialmente aos meus pais, que sempre me proporcionaram as melhores condições para atingir os meus objectivos, pela compreensão e apoio com que nunca me faltaram.

À Ana Lúcia, pelas palavras de incentivo e motivação nos momentos mais difíceis.

## **Resumo**

O presente relatório realizado no ano lectivo de 2008/2009 insere-se na disciplina de projecto, seminário ou trabalho final de curso do Mestrado em Engenharia Industrial no ramo de Engenharia Electrotécnica do Instituto Politécnico de Bragança e pretende definir de uma forma abrangente as condições a que deve obedecer a o projecto e construção de uma linha aérea de 2ª classe de média tensão, tomando como caso prático o projecto do ramal de ligação do Parque Eólico do Rendeiro à Subestação do Pinhal Novo localizada ao longo dos concelhos da Sertã e Proença-a-nova, distrito de Castelo Branco comum comprimento de 9,5 km e uma capacidade de transporte de 6 MW.

De uma forma geral o presente relatório pode ser dividido em três fases distintas. Na primeira fase, estão descritos os principais materiais e equipamentos utilizados neste tipo de linhas de transporte de energia. Uma segunda fase prende-se com a realização do projecto, tomando como caso prático a linha aérea que interliga a Subestação do Pinhal Novo e o Parque Eólico do Rendeiro, no qual são descritos os métodos de cálculo que permitem o dimensionamento eléctrico e mecânico da linha. E por último e como terceira fase, serão apresentadas as diferentes fases de construção de uma linha aérea.

## **Abstract**

This report conducted in the academic year 2008/2009 is part of the discipline of project seminar or final year project for the Master in Industrial Engineering in the field of Electrical Engineering of the Instituto Politécnico de Bragança and aims to establish in a comprehensive manner the conditions which must conform to the design and construction of overhead, 2nd class medium voltage power line, taking as a case study the design of the main interconnection of Rendeiro Windfarm to the Pinhal Novo Substation, located along the municipalities of Sertã and Proença-a-Nova, in Castelo Branco, with a length of 9.5 km and a transport capacity of 6 MW

This report can be divided into three distinct parts. The first part, describes the main materials and equipments used to build this type of transmission energy. The second part is related with the sizing of the overhead line that connects the Pinhal Novo substation and to the Rendeiro windfarm, describing the calculations methods for booth electrical and mechanical points of view. Finally, in the third part, the several phases of the overhead power line building are presented.

## Índice

Índice.....	1
Lista de figuras.....	4
Lista de tabelas.....	6
Abreviaturas e símbolos.....	7
1. Introdução ao tema.....	8
2. Elementos constituintes de linhas aéreas de média tensão.....	8
2.1. Condutores.....	8
2.2. Apoios.....	9
2.2.1. Classificação de apoios.....	9
2.2.1.1. Apoios de alinhamento.....	9
2.2.1.2. Apoios de ângulo.....	10
2.2.1.3. Apoios de derivação.....	10
2.2.1.4. Apoios fim de linha.....	11
2.2.2. Profundidade de enterramento dos apoios.....	11
2.2.3. Tipos de esforços.....	11
2.2.3.1. Esforços transversais.....	11
2.2.3.2. Esforços longitudinais.....	11
2.2.3.3. Esforços verticais.....	11
2.3. Armações.....	12
2.4. Isoladores e cadeias de isoladores.....	15
2.5. Maciços de fundação.....	17
3. Projecto da linha aérea de média tensão que liga o Parque Eólico de Rendeiro á Subestação de Pinhal Novo	18
3.1. Caracterização do projecto da linha MT.....	19
3.2. Estudo do traçado da linha.....	19
3.3. Levantamento topográfico.....	20
3.4. Cálculo eléctrico.....	22
3.4.1. Tensão de transporte.....	22
3.4.2. Secção transversal dos condutores.....	23
3.4.2.1. Determinação da secção técnica.....	23
3.4.2.2. Determinação da secção económica.....	24
3.4.3. Determinação das perdas de energia.....	25
3.4.4. Determinação da intensidade máxima admissível da corrente de curto-circuito.....	27
3.4.5. Determinação das quedas de tensão.....	28
3.5. Cálculo mecânico.....	32
3.5.1. Tensão máxima de serviço.....	32

3.5.2. Estados atmosféricos .....	33
3.5.2.1. Cálculo da força devida à acção do vento .....	34
3.5.2.2. Coeficiente de sobrecarga.....	37
3.5.2.3. Determinação da tensão de montagem .....	39
3.5.2.4. Vão crítico .....	40
3.5.3. Geometria das linhas.....	42
3.5.3.1. Vãos em patamar .....	42
3.5.3.2. Vãos desnivelados .....	43
3.5.4. Determinação das flechas dos condutores .....	43
3.5.4.1. Tensões e flechas de montagem .....	44
3.5.5. Distâncias regulamentares .....	46
3.5.5.1. Distância ao solo .....	46
3.5.5.2. Distância dos condutores ás árvores .....	47
3.5.5.3. Distância dos condutores a cursos de água não navegáveis .....	47
3.5.5.4. Distância dos condutores a edifícios .....	47
3.5.5.5. Distância dos condutores a obstáculos diversos .....	48
3.5.5.6. Distância entre condutores .....	49
3.5.7. Cadeias de isoladores.....	50
3.5.7.1. Desvio transversal devido a acção do vento .....	50
3.5.8. Verificação da Estabilidade dos Apoios .....	54
3.5.8.1. Apoios de alinhamento .....	55
3.5.8.2. Apoios de ângulo.....	58
3.5.8.3. Apoios de derivação .....	61
3.5.8.4. Apoios de reforço em alinhamento.....	63
3.5.8.5. Apoios de reforço em ângulo .....	66
3.5.8.6. Apoios de reforço em derivação.....	70
3.5.8.7. Apoios de fim de linha .....	75
3.5.8.8. Apoios de linha sem apoios de reforço.....	78
3.5.9. Maciços de fundação .....	78
3.5.9. Amortecedores.....	85
3.5.10. Balizagem aérea.....	86
3.5.11. Conjuntos sinaléticos .....	86
4. Montagem.....	87
4.1. Piquetagem.....	87
4.2. Instalação e preparação .....	87
4.3. Trabalhos topográficos.....	88
4.4. Fundações .....	88
4.4.1. Caboucos .....	89

4.4.2. Montagem e regulação de bases .....	89
4.4.3. Betonagem .....	90
4.4.4. Ligações à terra.....	90
4.4.5. Terraplanagem .....	90
4.5. Postes .....	90
4.5.1. Assemblagem / levantamento e reaperto .....	90
4.6. Cabos.....	92
4.6.1. Desenrolamento .....	92
4.6.2. Regulação .....	93
5. Conclusão .....	95
6. Bibliografia.....	96
7. Anexos.....	96

## Lista de figuras

Figura 1 - Apoio em Alinhamento.....	10
Figura 2 - Apoio em Ângulo .....	10
Figura 3 - Apoio em Derivação.....	10
Figura 4 - Apoio em Fim de Linha.....	11
Figura 5 - Travessa HRFSC .....	13
Figura 6 - Travessa TAN.....	13
Figura 7 - Travessa GAL.....	14
Figura 8 - Travessa GAL.....	14
Figura 9 - Travessa VAN .....	14
Figura 10 - Travessa VAL.....	14
Figura 11 - Travessa GAN .....	15
Figura 12 - Travessa HPT4.....	15
Figura 13 - Cadeia de amarração descendente e ascendente .....	17
Figura 14 - Maciços para apoio de betão e para apoio metálico.....	17
Figura 15 - Distrito de Castelo Branco .....	19
Figura 16 - Estação base do GPS.....	21
Figura 17 - Estação móvel.....	21
Figura 18 - Estação total e Mira .....	21
Figura 19 - Armações troço comum.....	30
Figura 20 - Armações troço simples.....	30
Figura 21 - Secção longitudinal do cabo .....	36
Figura 22 - Forças exercidas sobre o condutor.....	37
Figura 23.1 - Árvore de decisão .....	40
Figura 24.2 - Árvore de decisão aplicada ao projecto .....	41
Figura 25 - Vão em patamar.....	42
Figura 26 - Vão desnivelado.....	43
Figura 27 - Distância dos condutores a edifícios.....	48
Figura 28 - Ângulo máximo admissível das cadeias .....	51
Figura 29 - Forças aplicadas às cadeias de suspensão.....	51
Figura 30 - Linhas de derivação no apoio n°8 .....	72
Figura 31 - Apoio de betão e respectivo maciço .....	79
Figura 32 - Coeficiente de segurança .....	81
Figura 33 - Apoio de betão MM04/2250-22 e respectivo maciço .....	82
Figura 34 - Amortecedor stockbridge.....	86
Figura 35 - Esferas de balizagem .....	86
Figura 36 - Conjuntos sinaléticos .....	87
Figura 37 - Piquetagem .....	87
Figura 38 - Reconhecimento do traçado e implantação do estaleiro .....	88

Figura 39 - Abertura de covas .....	89
Figura 40 - Montagem e regulação de bases .....	89
Figura 41 - Betonagem .....	90
Figura 42 - Assemblagem de apoio metálico .....	91
Figura 43 - Levantamento de apoio metálico .....	91
Figura 44 - Colocação de apoio de betão.....	91
Figura 45 - Protecções utilizadas nas linhas aéreas .....	92
Figura 46 - Desenrolamento de cabos .....	93
Figura 47 - Métodos de regulação de cabos .....	94
Figura 48 - Pinça de compressão e execução da compressão .....	95

## Lista de tabelas

Tabela 1 - Armações.....	13
Tabela 2 - Isolador U70BS .....	16
Tabela 3 - Densidade de corrente .....	24
Tabela 4 - Coeficiente de variação da resistência com a temperatura .....	26
Tabela 5 - Constante material condutor.....	27
Tabela 6 - Coeficiente de temperatura.....	28
Tabela 7 - Estados atmosféricos .....	34
Tabela 8 - Pressão dinâmica do vento .....	35
Tabela 9 - Coeficiente de forma .....	35
Tabela 10 - Parâmetros para cálculo da tensão de montagem .....	45
Tabela 11 - Parâmetros para cálculo da distância mínima entre condutores .....	49
Tabela 12 - Parâmetros para cálculo da estabilidade das cadeias .....	53
Tabela 13 - Parâmetros para cálculo da estabilidade dos apoios .....	55
Tabela 14 - Solicitações de apoio em alinhamento.....	56
Tabela 15 - Solicitações de apoio em ângulo .....	59
Tabela 16 - Solicitações de apoio em derivação.....	63
Tabela 17 - Solicitações de apoio em reforço alinhamento .....	65
Tabela 18 - Solicitações de apoio em reforço ângulo.....	67
Tabela 19 - Características apoio MM04/2250-22 .....	82
Tabela 20 - Parâmetros para cálculo da verificação de estabilidade dos maciços .....	83

## **Abreviaturas e símbolos**

R.S.L.E.A.T. - Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão

M.A.T. - Muito Alta Tensão

A.T. - Alta Tensão

M.T. - Média Tensão

B.T. - Baixa Tensão

P.E. - Parque Eólico

## 1. Introdução ao tema

O presente relatório pretende definir de uma forma abrangente as condições a que deve obedecer a execução de uma linha aérea de 2ª classe de média tensão, tomando como caso prático o projecto do ramal de ligação do parque eólico do Rendeiro à Subestação do Pinhal Novo.

O relatório pode ser dividido em três fases distintas, na primeira fase, são mencionados os principais elementos constituintes de uma linha aérea de média tensão, a segunda fase prende-se com a realização do projecto, tomando como caso prático a linha aérea que interliga a Subestação do Pinhal Novo e o Parque Eólico do Rendeiro, no qual são descritos os métodos de cálculo que permitem o dimensionamento dos parâmetros eléctricos e mecânicos da linha. Na terceira fase, serão descritas as diferentes fases de construção de uma linha aérea.

Todo o trabalho de projecto foi realizado manualmente, recorrendo apenas ao software de cálculo - Microsoft Office Excel e respeitando na integridade o Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão R.S.L.E.A.T., para além das boas regras de arte.

## 2. Elementos constituintes de linhas aéreas de média tensão

Designa-se por linha, um circuito simples constituído por um certo número de condutores adequado ao tipo de corrente a transmitir (corrente contínua ou corrente alternada). Quando se fala em linha aérea de média tensão trata-se de um circuito de corrente alternada polifásico, estando a linha suportada por postes ao longo do seu trajecto. Como a maior parte do isolamento é feito pelo ar, as linhas aéreas de média tensão são de um modo geral o método mais barato de transmissão de energia a larga escala. Os postes que sustentam os condutores são geralmente metálicos ou de betão, de acordo com os esforços que tem que suportar, e os condutores são geralmente em alumínio, alumínio reforçado com aço ou em cobre. Em seguida são descritos de uma forma mais pormenorizada os elementos utilizados com mais frequência nas linhas de transmissão de energia em média tensão, ou seja, dos condutores, apoios, armações, isoladores e maciços de fundação.

### 2.1. Condutores

Actualmente a maioria das linhas aéreas de média tensão utilizam condutores nus multifilares em alumínio-aço, escolhidos em detrimento dos condutores em cobre devido às inúmeras vantagens. Relativamente aos condutores em cobre, com resistência e perdas similares, verifica-se que os condutores em alumínio-aço apresentam as seguintes vantagens:

- Um maior diâmetro, o que permite reduzir o *efeito de coroa*;
- Uma maior resistência mecânica, o que os torna mais leves, permitindo reduzir as flechas, que desta forma possibilita a redução de altura dos apoios a empregar e aumentar os vãos reduzindo assim o número de apoios, isoladores e armações.

Os condutores em alumínio-aço são constituídos por uma alma em aço galvanizado, de um ou mais fios, envolvida por duas ou três camadas sucessivas de fios de alumínio todos eles enrolados em hélice. O simples facto de serem condutores multifilares já constitui uma vantagem em relação aos condutores unifilares pois os

condutores multifilares são mais flexíveis, logo, mais fáceis de manobrar. Dado que a distribuição de energia eléctrica é feita em corrente alternada a passagem da corrente é assegurada exclusivamente pelo alumínio, que se encontra na superfície do condutor, enquanto que a resistência mecânica é fornecida exclusivamente pelo aço, situado no interior do condutor.

## **2.2. Apoios**

Numa linha aérea um apoio não é constituído somente pelo poste mas também pela sua respectiva fundação e ainda pelos elementos que suportam os condutores (armação e isoladores).

Nas Linhas Aéreas de Média Tensão podem ser utilizados apoios de dois tipos construtivos:

- Betão armado;
- Metálicos.

Actualmente são adoptados preferencialmente apoios de betão, pois apresentam um custo muito inferior a um apoio metálico, requerem menores dimensões para os respectivos maciços, o que resulta numa área de expropriação menor. Como os maciços representam cerca de 30 % do custo total de uma obra, uma menor dimensão dos maciços resulta numa diminuição do custo global da obra. Os apoios de betão apresentam no entanto algumas desvantagens. Quando o acesso ao local é muito difícil torna-se mais prático utilizar um apoio metálico pois este pode ser transportado e montado por tramos no local. Outra das desvantagens que um apoio de betão apresenta é que a partir dos 22 metros de altura requer um transporte especial com escolta policial, acrescentando mais esses custos ao custo global da obra. A partir de determinada altura e determinados esforços não é possível utilizar apoios de betão, sendo necessário recorrer então a apoios metálicos. Assim, na fase de projecto, nomeadamente na escolha dos apoios devem ser tidos em conta os seguintes factores:

- Local de implantação do apoio;
- Económicos;
- Esforços a que vai estar sujeito;
- Altura do apoio.

### **2.2.1. Classificação de apoios**

De acordo com o disposto no artigo 4.º do R.S.L.E.A.T. os apoios de uma linha aérea podem ser classificados da seguinte forma:

#### **2.2.1.1. Apoios de alinhamento**

Este tipo de apoios correspondem a apoios situados em troços rectilíneos da linha, onde não existam ângulos ou derivações, tal como se pode observar através da figura 1.

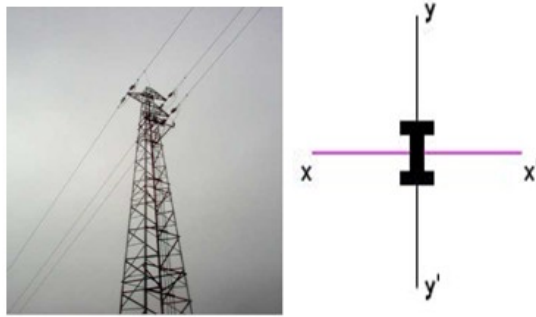


Figura 1 - Apoio em Alinhamento

### 2.2.1.2. Apoios de ângulo

Este tipo de apoios correspondem aos apoios situados num ângulo da linha tal como demonstra a figura 2.

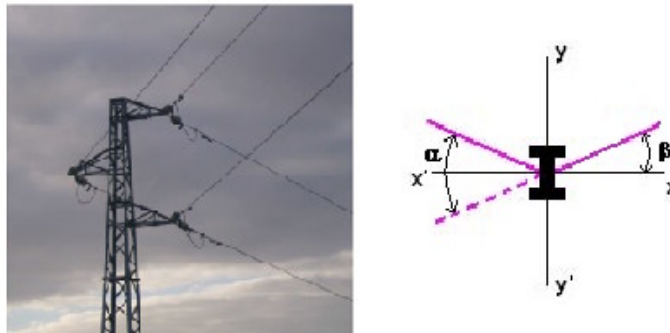


Figura 2 - Apoio em Ângulo

### 2.2.1.3. Apoios de derivação

São apoios nos quais são estabelecidas uma ou mais derivações para outras linhas. Estes apoios podem ser de alinhamento ou ângulo, tal como representado na figura 3.

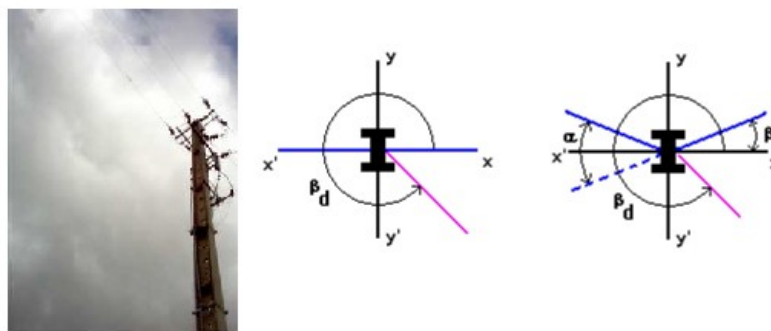


Figura 3 - Apoio em Derivação

#### 2.2.1.4. Apoios fim de linha

São apoios capazes de suportar a totalidade dos esforços que os condutores lhe transmitem de um só lado da linha, localizando-se no início e no fim da linha. Na figura 4 encontra-se representado um esquema deste tipo de apoios

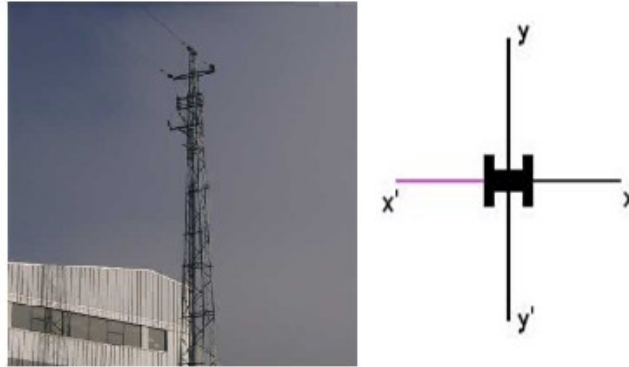


Figura 4 - Apoio em Fim de Linha

#### 2.2.2. Profundidade de enterramento dos apoios

O artigo 73º, no ponto 3, define a profundidade de enterramento,  $h_e$ , em metros, dos apoios através da seguinte expressão:

$$h_e = 0,1H + 0,5 \quad (\text{Equação 2.1})$$

Em que, H, em metros, é a altura total do apoio.

#### 2.2.3. Tipos de esforços

Os apoios de uma linha aérea sofrem solicitações de diversos tipos. Essas solicitações, ou esforços, dependem do tipo de apoio e são, normalmente, classificados da seguinte forma:

##### 2.2.3.1. Esforços transversais

Esforços mecânicos que resultam da acção do vento sobre os apoios, bem como das tracções dos condutores quando estes formam ângulo;

##### 2.2.3.2. Esforços longitudinais

Esforços mecânicos induzidos no apoio no caso deste suportar condutores apenas de um dos lados ou no caso dos vãos adjacentes serem desiguais;

##### 2.2.3.3. Esforços verticais

Esforços sentidos no apoio devido ao peso dos condutores e possíveis aglomerados de gelo sobre estes;

### 2.3. Armações

As armações mais utilizadas são as que possibilitam a disposição dos condutores em esteira horizontal, em esteira vertical, em triângulo ou em galhardete. Atendendo às recomendações para Linhas Aéreas de AT, até 30 KV (MT) - (Edição DGE), deve ser utilizada uma armação em conformidade com a função do apoio. Assim, para apoios de alinhamento, ângulo e reforço é recomendado o uso das seguintes armações:

- HRFSC (Esteira Horizontal reforçada);
- TAL (Triângulo para função de Alinhamento);
- TAN (Triângulo para função de Ângulo);
- GAL (Galhardete para função de Alinhamento);
- GAN (Galhardete para função de Ângulo);
- VAL (Esteira Vertical para função de Alinhamento);
- VAN (Esteira Vertical para função de Ângulo).

Para apoios de fim de linha e derivação é recomendado o uso das seguintes armações:

- HDR (Esteira Horizontal);
- HPT4 (Esteira Horizontal, utilizada em apoios fim de linha albergando PT aéreo).

Em cada tipo de armação existem vários modelos que são diferenciados entre si pelos esforços que conseguem aguentar. Isto é conseguido pelo aumento da espessura dos perfis de ferro. Em muitos casos, as derivações são realizadas a partir de apoios metálicos. Nestes casos a armação em esteira horizontal utilizada para derivações é denominada de —“N” (semelhante a HDR).

O mais usual em pequenas linhas derivadas é a derivação ser feita em esteira horizontal e o restante percurso ser realizado em triângulo, que garante uma boa distância entre condutores. No caso de um vão ser muito extenso, existe a possibilidade de, com ventos fortes, os condutores se tocarem a meio vão (local mais problemático) dando origem a curto-circuitos. Para evitar este problema deve-se utilizar uma armação que garanta uma superior distância entre os condutores, como é o caso da GAN.

Na tabela 1 são apresentadas as principais características técnicas dos vários tipos de armação.

Os diferentes tipos de armações utilizadas em apoios de betão, assim como as suas principais características, encontram-se representadas nas figuras seguintes (figura 5 a 12). É de referir que, construtivamente, as armações do tipo HDR e HRF são semelhantes às do tipo HRFSC e as armações do tipo GAL são semelhantes às do tipo GAN.

Tipo	Comprimento (m)	Comprimento / 2 (m)	Distâncias (m)	
			Ao topo	Topo - Lateral
<b>Postes Metálicos</b>				
P	1,75	0,88	1,30	1,57
N	2,20	1,10	1,60	1,94
M	2,70	1,35	1,90	2,33
G	3,20	1,60	2,20	2,72
G1	3,70	1,85	2,50	3,11
G2	4,20	2,10	2,80	3,50
G3	4,70	2,35	3,10	3,89
G4	5,20	2,60	3,40	4,28
EI	2,20	1,10	1,23	1,65
EII	2,20	1,10	1,23	1,65
EII29	2,20	1,10	1,23	1,65
RI	2,20	1,10	1,20 / 2,00	1,63 / 2,28
RII	2,20	1,10	1,20 / 2,00	1,63 / 2,28
<b>Postes de Betão</b>				
<b>Esteira Horizontal</b>				
HRFSC				
80 / 100 / 120	1,77	0,89	1,18	-
HPT4	1,77	0,89	0,30	-
<b>Triângulo de Base Horizontal</b>				
TAN				
60 / 120	1,77	0,89	1,25	1,53
<b>Galhardete</b>				
GAN				
60 / 120	1,77	0,89	2,00	0,50 (*)
<b>Esteira Vertical</b>				
VAN	-	-	0,88	0,12 (*)
VRF / VFL	-	-	1,00	0,25 (*)

Tabela 1 - Armações

HRFSC (Esteira Horizontal Reforçada)

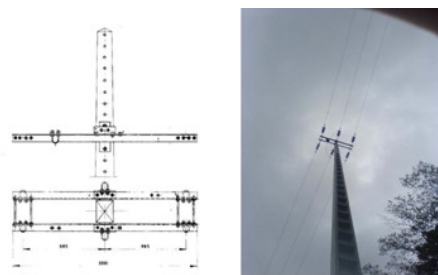


Figura 5 - Travessa HRFSC

TAN (Triângulo para função de Ângulo)

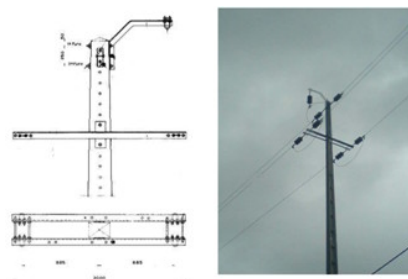


Figura 6 - Travessa TAN

TAL (Triângulo para função de Alinhamento)

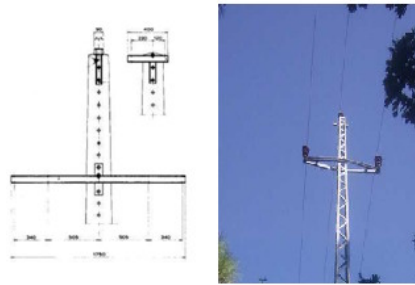


Figura 7 - Travessa GAL

GAL (Galhardete para função de Alinhamento)

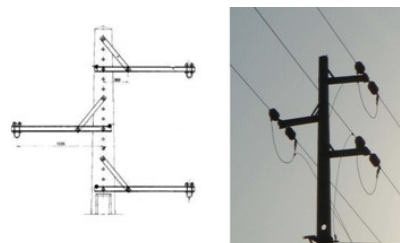


Figura 8 - Travessa GAL

VAN (Esteira Vertical para função de Ângulo)

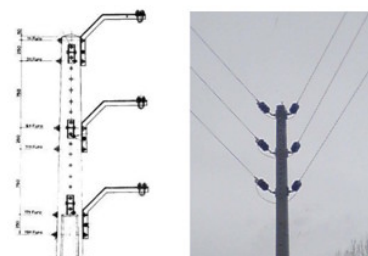


Figura 9 - Travessa VAN

VAL (Esteira Vertical para função de Alinhamento)

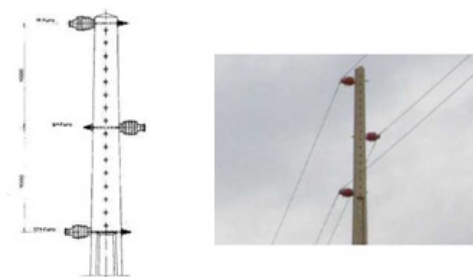


Figura 10 - Travessa VAL

GAN (Galhardete para função de Ângulo)

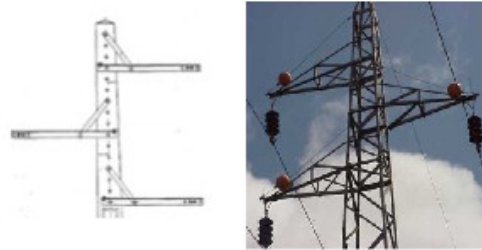


Figura 11 - Travessa GAN

HPT4 (Esteira Horizontal, utilizada em apoios fim de linha albergando PT aéreo)

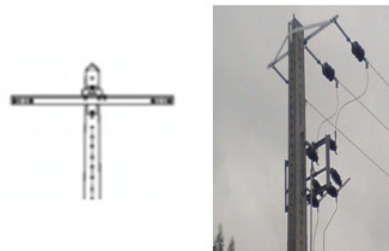


Figura 12 - Travessa HPT4

#### 2.4. Isoladores e cadeias de isoladores

Os isoladores são estruturas em vidro ou em cerâmica que desempenham funções mecânicas e eléctricas. Do ponto de vista mecânico, os isoladores devem fixar os condutores às estruturas do apoio, enquanto que, do ponto de vista eléctrico, têm a funcionalidade de evitar a passagem de corrente do condutor para o apoio ou suporte.

Os isoladores poderão ser rígidos ou em cadeia. Os isoladores rígidos são constituídos por vários isoladores de campânula de porcelana ou vidro, por componentes metálicos e pelo material ligante que as justapõe. Estes isoladores encontram-se rigidamente fixados na armação do apoio, garantindo por si só as condições de isolamento do condutor. São normalmente utilizados em apoios de alinhamento cujos comprimentos dos vãos adjacentes não sejam muito grandes nem a diferença entre eles muito significativa.

Os isoladores em cadeias são fixados de forma articuladamente à armação do apoio, garantindo, por si só, ou associados a outros idênticos em forma de cadeia, as condições de isolamento do condutor. Os isoladores em cadeia, tal como os isoladores rígidos, são constituídos por vários isoladores de campânula de porcelana, vidro ou resina artificial, por componentes metálicos e pelo material ligante que as justapõe podendo constituir cadeias de amarração ou cadeias de suspensão.

Na tabela 2 estão apresentadas as características técnicas de um isolador.

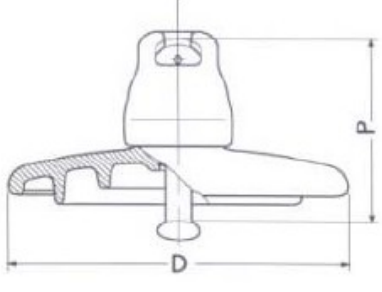

<b>Isolador: U 70 BS</b>	
	
Material	Vidro
Carga de rotura (kN)	70
Carga máxima de trabalho (kN)	40
Passo (P) (mm)	127
Comprimento da linha de fuga (mm)	320
Diâmetro do disco isolante (D) (mm)	255
Massa (Kg)	3,4
Tensão de frequência industrial (kV)	130
Tensão suportável ao choque (kV)	100
Tensão suportável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

Tabela 2 - Isolador U70BS

As cadeias de suspensão correspondem a cadeias verticais ou em “V” onde os condutores das linhas se encontram suspensos. As cadeias de amarração correspondem a cadeias horizontais, podendo ser ascendentes ou descendentes conforme a colocação das linhas. Estas poderão ainda ser simples (AS), constituídas nas linhas aéreas de MT, simples reforçadas (ASR), constituídas por três isoladores ou com hastes (ASH) por forma a poder quebrar os isolamento. As cadeias de amarração devem ser usadas nas situações seguintes:

- No início e fim de linhas;
- Quando se pretende variar a tensão;
- Aquando da existência de ângulos não reduzidos.

Relativamente às cadeias de suspensão, estas podem ser usadas em:

- Apoios de alinhamento desde que a armação seja em galhardete;
- Apoios em que a armação seja em triângulo.

As cadeias podem ser ascendentes ou descendente, em função do posicionamento dos condutores. Assim, as cadeias deverão posicionar-se no sentido ascendente sempre que os condutores se situem numa posição superior ao do topo do poste e na posição descendente, em situação contrária, tal como pode observar através da figura 13. Estas disposições têm por finalidade garantir que não ocorre acumulação de água na campânula.



Figura 13 - Cadeia de amarração descendente e ascendente

## 2.5. Maciços de fundação

Os maciços têm como função transmitir ao solo os esforços resultantes do seu peso próprio e das forças que lhe estão aplicadas, nomeadamente:

- Tracção
- Acção do vento
- Peso

Aquando do dimensionamento dos apoios será necessário também dimensionar convenientemente os maciços de fundação de modo a que, sob efeito das solicitações máximas a que forem sujeitos, não se verifiquem aumentos perigosos das flechas dos condutores e não se dê o derrubamento dos apoios. Na figura 14 encontram-se representados maciços para apoios de betão e apoios metálicos.

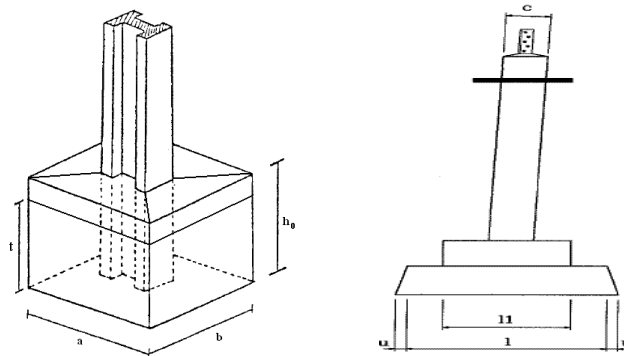


Figura 14 - Maciços para apoio de betão e para apoio metálico

Os cálculos a efectuar não têm como principal objectivo obter as dimensões dos maciços, mas sim verificar a estabilidade dos maciços com dimensões já pré-definidas pelos fabricantes. No entanto a implementação dos maciços de fundação deverá ter em conta determinados critérios, sendo eles:

- A natureza dos terrenos;
- A função do apoio;
- Os esforços envolvidos;
- A altura do apoio.

### **3. Projecto da linha aérea de média tensão que liga o Parque Eólico de Rendeiro á Subestação de Pinhal Novo**

Ao longo da elaboração de um projecto é necessário analisar e satisfazer diferentes aspectos e condições sem os quais a viabilidade dos mesmos se tornaria impossível. Entre as várias questões a ter em conta, é conveniente salientar as seguintes:

- Condições técnicas, relacionadas nomeadamente com os limites impostos pelos equipamentos, tais como os esforços máximos a serem aplicados aos apoios e aos condutores, os limites impostos para as quedas de tensão, os níveis de aquecimento, as perdas de energia e os rendimentos;
- Condições de segurança, especialmente relacionadas com afastamentos entre condutores, entre condutores e objectos próximos da linha, entre condutores e o solo e afastamento entre condutores e outras linhas. Essas distâncias não deverão ser inferiores às estipuladas no Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (Decreto Regulamentar n.º 1/92 de 18/2/92);
- Condições económicas, procurando-se, face às diferentes possibilidades de concepção, minimizar os encargos financeiros inerentes à construção da linha de transmissão de energia eléctrica (matérias primas, mão de obra);
- Condições burocráticas relacionadas com o traçado da linha eléctrica, envolvendo os pedidos de autorização aos proprietários dos terrenos para colocação dos apoios, sendo que estes serão indemnizadas e ressarcidos monetariamente por eventuais danos causados a construção e exploração da linha;
- Condições ambientais relativas à inserção da instalação no meio ambiente e sua preservação. Dependendo da fauna e flora existente no local de inserção da linha eléctrica esta estará sujeita ao cumprimento de um conjunto de disposições regulamentares, como por exemplo, o disso o impedimento do corte de árvores de fruto e outras árvores protegidas tais com carvalho, sobreiros, entre outras;

O projecto de uma linha aérea de média tensão engloba várias fases. A primeira fase consiste na elaboração do perfil e da planta parcelar do traçado da linha. Por sua vez esta fase engloba três tarefas:

- Selecção do traçado,
- Acordo com os proprietários dos terrenos onde serão instalados os apoios quanto a possíveis indemnizações;
- Realização do levantamento topográfico.

Tendo em conta que as questões relacionadas com as indemnizações aos proprietários não são relevantes sob o ponto de vista do dimensionamento técnico de uma linha aérea de média tensão, neste projecto serão abordadas as questões relacionadas com a selecção do traçado da linha e com a realização do levantamento topográfico.

Assim, nas secções 3.2 e 3.3, respectivamente, encontra-se uma descrição pormenorizada destas questões, tendo por base a caracterização do projecto apresentado na secção 3.1.

Uma vez caracterizado o perfil da linha, procede-se à realização dos cálculos mecânicos e eléctricos. As questões relacionadas com estes cálculos são abordadas nas secções 3.4 e 3.5, respectivamente.

### 3.1. Caracterização do projecto da linha MT

A linha a projectar fará a interligação da Subestação do Pinhal Novo ao Parque Eólico do Rendeiro, propriedade da Generventos do Pinhal Energias Renováveis, localizada ao longo dos concelhos da Sertã e Proença-a-Nova, no distrito de Castelo Branco, tal como se pode observar através da figura 15. A linha a projectar terá um nível de tensão de 30 kV, um comprimento de 9,5 km e uma capacidade que permita o transporte da energia produzida pelo parque, cuja potência instalada é de 6 MW.



Figura 15 - Distrito de Castelo Branco

### 3.2. Estudo do traçado da linha

Sendo fornecidos os pontos que correspondem à extremidade de emissão e recepção da linha a projectar, pode começar-se a delinear o traçado da linha. Para a escolha do traçado ideal, deverão ser consultados todos os elementos topográficos das zonas a atravessar, de forma a obter-se uma ideia clara das características do terreno e o conhecimento, tão exacto quanto possível, de quaisquer outros elementos que de algum modo possam condicionar a realização do projecto, tais como:

- Relevo,
- Vias de comunicação existentes,
- Cursos de água,
- Florestas ou plantações,
- Aglomerados habitacionais,
- Linhas e cabos telefónicos,
- Linhas de transporte ou distribuição de energia já existentes.

No estabelecimento do traçado da linha deve ter-se em conta o disposto no artigo 5º e 6º do R.S.L.E.A.T. e ter em especial atenção que é proibida a passagem de linhas sobre escolas, recintos desportivos, estabelecimentos militares, antenas e refinarias.

Para além das condicionantes mencionadas, deve ter-se também em consideração os princípios gerais de orientação, em termos de facilidade construtiva, tais como:

- Acessos para instalação dos apoios;
- Limitação ao número e valor dos ângulos;
- Delimitação de vãos e apoios ao longo do perfil traçado;

Obedecendo a estes princípios gerais orientadores, o traçado deverá, sempre que possível, ser constituído por alinhamentos rectos e reduzir ao mínimo o número de cruzamentos. No entanto deve respeitar-se, na medida do possível o património cultural, estético e científico da paisagem, bem como reduzir o impacto dos prejuízos causados às propriedades particulares afectadas no decorrer dos trabalhos de construção da linha.

Deverá estabelecer-se ao longo da linha uma faixa de serviço com uma largura de 5 m, dividida ao meio pelo eixo da linha, na qual se efectuará o corte e decote de árvores necessários para tornar possível a sua montagem e conservação. Para o caso das linhas de 2ª classe, como é o caso das linhas de 30 kV, e com vista a garantir a segurança de exploração das linhas, a zona de protecção terá a largura máxima de 15 m. No caso de o traçado da linha atravessar locais contendo pinheiros, eucaliptos ou árvores de crescimento rápido, estas podem ser abatidas. No entanto, segundo as recomendações do R.S.L.E.A.T., Artigo 28º, recomenda-se evitar, sempre que possível o corte de árvores de fruto e de crescimento lento (carvalhos, sobreiros, etc.) que, pelo seu tipo de exploração, não são geralmente abatíveis, aspecto esse que deve ser considerado na elaboração do projecto da linha.

Após a elaboração de um primeiro traçado, é realizado um percorrido 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).

De posse dos elementos mencionados e de outros, como sejam o coeficiente de compressibilidade dos terrenos a atravessar e o grau de poluição ambiente, far-se-á a escolha do traçado e a sua marcação em Carta, à Escala 1:25 000. Estudado e reconhecido o traçado da linha, proceder-se-á ao seu levantamento topográfico, sinalizando entretanto no terreno, por meio de estacas ou marcas, os alinhamentos rectos escolhidos.

### **3.3. 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 não advenham erros significativos pelo facto de considerar que o declive entre eles é constante.

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.

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 fiquem referenciados a esta. 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, que ao ser colocada num determinado ponto lê as coordenadas do mesmo e de seguida o utilizador atribui um nome para esse ponto. Estes dois tipos de estações podem ser visualizadas através das figuras 16 e 17, respectivamente.



Figura 16 - Estação base do GPS



Figura 17 - Estação móvel

Para se determinar a altura de um determinado obstáculo (árvore, linha BT, etc), usa-se uma estação total. Quando não é possível a utilização do GPS, o levantamento topográfico é feito utilizando a estação total e uma mira, tal como se pode observar através da figura 18.



Figura 18 - Estação total e Mira

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 de modo a proceder ao registo da cota e da distância desse ponto em relação à estação. É necessário ter em consideração que 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 necessária a mudança de estação. Quando isto acontecer, procede-se ao levantamento do ponto onde a estação será instalada a seguir. Após a instalação da 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-se também ao registo dos proprietários dos terrenos por onde a linha passará e à piquetagem do terreno, que consiste em marcar no terreno, através de estacas ou marcas, o local onde os apoios da linha serão instalados.

O traçado escolhido para este projecto encontra-se representado na planta cartográfica apresentada no Anexo II. Este traçado permite-nos construir um troço de linha comum à linha que liga o PE do Fundeiro ao Parque Eólico do Rendeiro/ Figueiredo, isto entre o PE Rendeiro/ Figueiredo e o Apoio número 8, permitindo-nos assim:

- Minimizar o impacto ambiental, uma vez que apenas necessitarmos de um corredor;
- Minimizar o aspecto económico, uma vez reduzirmos o número de apoios.

### 3.4. Cálculo eléctrico

O procedimento relativo ao cálculo eléctrico envolve as seguintes tarefas:

- Cálculo da intensidade de corrente de serviço;
- Cálculo das quedas de tensão;
- Cálculo das perdas de energia.

O cálculo eléctrico tem como objectivo a determinação da tensão nominal da linha e da secção transversal dos condutores que a constituem, de forma a assegurar que não sejam excedidas as limitações técnicas impostas pelos condutores, relativamente á intensidade de corrente máxima admissível, à intensidade de corrente de curto-circuito máxima admissível, quedas de tensão, perdas de energia e também a resistência mecânica.

A determinação da tensão de transporte é apresentada na subsecção 3.4.1 e o calculo da secção transversal dos condutores é observado na subsecção 3.4.2.

#### 3.4.1. 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 relativos a 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:

$$U_c = 5,5 \times \sqrt{\frac{L}{1,6} + \frac{3 \times P_n}{100}} \quad (\text{Equação 3.1})$$

Em que,

- $U_c$  é a tensão composta mais económica (kV);
- $P_n$  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 (equação 3.1), para as linhas aéreas de distribuição de comprimento inferior a 30 km sugere-se a utilização da expressão 3.2.

$$U_c = 0,25 \times \sqrt{P_n} \quad (\text{Equação 3.2})$$

Em que,

- $U_c$  é a tensão composta mais económica (kV);
- $P_n$  é a potência total de transporte (kW);

A aplicação da equação 3.2 ao caso da linha aérea de interligação do parque eólico do Rendeiro á subestação de Pinhal Novo, resulta numa tensão de transporte de:

$$U_c = 0,25 \times \sqrt{6 \times 10^3}$$

$$U_c = 19,36 \text{ kV}$$

No entanto, dado que a linha a instalar irá ligar a uma subestação cuja tensão de recepção é de 30 kV, correspondendo a uma tensão normalizada pela EDP, a tensão da linha será de 30 kV.

### 3.4.2. Secção transversal dos condutores

#### 3.4.2.1. 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. A expressão dada pela equação 3.3 permite determinar o valor da intensidade de corrente de serviço ( $I_s$ ) que circula nos condutores de uma linha de distribuição de energia eléctrica:

$$I_s = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi} \quad (A) \quad (\text{Equação 3.3})$$

Em que,

- $P_n$  é a potência total de transporte (kW);
- $U$  é a tensão composta mais económica (kV);
- $\cos \varphi$  é o factor de potência da linha.

A aplicação da equação 3.3 ao cálculo da intensidade da corrente de serviço para a linha aérea de interligação do parque eólico do Rendeiro á subestação de Pinhal Novo, considerando um factor de potência 0.9, valor típico nas redes MT, resulta,

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

$$I_s = \frac{P_n}{\sqrt{3} \times U \times \cos \varphi} = \frac{6 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 30 \times 0,9} = 128,3 \text{ A}$$

Com base nas secções normalizadas pela EDP o cabo mais próximo da secção técnica é o de Alumínio - Aço de 90 mm<sup>2</sup>.

### 3.4.2.2. Determinação da secção económica

Embora a secção mínima calculada anteriormente, de maneira a satisfazer as diferentes condições técnicas de funcionamento (aquecimento em regime normal e em caso de curto-circuito e queda de tensão), não corresponde necessariamente à secção que conduz à melhor solução no plano económico.

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

$$Secção\ econ\ omica = \frac{I}{\delta_{EC}} \quad (mm^2) \quad (Equação\ 3.4)$$

Em que,

- I é a intensidade em regime normal (A);
- $\delta_{EC}$  é a densidade de corrente económica (A/mm<sup>2</sup>)

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 os valores são apresentados na tabela 3.

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 3 - Densidade de corrente

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<sup>2</sup> para uma linha de 30 kV. Conhecendo já a intensidade em regime normal é possível calcular a secção económica através da aplicação da equação 3.4.

$$\text{Secção económica} = \frac{I}{\delta_{EC}} = \frac{128,3}{0,9} = 142,56 \text{ mm}^2$$

$$\text{Secção económica} = 142,56 \text{ mm}^2$$

Tal como foi mencionado na subsecção 3.4.2.1. o cabo mais próximo da secção técnica é o de Alumínio - Aço de 90 mm<sup>2</sup>. No entanto o cabo PARTRIDGE 160 mm<sup>2</sup> é o mais próximo da secção económica, pelo que foi o cabo seleccionado para o presente projecto. Para além de constituir a melhor solução do ponto de vista económico, do ponto de vista técnico é uma solução menos limitativa, na medida em que permite o aumento da potência instalada no parque eólico de Rendeiro.

Sendo assim, o cabo normalizado PARTRIDGE 160 (136-AL1/22-ST1A) constitui a solução mais adequada e será, portanto, a solução utilizar.

As características técnicas deste cabo são apresentadas no Anexo I.

### 3.4.3. Determinação das perdas de energia

As perdas de energia representam as perdas por dissipação térmica associadas à passagem da corrente eléctrica nas linhas e devidas à sua resistência. Assim, de modo a ter uma estimativa das perdas torna-se necessário determinar a resistência linear do condutor utilizado. A resistência, por unidade de comprimento, é fruto do quociente da resistividade e da secção dos condutores que constituem as linhas.

$$R = \frac{\rho}{S} \quad (\Omega / km) \quad (\text{Equação 3.5})$$

O valor da resistividade, que depende da natureza do condutor, é dado para uma temperatura igual à 20°C. Dada a variação da resistividade com a temperatura, no caso da temperatura no local onde se situa a linha ser diferente desse valor, será necessário efectuar uma correcção do valor da resistividade e consequentemente da resistência para essa mesma temperatura. Assim, a resistência, expressa em Ω/km, é dada pela equação 3.6.

$$R = R_{20^{\circ}C} [1 + \alpha_{20^{\circ}C} (\theta_{local} - 20)] \quad (\Omega / km) \quad (\text{Equação 3.6})$$

Onde:

R – Resistência do condutor

R<sub>20°C</sub> - Resistência do condutor a 20°C

α<sub>20°C</sub> - Coeficiente de variação da resistência com a temperatura (°C<sup>-1</sup>)

θ<sub>local</sub> - Temperatura local (°C)

O valor do coeficiente de variação da resistência com a temperatura depende do tipo de material utilizado. A título de exemplo são apresentados na tabela 4, estes coeficientes para o cobre e para o alumínio.

Material	$\alpha_{20^{\circ}\text{C}}$
Cobre	0.00393
Alumínio	0.00403

Tabela 4 - Coeficiente de variação da resistência com a temperatura

Tendo em conta que a temperatura de funcionamento da linha é de 20 °C, o valor da resistência eléctrica máxima do condutor para esta temperatura é obtido através das características técnicas do cabo apresentadas no anexo I. Assim,

$$R_{20^{\circ}\text{C}} = 0,2124 \Omega / \text{km}$$

Uma vez determinado o valor da resistência linear do condutor e da corrente de serviço é possível determinar as perdas de energia numa linha através da equação 3.7.

$$P_{PERDAS} = 3 \times R \times I^2 \quad (\text{W}) \quad (\text{Equação 3.7})$$

Onde:

R (  $\Omega$  ) - Resistência linear (  $\Omega/\text{km}$  )  $\times$  L (km);

I<sub>S</sub> – Intensidade de corrente de serviço (A)

Tendo em conta as características do cabo PARTRIDGE 160 mm<sup>2</sup> o valor da resistência da linha em questão será:

$$R = R_{20^{\circ}\text{C}} \times L = 0,2124 \times 9,07$$

$$R = 1,93 \Omega$$

Logo,

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

$$P_{PERDAS} = 3 \times 1,93 \times 128,3^2$$

$$P_{PERDAS} = 95,31 \text{ kW}$$

Em termos percentuais o valor de perdas é:

$$P_{PERDAS} (\%) = \frac{P_{PERDAS} \times 100}{P_n} \quad (\%)$$

$$P_{PERDAS} (\%) = \frac{95,31 \times 10^3 \times 100}{6 \times 10^6}$$

$$P_{PERDAS} (\%) = 1,59 \%$$

A energia de perdas corresponde a 1,59 % da potência a transportar no caso da potência produzida ser a potência nominal do parque.

#### 3.4.4. Determinação da intensidade máxima admissível da corrente de curto-circuito

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

Para além de considerar que a duração do curto-circuito é suficientemente baixa para que o aquecimento dos condutores seja adiabático, consideram-se também desprezáveis as variações do calor específico e da massa do material condutor com a temperatura. Assim a intensidade máxima da corrente de curto-circuito é dada pela expressão seguinte:

$$I_{max} = \frac{1}{k_1 \times k_2} \frac{S}{\sqrt{t}} \quad (kA) \quad (\text{Equação 3.8})$$

Em que:

$I_{m\acute{a}x}$  - Valor eficaz máximo admissível da corrente de curto – circuito (kA);

S - Secção condutora, que nos cabos de alumínio – aço corresponde à secção do alumínio (mm<sup>2</sup>);

t - Duração do curto – circuito (seg.);

$k_1$  – Constante do material condutor (mm<sup>2</sup>/kA.s<sup>1/2</sup>);

$k_2$  – Coeficiente de temperatura

Na tabela 5 encontram-se especificados os valores de  $k_1$  para alguns materiais condutores utilizados nas linhas aéreas MT.

Material do condutor	$K_1$ (mm <sup>2</sup> /kA)
Cobre	4.419
Alumínio – aço	6.902
Ligas de alumínio	6.902

Tabela 5 - Constante material condutor

O valor da constante  $k_2$  é calculado tendo como base as temperaturas do condutor antes e após a ocorrência do curto-circuito. Assim, considerando uma temperatura inicial do condutor em 50°C e as temperaturas finais

apresentadas na tabela 6, para os diferentes tipos de materiais, foram calculados os valores da constante  $k_2$ , que se encontram apresentados na tabela 6.

É conveniente referir que os valores relativos á temperatura final foram retirados do documento Recomendações para Linhas Aéreas de AT até 30 kV da DGE.

Material do condutor	Temperatura final (°C)	$K_2$ (mm <sup>2</sup> /kA.s <sup>1/2</sup> )
Cobre	170	1.685
Alumínio – aço	160	1.732
Ligas de alumínio	160	1.809

Tabela 6 - Coeficiente de temperatura

No projecto em estudo e tendo em conta a equação 3.8, para um curto-circuito com uma duração de 0.5 segundos o valor eficaz da intensidade máxima admissível da corrente de curto-circuito é:

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

$$I_{max} = \frac{1}{6,902 \times 1,732} \frac{157,2}{\sqrt{0,5}}$$

$$I_{max} = 18,5971 \text{ kA}$$

### 3.4.5. Determinação das quedas de tensão

As linhas aéreas até 30 kV podem considerar-se curtas e funcionando sob tensões moderadas. Justifica-se, por isso, que no cálculo das quedas de tensão se adoptem as seguintes simplificações:

- Considera-se nula a admitância da linha;
- Admite-se que a queda de tensão na linha resulta, apenas, da soma da queda de tensão provocada na resistência da linha pela componente activa da corrente com a queda de tensão provocada na reactância indutiva da linha pela componente reactiva da corrente;
- Considera-se que a tensão no início da linha é igual à sua tensão nominal;

Logo, a queda de tensão entre a emissão e recepção nos condutores da linha, é obtida tendo como base o diagrama de Fresnel e é calculada através seguinte expressão:

$$\Delta U = UI - UO = \sqrt{3} \times I \times (R \times \cos \varphi + X \times \text{sen} \varphi) \quad (V) \quad (\text{Equação } 3.9)$$

Onde:

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

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

$\cos \varphi = 0.9$ ;

$\text{sen} \varphi = \text{sen}(\arcsin(0.9))$ ;

Em que a reactância do condutor é dada por:

$$X = 2 \times \pi \times f \times L \quad (\text{Equação 3.10})$$

Onde:

f – Frequência da rede (Hz);

L – Indutância do condutor (km).

Para o cálculo da reactância, tal como demonstra a expressão anterior, é necessário determinar o valor da indutância (L) e para isso é inevitável saber qual o tipo de armação que está a ser utilizado em cada um dos apoios extremos da linha, uma vez que, dependendo desta, os condutores poderão apresentar entre si diferentes afastamentos. A expressão utilizada para o cálculo da indutância em linhas eléctricas trifásicas é dada por:

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[ \frac{1}{4n} + \ln\left(\frac{D}{r}\right) \right] \quad (H / km) \quad (\text{Equação 3.11})$$

Onde:

D – Distância entre condutores (km);

r – Raio do condutor (km).

$\mu_0$  – Permeabilidade do meio

n – número de condutores por fase

Esta expressão permite determinar a indutância interna e externa em cada um dos condutores das linhas, pois a indutância está associada ao fluxo magnético dentro e à volta dos condutores. É aplicável a linhas simétricas ou no caso de utilizarem transposições, supondo os condutores maciços, constituídos por material não magnético e desprezando o efeito pelicular. No entanto, para os comprimentos habituais das linhas de tensão até 30 kV a mesma expressão conduz a valores aceitáveis no caso de linhas assimétricas.

Tendo em conta que no projecto de interligação do Parque Eólico do Rendeiro com a Subestação de Pinhal Novo se utiliza um condutor por fase e se considera que a permeabilidade do meio é  $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7}$ , o valor da indutância da linha resulta da aplicação da expressão 3.11.

Assim,

$$L = \frac{\mu_0}{2\pi} \left[ \frac{1}{4n} + \ln\left(\frac{D}{r}\right) \right] = \frac{4\pi}{2\pi} \left[ \frac{1}{4} + \ln\left(\frac{D}{r}\right) \right] \times 10^{-4} = \left[ \frac{4\pi}{8\pi} + \frac{4\pi}{2\pi} \ln\left(\frac{D}{r}\right) \right] \times 10^{-4}$$

$$L = \left[ 0,5 + 2 \ln\left(\frac{D}{r}\right) \right] \times 10^{-4} \quad (H / km)$$

Por uma questão de segurança e para facilidade do cálculo da indutância, para o valor da distância entre condutores (D), escolhe-se a maior distância compreendida entre condutores, o que corresponde a um maior valor de indutância e por sua vez a uma maior queda de tensão.

No caso do projecto em questão e sabendo que existirá um troço comum com uma outra linha será necessário prever o calculo a indutância para o troço em comum e para o troço simples, pois como foi mencionado anteriormente, serão utilizados diferentes tipos de armações e a distância entre condutores também varia.

No caso do troço comum a configuração das armações adoptada encontra-se apresentada na figura 19.

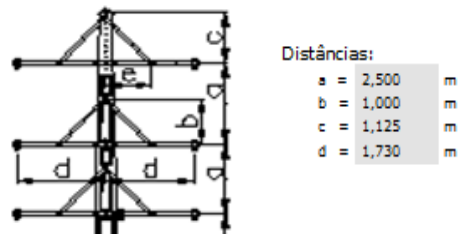


Figura 19 - Armações troço comum

Nesta situação a maior distancia entre condutores é de 2,5 metros, pelo que:

$$L_{TC} = \left[ 0,5 + 2 \ln \left( \frac{D}{r} \right) \right] \times 10^{-4} = \left[ 0,5 + 2 \ln \left( \frac{2,5 \times 10^{-3}}{8,14 \times 10^{-6}} \right) \right] \times 10^{-4} = [0,5 + 2 \times 5,724] \times 10^{-4}$$

$$L_{TC} = 11,95 \times 10^{-4} \quad H / km$$

No caso do troço de linha simples a configuração das armações está apresentada na figura 20.

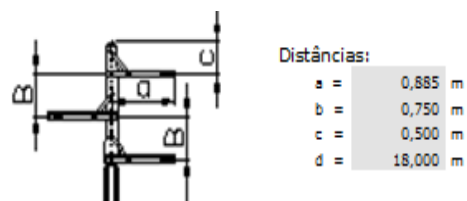


Figura 20 - Armações troço simples

Neste caso, a maior distância entre condutores é dada por:

$$D = 2a = 2 \times 0,885 = 1,77 \text{ m}$$

Logo,

$$L_{TS} = \left[ 0,5 + 2 \ln \left( \frac{D}{r} \right) \right] \times 10^{-4} = \left[ 0,5 + 2 \ln \left( \frac{1,77 \times 10^{-3}}{8,14 \times 10^{-6}} \right) \right] \times 10^{-4} = [0,5 + 2 \times 5,382] \times 10^{-4}$$

$$L_{TS} = 11,26 \times 10^{-4} \quad H / km$$

Logo, a indutância equivalente é obtida tendo em conta o comprimento dos dois troços:

$$L = L_{TC} \times l_{TC} + L_{TS} \times l_{TS} = 11,95 \times 10^{-4} \times 1,28 + 11,26 \times 10^{-4} \times 7,79$$

$$L = 0,01030 \quad H / km$$

Em que:

$L_{TC}$  – Indutância do troço comum

$L_{TS}$  – Indutância do troço simples

$l_{TC}$  – Comprimento do troço de linha comum

$l_{TS}$  – Comprimento do troço de linha simples

Estamos então em condições de calcular a reactância do condutor de acordo com a equação 3.10:

$$X = 2 \times \pi \times f \times L = 2 \times 3,14 \times 50 \times 0,01030 = 3,234 \Omega$$

Finalmente podemos calcular o valor da queda de tensão na linha de acordo com a equação 9:

$$\Delta U = UI - UO = \sqrt{3} \times I \times (R \times \cos \varphi + X \times \text{sen} \varphi)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 128,3 \times (1,9 \times \cos \varphi + 3,234 \times \text{sen} [\ar \cos(\varphi)])$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 128,3 \times (1,9 \times 0,9 + 3,234 \times 0,43589)$$

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 128,3 \times (3,1197)$$

$$\Delta U = 693,26 V$$

Que em valores percentuais se pode traduzir da seguinte forma:

$$\Delta U(\%) = \frac{\Delta U \times 100}{U} \quad (\%)$$

$$\Delta U(\%) = \frac{693,26 \times 100}{30 \times 10^3}$$

$$\Delta U(\%) = 2,311 \%$$

A queda de tensão na linha corresponde à 2,311 % da tensão de serviço.

### 3.5. Cálculo mecânico

Tendo como base os cálculos eléctricos, realizados na secção 3.4, nomeadamente a determinação da secção dos condutores e a definição do tipo de condutores (materiais e composição), o cálculo mecânico consiste nas seguintes etapas:

- Dimensionamento dos apoios (cálculos dos esforços);
- Determinação da tensão de montagem dos condutores;
- Cálculos de flechas de regulação;
- Cálculo da distância de afastamento entre condutores;
- Dimensionamento de maciços.

O cálculo mecânico é essencial nas linhas aéreas de transmissão de energia eléctrica de forma a serem asseguradas as condições de segurança bem como as condições de estabilidade da linha. Assim, associados ao cálculo mecânico estão os seguintes objectivos essenciais:

- Determinar a tensão mecânica de montagem dos condutores, à qual estes devem ser submetidos no acto da montagem da linha, conforme as condições climatéricas que se verificarem nesse momento, para assegurar que, quaisquer que sejam as condições atmosféricas que venham a verificar-se, os condutores nunca sejam solicitados por tensões mecânicas superiores à sua tensão de segurança;
- Dimensionamento dos apoios que consiste na verificação da estabilidade dos mesmos através da determinação da sua resistência mecânica com base nas hipóteses de cálculo, associadas a cada tipo de apoio, patentes nas recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão até 30kV da Direcção Geral de Energia bem como a verificação da estabilidade dos maciços de fundação;
- Escolher convenientemente a altura dos postes de modo a que os condutores venham a verificar as distâncias mínimas impostas pelo Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (R.S.L.E.A.T.) por forma a evitar uma aproximação exagerada dos condutores a objectos próximos da linha.
- Verificar o afastamento entre condutores de forma a serem cumpridas as distâncias regulamentares em vigor, de acordo com o disposto no R.S.L.E.A.T., de modo a evitar eventuais arcos que possam formar-se quando da passagem de uma eventual descarga garantindo assim o devido isolamento entre condutores.

As diversas etapas que conduzem à realização do cálculo mecânico de linhas aéreas MT são abordadas nas subsecções seguintes.

#### 3.5.1. 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 tentativa e erro e com base na experiência do projectista. Para a linha em estudo considerou-se a tensão máxima de serviço será de 9 daN/mm<sup>2</sup>;

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 a tensão máxima de tracção é dada por:

$$t_m = \frac{t_{ruptura}}{2,5} \quad (\text{Equação 3.12})$$

Em que,

$t_m$  – tensão máxima de tracção (daN/mm<sup>2</sup>);

$t_{ruptura}$  – tensão de ruptura do condutor, Patridge 160 – 47,75 daN/mm<sup>2</sup>;

$t_{serviço}$  – tensão máxima de serviço em (daN/mm<sup>2</sup>)

Para a aplicação em questão, segundo a expressão 3.12 a tensão máxima de tracção será:

$$t_m = \frac{t_{ruptura}}{2,5} = \frac{47,75}{2,5} = 19,1 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

$$t_{serviço} < t_m \Leftrightarrow 9 < 19,1$$

Podemos então concluir-se que a tensão máxima de serviço é inferior á tensão máxima de tracção.

### 3.5.2. Estados atmosféricos

Para realizar o cálculo mecânico de uma linha aérea é necessário levar em linha de conta os agentes atmosféricos que condicionam as condições de funcionamento a que ela vai estar sujeita, nomeadamente vento, temperatura e eventual formação de manga de gelo. A sua actuação depende, não só da época do ano, mas também das características da região de implantação da linha, nomeadamente a altura de implantação da linha em relação ao nível ao mar. Assim, é usual definir três estados atmosféricos tipo, que são caracterizados segundo o artigo 21º da R.S.L.A.T.:

- O estado de **Inverno** caracteriza-se em termos genéricos pela menor temperatura previsível para a região em que a linha vai ser implementada, pela existência de vento reduzido e, se as características daquela região o fizerem prever, pela possibilidade de existência de manga de gelo.
- O estado de **Primavera** caracteriza-se pela temperatura média previsível para a região e pela existência de ventos muito intensos, constituindo o que se designa por vento máximo habitual, não sendo de considerar a possibilidade de manga de gelo. O estado de primavera é também designado por **estado de vento máximo**.
- O estado de **Verão** caracteriza-se pela maior temperatura previsível, de acordo com as características da região, ausência de vento e ausência de manga de gelo. Nestas condições os condutores são submetidos a solicitações elásticas resultante apenas do seu peso próprio e à solicitações térmicas originadas pela temperatura máxima, que provocam deformações mais acentuadas e, portanto, uma maior flecha. É, por isso, que o estado de Verão também é chamado **estado de flecha máxima**.

A definição em termos numéricos de cada um destes estados é apresentada na tabela 7.

ESTADO	Temperatura °C		
	Inverno	s/ gelo	
-5			-10
Primavera	15		
Verão	2.ª Classe	3.ª Classe e $U_n \leq 100\text{kV}$	3.ª Classe e $U_n > 100\text{kV}$
	+50	+65	+75

Tabela 7 - Estados atmosféricos

### 3.5.2.1. Cálculo da força devida à acção do vento

O cálculo da força devida á acção do vento está definido no R.S.L.E.A.T, no ponto 1 do artigo 10º, em que é considerado que o vento actua numa direcção horizontal e a força proveniente da sua actuação é considerada paralela à direcção da sua velocidade. Esta força é determinada através da expressão:

$$F = \alpha \cdot c \cdot q \cdot s \quad (\text{Equação 3.13})$$

Onde,

- F, é a força do vento, em newton (N) por unidade de comprimento;
- $\alpha$ , é o coeficiente de redução que traduz a variação de velocidade da actuação do vento ao longo do comprimento do condutor;
- c, é o coeficiente de forma que traduz a influência da forma geométrica do elemento exposto à acção do vento e da direcção do vento;
- q, em pascal (Pa), é a pressão dinâmica do vento;
- s, é a área da superfície batida pelo vento (secção longitudinal de área máxima, expressa em  $\text{m}^2$ ).

Aceita-se que, salvo especificação em contrário, o vento actua segundo a normal ao plano vertical onde é suposto encontrar-se cada um dos condutores da linha. Caso se admita uma outra direcção, na horizontal, supor-se-á a força resultante como diminuída, obtendo-se o seu valor pela multiplicação do valor dado pela expressão anterior pelo quadrado do seno do ângulo que a direcção do vento faz com a dos condutores.

O que se disse a respeito da acção do vento sobre os condutores da linha aplica-se igualmente aos cabos de guarda, havendo ainda que considerar também a acção do vento sobre outros elementos constituintes da linha, nomeadamente cadeias de isoladores, seccionadores, etc.

São estabelecidos dois valores distintos para a pressão dinâmica do vento:

- 1 - Vento reduzido (estado de Inverno),
- 2 - Vento máximo habitual (estado de Primavera)

Assim, tendo em conta o disposto no artigo 13º da R.S.L.E.A.T é possível definir o valor da pressão dinâmica do vento em função da altura acima do solo a que se encontra o elemento da linha que se pretende calcular, de acordo com a tabela 8.

Altura acima do solo (m)	Pressão dinâmica do vento q (Pa)	
	Vento máximo Habitual	Vento reduzido
$\leq 30$	750	300
$30 < H \leq 50$	900	360
$> 50$	1050	450

Tabela 8 - Pressão dinâmica do vento

Em zonas particularmente expostas, como é o caso das zonas costeiras ao longo de uma faixa de 5 km e para zonas de altitude superior a 700 metros relativamente ao nível do mar (situação da linha em estudo), recomenda-se de acordo com o exposto na R.S.L.E.A.T., que se opte por um escalão imediatamente superior ao indicado na tabela 8.

O coeficiente de redução traduz a variação da velocidade de actuação do vento ao longo de uma frente extensa, sendo o seu valor retirado do artigo 14º, alínea a) da R.S.L.E.A.T. Para o efeito de cálculo de condutores e cabos de guarda o seu valor é de 0,6. No caso do cálculo de apoios, travessas e isoladores, o valor a adoptar para este coeficiente é de 1.

O coeficiente de forma representa a influência do elemento condutor com a direcção do vento, tendo como parâmetro de selecção o diâmetro do condutor. O seu valor é regulamentado pelo artigo 15º R.S.L.E.A.T. que discrimina os valores a adoptar de acordo com a tabela 9. O cabo condutor a utilizar neste caso de estudo é o ACSR 160 “PARTRIDGE” que tem um diâmetro superior a 15,8 mm, levando a um valor de coeficiente de forma de 1.

Diâmetro (mm)	Coefficiente de forma c
$\leq 12,5$	1,2
$12,5 < d \leq 15,8$	1,1
$> 15,8$	1,0

Tabela 9 - Coeficiente de forma

No que diz respeito ao cálculo da área da superfície do condutor batida pelo vento e segundo o ponto 2 do artigo 15º da R.S.L.E.A.T., a área corresponde à respectiva secção longitudinal do condutor, representada na figura 21.

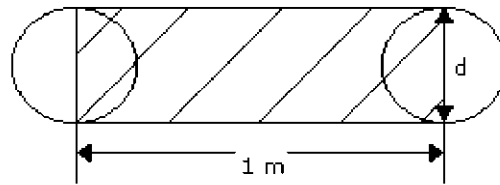


Figura 21 - Secção longitudinal do cabo

Assim, para 1 metro, a secção longitudinal é dada por:  $d \times 1$  ( $m^2/m$ ), em que  $d$  é o diâmetro do condutor

No que se refere à **manga de gelo**, inicialmente terá que se verificar se a linha em questão se encontra ou não numa zona de gelo. Se houver lugar para considerar a existência de manga de gelo, supor-se-á geralmente que a sua espessura é uniforme e igual a 10mm e que a sua densidade é  $0,9 \text{ kg/dm}^3$  de acordo com o disposto no artigo 16º.

Considerando a equação 3.13 estamos agora em condições de calcular a força devida à pressão dinâmica do vento em cada um dos estados (Inverno e Primavera). No anexo I são apresentadas as características do cabo utilizado ACSR 160 “PARTRIDGE”, necessárias à escolha correcta do coeficiente de forma, uma vez que este depende do diâmetro do cabo.

A força devida à acção do vento em cada um dos estados definidos anteriormente é calculada a seguir.

### 1 – Estado de Inverno

Tal como já foi mencionado anteriormente este estado atmosférico caracteriza-se pela menor temperatura previsível, existência de vento reduzido e neste caso, para esta região, pela existência de manga de gelo. Assim sendo, da aplicação da equação 3.13 a este estado atmosférico, obtemos:

$$F_1 = \alpha \cdot c \cdot q \cdot s$$

Onde,

$$s = d_{cond.} + (2 \times d_{gelo}) = (16.28 + 2 \times 10) = 36.38 \text{ mm}^2$$

$$F_1 = 0,6 \times 1 \times 360 \times 36.38 \times 10^{-3} = 7.83 \text{ N/m}$$

### 2 – Estado de Primavera

Este estado atmosférico caracteriza-se pela temperatura média previsível, pela existência de ventos muito intensos e não é considerada a possibilidade de manga de gelo. Tal como no estado anterior, a aplicação da equação 3.13, permite obter:

$$F_2 = \alpha \cdot c \cdot q \cdot s$$

Em que,

$$s = d_{cond.}^2 = 16.28 \text{ mm}^2$$

$$F_2 = 0,6 \times 1 \times 900 \times 16.28 \times 10^{-3} = 8.79 \text{ N/m}$$

Tendo em conta que 1N corresponde a 0,102 kgf, definição apresentada no ponto 2 do artigo 10º do R.S.L.E.A.T., a força devido à acção do vento para os estados de Inverno e de Primavera é, respectivamente,

$$F_1 = 7,83 \times 0,102 = 0,799 \text{ kgf/m}$$

$$F_2 = 8,79 \times 0,102 = 0,897 \text{ kgf/m}$$

### 3.5.2.2. Coeficiente de sobrecarga

A consideração dos agentes atmosféricos no estudo do comportamento mecânico dos condutores das linhas é feita através do coeficiente de sobrecarga  $m$ . Este coeficiente traduz a acção do vento e do gelo pelo agravamento do peso próprio dos condutores. Assim, as acções exercidas por unidade de comprimento do condutor a considerar são as acções da gravidade sobre o condutor e sobre a manga de gelo e a força exercida pelo vento sobre o condutor e a eventual manga de gelo. A figura 22 apresenta um esquema das forças exercidas sobre o condutor.

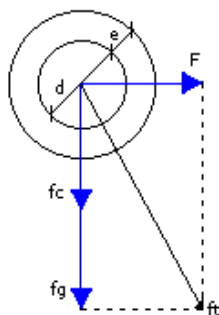


Figura 22 - Forças exercidas sobre o condutor

Onde:

$f_c$ : acção da gravidade sobre o condutor (peso próprio do condutor);

$f_g$ : acção da gravidade sobre a manga de gelo (peso da manga de gelo);

$F$ : força exercida pelo vento sobre o condutor e a eventual manga de gelo.

$d$ : representa o diâmetro do condutor;

$e$ : representa a espessura da manga de gelo

A resultante das diferentes acções  $ft$ , é:

$$ft = \sqrt{(\omega_c + \omega_g)^2 + F^2} \quad (\text{Equação 3.14})$$

Em que:

$\omega_c$ : representa o peso específico do condutor por unidade de comprimento;

$\omega_g$ : representa o peso específico uma eventual manga de gelo por unidade de comprimento;

F: força exercida pelo vento sobre o condutor e a eventual manga de gelo.

O peso específico da manga de gelo por unidade de comprimento é calculado da seguinte forma:

$$\omega_g = \rho_g \times \frac{\pi}{4} \times [(d + 2e)^2 - d^2] \quad (\text{Equação 3.15})$$

Em que:

$\rho_g$ : representa o peso específico volumétrico do gelo;

$\omega_g$ : representa o peso específico da manga de gelo por unidade de comprimento;

d: diâmetro do condutor;

e: espessura da manga de gelo.

Assim, para o presente projecto,

$$\omega_g = 9 \times 10^{-3} \times \frac{\pi}{4} \times [(16.32 + 2 \times 10)^2 - 16.32^2]$$

$$\omega_g = 0.744$$

Por definição o coeficiente de sobrecarga é dado por:

$$m = \frac{ft}{fc} = \frac{\sqrt{(\omega_c + \omega_g)^2 + F^2}}{\omega_c} = \frac{\sqrt{\left\{ \omega_c + \pi_{gelo} \times \frac{\pi}{4} [(d + 2e)^2 - d^2] \right\}^2 + F^2}}{\omega_c} \quad (\text{Equação 3.16})$$

Desta forma é possível calcular coeficientes de sobrecarga para os diferentes estados atmosféricos. Como facilmente se verifica, o seu valor no estado de verão é igual a 1.

No caso da linha em estudo foi considerada a formação de uma manga de gelo de 10mm, uma vez que este vai ser implantada em regiões com altitudes superiores a 700m.

Assim, os coeficientes de sobrecarga para os estados de Inverno (1) e Primavera (2),  $m_1$  e  $m_2$  respectivamente, podem ser determinados através da aplicação da equação 3.16.

$$m_1 = \frac{\sqrt{\left\{0.545 + 0.9 \times \frac{\pi}{4} \times \left[ (0.1628 + 2 \times 0,01)^2 - 0.1628^2 \right] \right\}^2 + 0.799^2}}{0.545} = 1.88$$

$$m_2 = \frac{\sqrt{\omega_c^2 + F_2^2}}{\omega_c} = \frac{\sqrt{0.545^2 + 0.897^2}}{0.545} = 1.92$$

### 3.5.2.3. Determinação da tensão de montagem

O trabalho de montagem e de regulação mecânica dos condutores de uma linha aérea tem de ser realizado sem presença de gelo e com ausência de vento, pois trata-se de uma operação delicada. Assim sendo, o estado atmosférico considerado para a realização de tal operação tem que conduzir a um coeficiente de sobrecarga unitário.

No entanto aquando da elaboração do projecto, não é possível prever a temperatura  $\theta$  que se irá verificar no momento da regulação dos condutores. Por isso, há que considerar uma gama completa de temperaturas possíveis para a região de implantação da linha. Para cada uma dessas temperaturas, através da equação de estados compara-se o estado de montagem com o estado mais desfavorável e determina-se a tensão mecânica a que ficarão sujeitos os condutores no acto de regulação. Desta forma, garante-se que a tracção máxima considerada  $t_{\max}$  não é excedida nas condições mais desfavoráveis, em qualquer um dos vãos.

A determinação da tensão de montagem a aplicar aos condutores de um dado vão, tal como foi mencionado anteriormente, faz-se por aplicação da equação de estados que corresponde á seguinte equação:

$$\theta_1 + \frac{t_{\max}}{\alpha \times E} - \frac{m_1^2 \times \omega^2 \times L_{cr}^2}{24 \times \alpha \times \sigma^2 \times t_{\max}^2} = \theta_2 + \frac{t_{\max}}{\alpha \times E} - \frac{m_2^2 \times \omega^2 \times L_{cr}^2}{24 \times \alpha \times \sigma^2 \times t_{\max}^2} \quad (\text{Equação 3.17})$$

Em que:

$\theta_1, \theta_2$  - Temperatura no estado atmosférico 1 e 2 respectivamente (°C);

$t_1, t_2$  - Tensão de montagem aplicada aos condutores no estado atmosférico 1 e 2 respectivamente (daN.mm-2);

$E$  - Módulo de elasticidade ou módulo de Young (kg.mm-2);

$\omega$  - Peso específico linear (kg.m-1);

$\alpha$  - Coeficiente de dilatação térmica (°C-1);

$\sigma$  - Secção dos condutores (mm<sup>2</sup>);

$L$  - Comprimento do vão (m);

$m_1, m_2$  - Coeficientes de sobrecarga dos estados atmosféricos 1 e 2 respectivamente.

Como já foi mencionado anteriormente, para o cálculo da tensão de montagem será então necessário determinar o estado atmosférico mais desfavorável. Isto é feito a partir da árvore de decisão apresentada na figura 23.1.

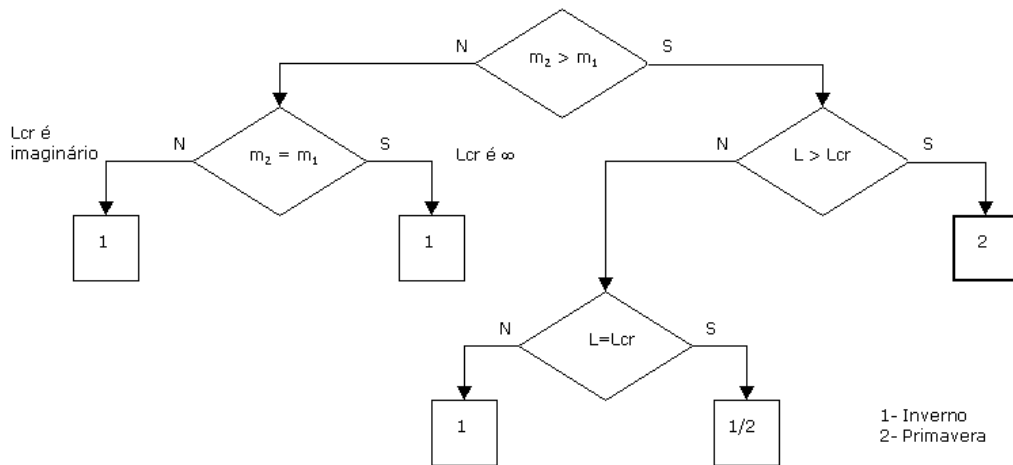


Figura 23.1 - Árvore de decisão

Onde:

$m_1, m_2$  – Correspondem respectivamente aos coeficientes de sobrecarga dos estados atmosféricos de inverno e de primavera;

$L_{cr}$  – Vão crítico

### 3.5.2.4. Vão crítico

Dos três estados atmosféricos anteriormente considerados (Inverno, Primavera e Verão) um deles será o mais desfavorável, sujeitando os condutores à tracção mais elevada. Uma vez que no Verão a temperatura é a mais elevada e não existe vento, os condutores dilatam, o comprimento do arco da catenária aumenta e, conseqüentemente, a tracção diminui. Pelo contrário, na Primavera a pressão dinâmica do vento é máxima e no Inverno, embora o vento seja reduzido, há possibilidade de formação de manga de gelo, pelo que os condutores estão sujeitos a esforços mecânicos superiores, aumentando a tracção. Por isso, um destes estados será o mais desfavorável.

No entanto não se pode aumentar demasiado a tracção exercida nos condutores, sobre o risco de estes atingirem a sua carga de rotura. Como tal há que garantir que o quociente do seu valor pelo coeficiente de segurança não é ultrapassado, e se for atingido, isso que se verifique única e exclusivamente no estado mais desfavorável.

Considera-se vão crítico ( $L_{cr}$ ), o vão para o qual os condutores ficam sujeitos à tracção máxima,  $t_{max}$ , em ambos os estados ( inverno e primavera). Assim, considerando  $t_{m1} = t_{m2} = t_{max}$ , e substituindo na equação de estado (equação 3.17), obtemos:

$$\theta_1 + \frac{t_{max}}{\alpha \times E} - \frac{m_1^2 \times \omega^2 \times L_{cr}^2}{24 \times \alpha \times \sigma^2 \times t_{max}^2} = \theta_2 + \frac{t_{max}}{\alpha \times E} - \frac{m_2^2 \times \omega^2 \times L_{cr}^2}{24 \times \alpha \times \sigma^2 \times t_{max}^2}$$

A partir da equação 3.17 podemos facilmente determinar o vão crítico, de acordo com a equação 3.18:

$$L_{Cr} = \frac{\sigma \times t_{\max}}{\omega} \times \sqrt{\frac{24 \times \alpha \times (\theta_2 - \theta_1)}{m_2^2 - m_1^2}} \quad (\text{Equação 3.18})$$

Em que:

$\sigma$ : secção do condutor;

$\omega$ : peso próprio do condutor, 0.545kg/m;

$\alpha$ : coeficiente de dilatação térmica,  $19 \times 10^{-6}$

$t_{\max}$ : tensão máxima determinada anteriormente, 9 kgf/mm<sup>2</sup>

Uma vez que a temperatura no estado de Primavera,  $\theta_2$ , é sempre superior à temperatura no estado de Inverno,  $\theta_1$ , o vão crítico só é real se o coeficiente de sobrecarga relativo ao estado de Primavera  $m_1$ , for superior ao do estado de Inverno  $m_2$ . Na linha em estudo, aplicando a equação 3.18, obtemos o seguinte valor para o vão crítico:

$$L_{Cr} = \frac{\sigma \times t_{\max}}{\omega} \times \sqrt{\frac{24 \times \alpha \times (\theta_2 - \theta_1)}{m_2^2 - m_1^2}}$$

$$L_{Cr} = \frac{160 \times 9}{0,545} \times \sqrt{\frac{24 \times 19 \times 10^{-6} \times (15 - (-10))}{1.92^2 - 1.88^2}}$$

$$L_{Cr} = 723,59 \text{ m}$$

Conhecidos os valores do vão crítico e dos coeficientes de sobrecarga, o estado mais desfavorável para um determinado vão é obtido através da árvore de decisão apresentada na figura 23.2..

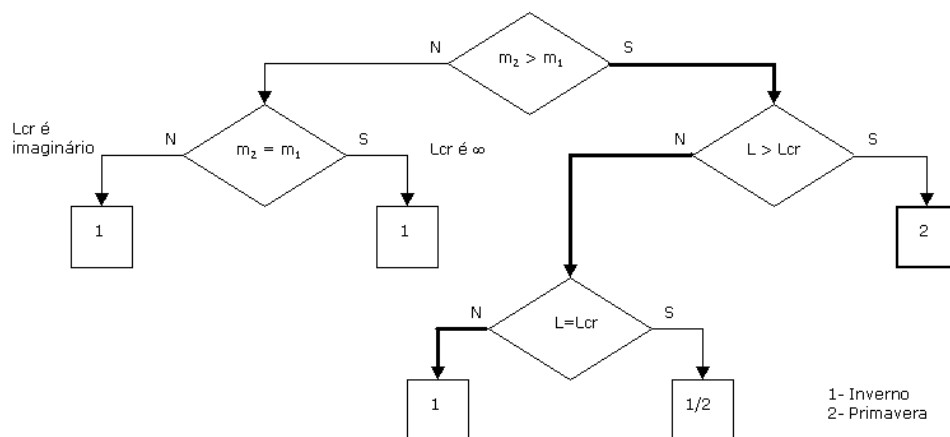


Figura 24.2 - Árvore de decisão aplicada ao projecto

Como nesta linha não existe nenhum vão igual ou superior ao vão considera-se que o estado mais desfavorável para todos os vãos é o Inverno.

Sabendo qual é o estado atmosférico mais desfavorável é então possível, com recurso á equação dos estados, determinar qual a tensão de montagem a aplicar aos condutores para diferentes temperaturas. A partir daqui é possível determinar as respectivas flechas essenciais para a montagem dos condutores na linha.

A principal dificuldade no projecto de linhas aéreas reside na escolha da tensão mecânica de montagem máxima a ser aplicada aos condutores de uma linha no estado atmosférico mais desfavorável.

Essa escolha terá repercussões na estabilidade dos apoios, na flecha dos condutores e no afastamento entre condutores sendo que, quanto maior for a tensão escolhida, maiores serão os esforços aplicados aos apoios e maior será a flecha correndo-se o risco de uma aproximação exagerada dos condutores a objectos próximos da linha. Por outro lado, quanto maior for a tensão máxima maior será o afastamento entre condutores.

Esta questão é bastante delicada ao nível económico pois está directamente relacionada com a escolha dos apoios.

### 3.5.3. Geometria das linhas

Considerando os condutores das linhas aéreas homogéneos, perfeitamente flexíveis e inextensíveis, quando suspensos por dois dos seus pontos, apresentam como curva de equilíbrio a catenária. Trata-se, no entanto, de uma aproximação. Na realidade, os condutores não são perfeitamente flexíveis, são elasticamente deformáveis e encontram-se sob acção de ventos irregulares, que lhes conferem uma dupla curvatura e movimento. De acordo com a topologia do terreno os vãos poderão ser classificados como vãos em declive ou vãos em patamares. Nas subsecções seguintes é apresentada uma breve descrição de cada um destes vãos.

#### 3.5.2.1. Vãos em patamar

Um vão em patamar possui uma geometria representada pela figura 24.

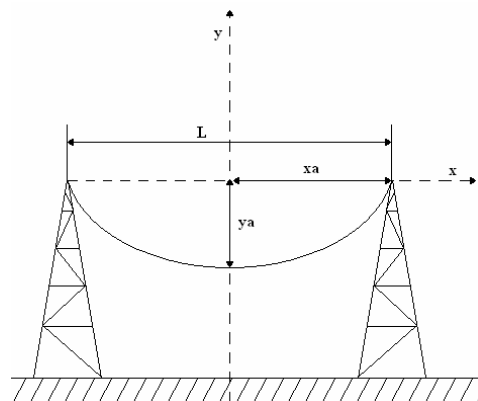


Figura 25 - Vão em patamar

As equações que traduzem a aproximação parabólica dos vãos em patamar são as seguintes:

$$y_a = \frac{x_a^2}{2a} \quad (\text{Equação 3.19})$$

$$x_a = \frac{L}{2} \quad (\text{Equação 3.20})$$

Nas expressões acima “a” corresponde ao parâmetro da catenária e é definido pelo quociente entre a tensão mecânica de montagem e o produto do coeficiente de sobrecarga do estado de montagem pelo peso específico volumétrico do condutor.

### 3.5.3.2. Vãos desnivelados

Um vão em declive pode ser representado pelo esquema apresentado na figura 24.

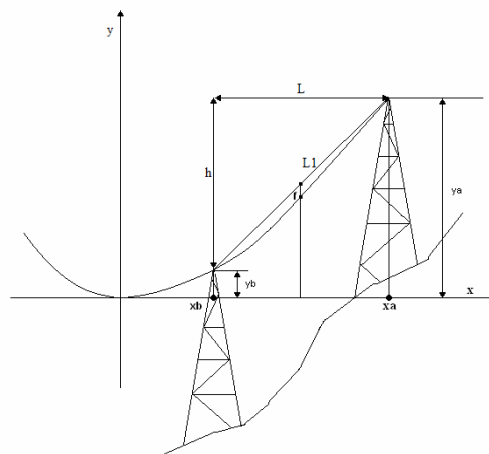


Figura 26 - Vão desnivelado

As equações que traduzem a aproximação parabólica dos vãos em declive são as seguintes:

$$y_a = \frac{x_a^2}{2a} \quad (\text{Equação 3.19})$$

Em que:

$$x_a = \frac{a \cdot h}{L} + \frac{L}{2} \quad (\text{Equação 3.21})$$

$$x_b = \frac{a \cdot h}{L} - \frac{L}{2} \quad (\text{Equação 3.22})$$

### 3.5.4. Determinação das flechas dos condutores

O cálculo das flechas dos condutores na aproximação parabólica é diferente caso estejamos a falar de vãos em patamares ou vãos em declive. A flecha dos condutores é determinada a meio para uma temperatura ambiente igual à 50°C.

Nos vãos em patamares a flecha dos condutores é determinada a partir da expressão:

$$flecha = \frac{L^2 w_v}{8t_m} \quad (\text{Equação 3.23})$$

Sendo:

L – O seu significado está patente na figura correspondente;

$w_v$  – Peso específico volumétrico ( $\text{kg.mm}^{-2}$ );

$t_m$  – Tensão mecânica no estado de flecha máxima;

Nos vãos em declive a flecha dos condutores é determinada a partir da expressão:

$$flecha = \frac{LL_1 w_v}{8t_m} \quad (\text{Equação 3.24})$$

Sendo:

L,  $L_1$  – Os seus significados estão patentes na figura correspondente;

$w_v$  – Peso específico volumétrico ( $\text{kg.mm}^{-2}$ );

$t_m$  – Tensão mecânica no estado de flecha máxima;

A regulação dos vãos é realizada de cantão em cantão, isto é, na porção de uma linha compreendida entre dois apoios, nos quais os condutores são fixados por amarrações. A expressão que permite determinar o vão equivalente é a seguinte:

$$\text{vão equivalente} = \sqrt{\frac{L_1^3 + L_2^3}{L_1 + L_2}} \quad (\text{Equação 3.25})$$

#### 3.5.4.1. Tensões e flechas de montagem

Para calcular a tensão de montagem e conseqüente flecha para um determinado estado atmosférico, aplica-se a equação de estados (equação 3.17). Comparando o estado mais desfavorável com o estado em estudo obtêm-se a tensão de montagem deste. A determinação da flecha máxima deverá seguir as condições impostas na alínea a) do ponto 1 do artigo 22º, onde é mencionado, que, para linhas de 2ª classe, considera-se para efeitos de cálculo uma temperatura de +50°C sem sobrecarga de vento. A consideração do estado de Verão, tal como foi anteriormente caracterizado, destina-se a permitir a determinação da flecha máxima assumida pelos condutores de uma linha, a qual se relaciona com as distâncias mínimas a manter entre os condutores e o solo ou objectos vizinhos.

Estando já definido, conforme vimos, qual é o estado mais desfavorável, o problema da determinação da flecha máxima resolve-se por aplicação da equação de estado (equação 3.17), comparando o estado mais desfavorável com o estado de Verão. O estado de flecha máxima caracteriza-se por uma temperatura de 50°C e um coeficiente de sobrecarga unitário.

Os parâmetros utilizados nos cálculos da tensão de montagem encontram-se na tabela 10.

	Estado de Inverno	Estado de Verão
$m_1, m_2$ - Coeficiente de sobrecarga	1,92	1
$t_1, t_2$ - Tensão máxima de serviço (daN/mm <sup>2</sup> )	9	A calcular
$\Theta$ - Temperatura (°C)	-10	50
w - Peso do condutor (Kgf/m)	0,5471	0,5471
L - Comprimento do vão em estudo (m)	151,35	151,35
E - Módulo de elasticidade do condutor (daN/mm <sup>2</sup> )	7500	7500
$\alpha$ - Coeficiente de dilatação linear do condutor (°C <sup>-1</sup> )	19x10-6	19x10-6
$\sigma$ - Secção real do condutor (mm <sup>2</sup> )	157,9	157,9

Tabela 10 - Parâmetros para cálculo da tensão de montagem

Com base nestes parâmetros, a equação de estado permite determinar a tensão de montagem. Assim,

$$\theta_1 + \frac{t_1}{\alpha \times E} - \frac{m_1^2 \times \omega^2 \times L_{cr}^2}{24 \times \alpha \times \sigma^2 \times t_1^2} = \theta_2 + \frac{t_2}{\alpha \times E} - \frac{m_2^2 \times \omega^2 \times L_{cr}^2}{24 \times \alpha \times \sigma^2 \times t_2^2}$$

A temperatura  $\Theta = -10^\circ\text{C}$  é retirada do artigo 21º, do R.S.L.E.A.T. Este artigo define a temperatura a utilizar considerando o estado mais desfavorável. O artigo 22º, do R.S.L.E.A.T, define que para o cálculo de flecha máxima e para linhas de 2ª classe, deverá considerar-se uma temperatura de  $+50^\circ\text{C}$  sem sobrecarga de vento. A tensão máxima e o coeficiente de sobrecarga foram calculados anteriormente para o caso mais desfavorável, enquanto para o estado de Verão, como já foi mencionado, é igual á unidade. Todos os restantes elementos são característicos dos cabos e fornecidos pelo fabricante. Estas características encontram-se apresentadas no anexo I.

Relativamente ao vão em estudo, é o primeiro vão, no qual o calculo será discriminado no presente relatório, para os restantes o raciocínio é o mesmo e os respectivos cálculos são discriminados no anexo IV.

Substituindo então os valores na equação de estados obtemos:

$$-10 + \frac{9}{19 \times 10^{-6} \times 7500} - \frac{1,92^2 \times 0,5471^2 \times 151,35^2}{24 \times 19 \times 10^{-6} \times 157,9^2 \times 9^2} = 50 + \frac{t_2}{19 \times 10^{-6} \times 7500} - \frac{1^2 \times 0,5471^2 \times 151,35^2}{24 \times 19 \times 10^{-6} \times 157,9^2 \times t_2^2}$$

Resolvendo a equação anterior em ordem a t, obtemos uma equação de 3º grau:

$$7,02t^3 + 24,31t^2 - 603,5 = 0$$

$$t = 3,52 \text{ daN} / \text{mm}^2$$

Então o valor da tensão de montagem é dado por:

$$t_m = t \times \sigma = 3,52 \times 157,9 = 555,82 \text{ daN}$$

O valor da tensão mecânica obtido será aquele que estará presente no momento de flecha máxima no primeiro vão da linha. Logo, estamos em condições de calcular o valor de flecha máxima:

$$flecha = \frac{LL_1 w_v}{8t_m}$$

Observando a figura 26 podemos concluir que:

$$L_1 = \sqrt{L^2 + h^2} = \sqrt{151,35^2 + 37,41^2} = 155,90 \text{ m}$$

Então:

$$flecha = \frac{LL_1 w_v}{8t_m} = \frac{151,35 \times 155,90 \times 0,5471}{8 \times 555,82}$$

$$flecha = 2,91 \text{ m}$$

### 3.5.5. Distâncias regulamentares

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, dos condutores 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 regulamentar de flecha máxima. 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, sendo considerada uma temperatura de 50°C.

As distâncias obtidas vão condicionar a escolha da altura dos apoios da nova linha. Desta forma, tivemos em atenção as distâncias mínimas, descritas nas subsecções seguintes.

#### 3.5.5.1. Distância ao solo

A distância dos condutores ao solo é determinada através da expressão apresentada no artigo 27º do regulamento. Este artigo define que a distância ao solo dos condutores, na condição de flecha máxima, desviados ou não pelo vento, não deverá ser inferior ao resultado dado pela expressão:

$$D = 6,0 + 0,005 \cdot U \quad (\text{Equação 3.26})$$

Em que U, em Kilovolts, é a tensão nominal da linha

A linha em projecto tem uma tensão nominal de 30 kV, pelo que os condutores deverão estar colocados a uma distância do solo não inferior a:

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

### 3.5.5.2. Distância dos condutores ás árvores

A distância dos condutores ás árvores está regulamentada no artigo 28°. Segundo este, entre os condutores nus das linhas, nas condições de flecha máxima, desviados ou não pelo vento, e as árvores deverá observar-se uma distância não inferior à obtida através da seguinte expressão:

$$D = 2,0 + 0,0075U \quad (\text{Equação 3.27})$$

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

O mesmo artigo exige que a distância não deverá ser inferior a 2,5 metros. No caso da linha em estudo, a distância obtida através da expressão é:

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

Logo, como a distância obtida é inferior à distância mínima imposta pelo regulamento, deverá adoptar-se a distância de 2,5 metros.

É imposto no artigo 28°, do regulamento, no ponto 2, que deverá estabelecer-se ao longo da linha uma faixa de serviço com largura de 5 metros, dividida ao meio pelo eixo da linha.

### 3.5.5.3. Distância dos condutores a cursos de água não navegáveis

A linha em estudo atravessa a ribeira da Isna (vão 30-31) que não tem condições para ser navegável. Então, nesta situação temos de aplicar o artigo 93°, do regulamento, que define uma distância, a manter pelos condutores ao mais alto nível das águas, não inferior à dada pela expressão:

$$D = 6,0 + 0,005U \quad (\text{Equação 3.28})$$

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

No presente caso, a distância obtida é

$$D = 6,0 + 0,005 \cdot 30 = 6,15 \text{ m.}$$

Está verificada a distância mínima referida no ponto 2 do mesmo artigo, que é de 6 metros.

### 3.5.5.4. Distância dos condutores a edifícios

A distância dos condutores a edifícios, está regulamentada através do artigo 29°. Segundo este, na proximidade de edifícios, com excepção dos exclusivamente adstritos ao serviço de exploração de instalações eléctricas, as linhas serão estabelecidas de forma a observar-se nas condições de flecha máxima, o seguinte:

A) Em relação às coberturas, chaminés e todas as partes salientes susceptíveis de ser normalmente escaladas por pessoas, os condutores nus deverão ficar, desviados ou não pelo vento, a uma distância não inferior à dada pela expressão 3.29, sendo que esta não deverá ser inferior a 4 m.

$$D = 3,0 + 0,0075U \quad (\text{Equação 3.29})$$

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

No caso da linha em estudo, a distância obtida através da expressão é,

$$D = 3,0 + 0,0075 \cdot 30 = 3,225 \text{ m}$$

Como a distância obtida é inferior à distância mínima imposta pelo regulamento, deverá adoptar-se a distância de 4 metros.

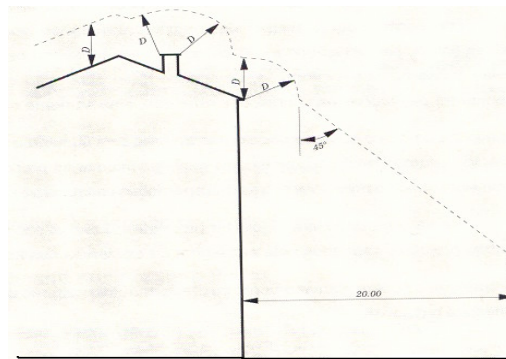


Figura 27 - Distância dos condutores a edifícios

B) Os troços de condutores nus que se situem ao lado dos edifícios a um nível igual ou inferior ao do ponto mais alto das paredes mais próximas não poderão aproximar-se das paredes mais próximas dos edifícios, desviados ou não pelo vento, de distâncias inferiores às indicadas para a linha tracejada apresentada na figura 26 seguinte em que D tem o valor calculado na alínea anterior.

#### 3.5.5.5. Distância dos condutores a obstáculos diversos

A distância dos condutores a edifícios, está regulamentada pelo artigo 30º. Segundo este, na vizinhança de obstáculos tais como terrenos de declive muito acentuado, falésias e construções normalmente não acessíveis a pessoas, bem como partes salientes dos edifícios não susceptíveis de ser normalmente escaladas por pessoas, quando as construções e as partes salientes referidas atinjam um nível acima do solo superior a 3m, os condutores nus das linhas, nas condições de flecha máxima e desviados ou não pelo vento, deverão manter, em relação a esses obstáculos, uma distância D, em metros não inferior à dada pela expressão 3.30, sendo que o mesmo artigo exige que a distância não deverá ser inferior a 3 metros.

$$D = 2,0 + 0,0075U \quad (\text{Equação 3.30})$$

No caso da linha em estudo, a distância obtida através da expressão é,

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

Logo, como a distância obtida é inferior à distância mínima imposta pelo regulamento, deverá adoptar-se a distância de 3 metros.

### 3.5.5.6. Distância entre condutores

A distância entre condutores é muito importante, visto que o contacto entre condutores leva a graves problemas técnicos.

O artigo 31º, do regulamento, estabelece as condições de cálculo da distância entre condutores. Segundo este artigo, os condutores nus deverão ser estabelecidos por forma a não poderem aproximar-se perigosamente, atendendo às oscilações provocadas pelo vento, não devendo, entre eles, observar-se uma distância D, em metros, arredondada ao décimo, inferior à dada pela expressão:

$$D = 0,75k\sqrt{f+d} + \frac{U}{200} \quad (\text{Equação 3.31})$$

Em que:

f, em metros, é a flecha máxima dos condutores;

d, em metros, é o comprimento das cadeias de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha;

U, em kilovolts, é a tensão nominal da linha;

K, é um coeficiente dependente da natureza dos condutores e cujo valor é:

- 0,6 para condutores de cobre, bronze, aço e alumínio-aço;
- 0,7 para condutores de alumínio e de ligas de alumínio.

A linha em estudo é de 2ª classe, já que a tensão nominal é superior a 1500V e inferior a 40000V. Perante isto, o artigo 31º, no ponto 3, estabelece uma distância mínima entre condutores de 0,45 metros.

Na tabela 11 estão descritos os parâmetros envolvidos no cálculo da distância mínima a garantir entre condutores.

Parâmetro	Valor
f - Flecha máxima dos condutores (m)	Variável
d - Comprimento das cadeias de isoladores (m)	0,7
k - Coeficiente dependente da natureza dos condutores	0,6
U - Tensão nominal da linha (kV)	30
D – Distancia entre condutores	A calcular

Tabela 11 - Parâmetros para cálculo da distância mínima entre condutores

Em seguida é apresentado o cálculo da distância entre condutores a garantir no primeiro vão. As distâncias relativas aos restantes vãos da linha do presente projecto são apresentadas no anexo VIII.

$$D = 0.75k\sqrt{f+d} + \frac{U}{200}$$

$$D = 0.75 \times 0.6 \sqrt{2.91 + 0.7} + \frac{30}{200}$$

$$D = 1,01 \text{ m}$$

### 3.5.7. Cadeias de isoladores

As cadeias de isoladores têm como principal função garantir as condições de isolamento do condutor. Tal como os condutores e os cabos de guarda das linhas aéreas, as cadeias encontram-se sujeitas a diversas solicitações, como o seu próprio peso e a acção do vento.

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.

Sabendo o comprimento da cadeia de isoladores é possível determinar o ângulo máximo de inclinação das cadeias. Assim, na subsecção 3.5.7.1 é apresentado o cálculo do ângulo máximo de inclinação e verificada a estabilidade das cadeias de suspensão.

#### 3.5.7.1. Desvio transversal devido a acção do vento

A acção do vento transversal à linha faz com que as cadeias de isoladores em suspensão se desviem, o que pode levar os condutores a aproximarem-se demasiado dos apoios. Assim, há que escolher a estrutura e a disposição dos apoios de modo a que a distância entre estes e os condutores, nas condições mais desfavoráveis, não seja inferior a uma distância de segurança.

O R.S.L.E.A.T no seu artigo nº33, impõe que a distância mínima entre os condutores nus e os apoios não deve ser inferior à dada pela seguinte expressão:

$$D = 0,0065U \quad (\text{Equação 3.32})$$

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

Para o caso do projecto da linha de interligação do parque eólico do Rendeiro à subestação de Pinhal Novo a distancia mínima entre condutores deverá ser superior a,

$$D = 0,0065 \times 30 = 0,195\text{m}$$

A distância D limita o ângulo máximo admissível de desvio transversal da cadeia,  $\phi$ , tal como se pode verificar na figura 27.

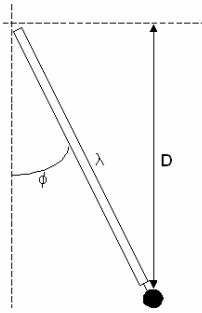


Figura 28 - Ângulo máximo admissível das cadeias

Assim, tal como se pode observar através da figura 27 é possível calcular o ângulo máximo admissível, a partir da equação 3.33.

$$\lambda \times \cos \phi = D \Rightarrow \cos \phi = \frac{D}{\lambda} \quad (\text{Equação 3.33})$$

Para o presente projecto e tendo em conta que cada cadeia tem de comprimento,  $\lambda=0,7$  metros, estamos em condições de calcular o ângulo máximo admissível.

$$\cos \phi = \frac{0.195}{0.7} = 0.2786$$

$$\phi = \arccos(0.2786) = 73.83^\circ$$

O ângulo máximo de inclinação das cadeias é de  $73.83^\circ$ , contudo é usual para linhas de 30 kV utilizar um ângulo de  $75^\circ$ . 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, que resulta do sistema de forças a que a cadeia de isoladores está submetida ( $P$ ,  $Q$ ,  $P_v$ ,  $Q_v$ ). A figura 28 representa o sistema de forças aplicado a uma cadeia de suspensão.

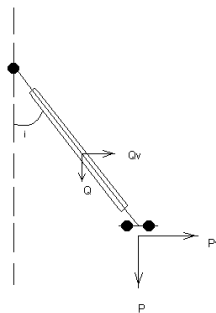


Figura 29 - Forças aplicadas às cadeias de suspensão

Em que,

$P$ , peso do condutor

$Q$ , peso da própria cadeia de isoladores, com os seus acessórios

$P_v$ , acção do vento sobre o condutor

$Q_v$ , acção do vento sobre a cadeia e os seus acessórios

Como se pode observar através da figura 28, o peso da cadeia e a acção do vento exercida sobre ela são aplicados no ponto médio da cadeia, enquanto que o peso dos condutores e a acção do vento exercida sobre eles são aplicados na sua extremidade. Pela lei dos momentos, é possível transladar as forças aplicadas no centro da cadeia para o seu extremo,

$$M_1 = Q \times \frac{\lambda}{2} = F_1 \times \lambda \Rightarrow F_1 = \frac{Q}{2} \quad (\text{Equação 3.34})$$

$$M_2 = Q \times \frac{\lambda}{2} = F_2 \times \lambda \Rightarrow F_2 = \frac{Q}{2} \quad (\text{Equação 3.35})$$

Com todas as forças aplicadas no mesmo ponto, as condições de equilíbrio do sistema são dadas pela equação:

$$\left| P_V + \frac{Q_V}{2} \right| \times \lambda \times \cos \alpha = \left| P + \frac{Q}{2} \times \lambda \times \operatorname{sen} \alpha \right| \quad (\text{Equação 3.36})$$

De onde se conclui que:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sum F_h}{\sum F_V} = \frac{P_v + \frac{Q_v}{2}}{P + \frac{Q}{2}} \quad (\text{Equação 3.37})$$

Onde  $\alpha$ , representa o ângulo de desvio transversal máximo da cadeia de isoladores.

Quando o ângulo de desvio transversal,  $\alpha$ , é superior ao máximo admissível,  $\phi$ , a disposição dos apoios pode ser alterada de modo a diminuir o ângulo  $\alpha$ . A instalação de contrapesos constitui outra solução para a limitação desse, sendo o valor do contrapeso, C, numa cadeia de suspensão (desprezando a acção do vento sobre o contrapeso) dado pela seguinte expressão:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sum F_h}{\sum F_V} = \frac{P_v + \frac{Q_v}{2}}{P + \frac{Q}{2} + C} \quad (\text{Equação 3.38})$$

Para o cálculo do desvio transversal das cadeias de isoladores utiliza-se, não o valor da pressão dinâmica do vento máximo habitual, mas metade desse valor (vento de rajada).

Dada a extensão da linha e conseqüente dimensão do número de cálculos, apenas é apresentado o cálculo do desvio transversal das cadeias de isoladores para o apoio n.º2. Os valores da verificação da estabilidade das cadeias para cada apoio da linha do presente projecto encontram-se no anexo VI.

Os valores dos parâmetros envolvidos no cálculo da estabilidade das cadeias de suspensão são apresentados na tabela 12.

Parâmetro	Valor
P - Peso do condutor (daN)	Variável
Q - Peso da própria cadeia de isoladores com os seus acessórios (daN)	31
P <sub>v</sub> - Acção do vento sobre o condutor (daN)	Variável
Q <sub>v</sub> - Acção do vento sobre a cadeia e os seus acessórios (daN)	15
ω <sub>c</sub> - Peso específico do condutor	0,5471
λ - Comprimento da Cadeia (m)	0,7
S <sub>1</sub> e S <sub>2</sub> - Vãos adjacentes ao apoio (m)	Variável
w - Força do vento sobre os condutores	0,4396
φ - Ângulo máximo admissível da cadeia	73,86
D - Distância mínima entre os condutores (m)	0,195
α - Ângulo da cadeia	A calcular

Tabela 12 - Parâmetros para cálculo da estabilidade das cadeias

O procedimento de cálculo do desvio transversal da cadeia de isoladores inicia-se com o cálculo do peso do próprio condutor, P, através da seguinte expressão:

$$P = w_c \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] + w_g \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] \quad (\text{Equação 3.39})$$

Em que:

ω<sub>c</sub>: representa o peso específico do condutor;

ω<sub>g</sub>: representa o peso específico uma eventual manga de gelo por unidade de comprimento;

S<sub>1</sub> e S<sub>2</sub> são os vãos adjacentes ao apoio.

Tendo em conta que no dimensionamento dos condutores foi considerado um estado de vento máximo ou de rajada, correspondendo a um estado em não é considerada a manga de gelo, o peso do cabo é dado por:

$$P = w_c \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$$

$$P = 0,5471 \left[ \frac{151,35 + 190,54}{2} \right]$$

$$P = 93.52 \text{ daN}$$

A força resultante da acção do vento sobre os condutores é obtida através da seguinte expressão:

$$P_V = w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] \quad (\text{Equação 3.40})$$

Em que:

w é a força do vento sobre os condutores ( $w = \alpha.c.q.s$ );

S1 e S2 são os vãos adjacentes ao apoio.

Então:

$$w = \alpha.c.q.s = 0,6 \times 1 \times 45 \times 16,28 \times 10^{-3} = 0,4396$$

Logo:

$$P_V = w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$$

$$P_V = 0,4396 \times 170,945$$

$$P_V = 75,14 \text{ daN}$$

Conhecido o peso do condutor e tendo em conta os parâmetros definidos pelo fabricante (Skelt) para o peso das cadeias e para o valor da força exercida sobre elas devido á acção do vento, o ângulo do desvio transversal da cadeia é calculado da seguinte forma:

$$\text{tg}\alpha = \frac{\sum F_h}{\sum F_V} = \frac{P_v + \frac{Q_v}{2}}{P + \frac{Q}{2} + C} = \frac{75,14 + \frac{15}{2}}{93,52 + \frac{31}{2}}$$

$$\text{tg}\alpha = 0,758$$

$$\alpha = 37,16^\circ$$

Uma vez que o valor do ângulo do desvio transversal da cadeia calculado é muito inferior ao valor do ângulo máximo admissível de  $73,83^\circ$ , que foi calculado anteriormente, está verificada a estabilidade das cadeias de isoladores no apoio número 2.

### 3.5.8. Verificação da Estabilidade dos Apoios

Segundo o R.S.L.E.A.T., os apoios podem ser de aço, betão armado ou até mesmo de madeira. Tendo em conta as diversas solicitações a que estão sujeitos, o Regulamento indica as várias hipóteses a considerar, para cada tipo de apoio, no cálculo da sua estabilidade.

A verificação da estabilidade dos apoios de uma linha aérea consiste em calcular as solicitações mecânicas que lhes são impostas consoante a função que tomam, para depois escolher o tipo de apoio que melhor se adequa. As solicitações que, de uma forma geral, lhes podem ser aplicadas são as seguintes:

- Sobrecarga de vento sobre o apoio, travessas, isoladores, condutores e cabos de guarda nos meios vãos adjacentes ao apoio;
- Tracções mecânicas exercidas pelos condutores e cabos de guarda das linhas principais e derivadas;
- Peso do próprio apoio, das travessas, isoladores, condutores e cabos de guarda das linhas principal e derivadas.

Tendo em conta a extensão da linha que está a ser projectada e os diferentes tipos de apoios, torna-se necessário verificar a estabilidade de um grande número de apoios. Assim, nas subsecções seguintes são apresentados os cálculos relativos à estabilidade de cada tipo de apoio e no anexo V são apresentados os esforços a que cada apoio está sujeito.

Os parâmetros necessários ao cálculo das forças horizontais, verticais e transversais a que os apoios estão sujeitos encontram-se apresentados na tabela 13.

<b>Parâmetro</b>	<b>Valor</b>
$S_1, S_2$ – Vãos adjacentes ao apoio (m)	<i>Variável</i>
T - Tracção do Conductor (daN/mm <sup>2</sup> )	1418,4
w - Força do vento sobre os condutores (daN/m)	0,783
w' - Peso do condutor (Kgf/m)	0,5471
w' - Peso da manga de gelo (Kgf/m)	0,744
$\beta$ – Ângulo do Apoio (°)	<i>Variável</i>
$F_L$ – Força Longitudinal (daN)	A calcular
$F_T$ – Força Transversal (daN)	A calcular
$F_V$ – Força Vertical (daN)	A calcular

Tabela 13 - Parâmetros para cálculo da estabilidade dos apoios

### 3.5.8.1. Apoios de alinhamento

Segundo o artigo 56 do R.S.L.E.A.T., os apoios de alinhamento das linhas em condutores nus deverão ser calculados tendo em conta as hipóteses apresentadas a seguir, as quais se encontram agrupadas de acordo com o tipo de acções (normais e excepcionais) e não devem ser consideradas em simultâneo.

#### a) Acções normais

Hipótese 1:

A sobrecarga de vento actuando segundo a direcção normal da linha, sobre o apoio, as travessas, os isoladores, os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio.

Considerar, simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das tracções dos condutores e dos cabos de guarda.

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda

Hipótese 2:

A força horizontal, deve ter valor igual a um quinto da resultante das forças provenientes da acção do vento segundo a direcção normal à linha sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio.

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

**b) Acções excepcionais:** não serão de considerar neste tipo de apoio.

Na tabela 14 é apresentado um resumo das hipóteses relativas aos esforços a que estão sujeitos os apoios e alinhamento, segundo o artigo 56º do R.S.L.E.A.T.

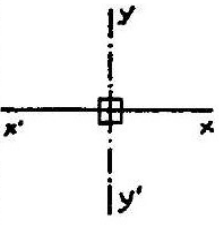
APOIO EM ALINHAMENTO			
FUNÇÃO	SOLICITAÇÕES NORMAIS		SOLICITAÇÕES EXCEPCIONAIS
	<b>HIPOTESE 1</b>		Não é de Considerar
	Esforço Horizontal Transversal	$F_T = w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$	
	Esforço Vertical	$F_V = w' \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$	
	<b>HIPOTESE 2</b>		
Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = \frac{F_T}{5}$		

Tabela 14 - Solicitações de apoio em alinhamento

Dado que a linha a projectar apresenta 34 apoios em alinhamento, foi seleccionado, de forma aleatória, o apoio nº 15 para a efectuar o cálculos dos esforços a que estão sujeitos os apoios deste tipo, o qual apresentamos a seguir.

### Esforço Horizontal Transversal - Esforço no sentido normal à linha (eixo yy')

Segundo a hipótese 1, é de considerar neste caso a força do vento exercida sobre os condutores, sobre as travessas e sobre as cadeias de isoladores. No entanto, por se tratar de um valor muito pequeno face aos demais, os esforços de vento sobre as travessas são desprezados. No que diz respeito aos esforços do vento sobre as cadeias foi considerado o valor tabelado de 30 daN por cadeia.

O cálculo dos esforços sobre os condutores depende da pressão do vento assim como da sua área exposta e é calculado através da seguinte expressão:

$$F_T = 3w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] \quad (\text{Equação 3.41})$$

Em que,

w é a força do vento sobre os condutores ( $w = \alpha c q s$ );

S1 e S2 são os vãos adjacentes ao apoio.

Logo,

$$w = \alpha.c.q.s = 0,6 \times 1 \times 36 \times 36,28 \times 10^{-3} = 0,784 \text{ daN/m}$$

Então:

$$F_T^{\text{condutores}} = 3w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$$

$$F_T^{\text{condutores}} = 3 \times 0,784 \times \left[ \frac{176,25 + 243,41}{2} \right]$$

$$F_T^{\text{condutores}} = 492,89 \text{ daN}$$

$$F_T^{\text{cadeias}} = 3 \times 30 = 90 \text{ daN}$$

Finalmente:

$$F_T = F_T^{\text{condutores}} + F_T^{\text{cadeias}}$$

$$F_T = 492,89 + 90$$

$$F_T = 582,89 \text{ daN}$$

### Esforço Vertical - Esforço no sentido normal à linha (eixo zz')

No cálculo do esforço vertical considera-se a força devida ao peso dos próprios condutores que é calculado através da expressão seguinte:

$$F_V = 3w' \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] + 3w_g \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] \quad (\text{Equação 3.42})$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{176,25 + 243,41}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{176,25 + 243,41}{2} \right]$$

$$F_V = 812,73 \text{ daN}$$

Em que:

$w'$  é peso próprio do condutor.

#### Esforço Horizontal Longitudinal - Esforço no sentido da linha (eixo xx')

Segundo a hipótese 2, neste tipo de apoio é de considerar a resultante das forças provenientes da acção do vento que actua na direcção normal da linha sobre os condutores, calculado através da expressão seguinte:

$$F_L = \frac{F_T}{5} \quad (\text{Equação 3.43})$$

$$F_L = \frac{582,89}{5}$$

$$F_L = 116,58 \text{ daN}$$

O apoio utilizado para desempenhar a função de alinhamento corresponde a um MM04/2250 com 20 m. Como se pode verificar no diagrama de esforços úteis, apresentado no anexo V, este apoio é suficientemente robusto para suportar os esforços acima calculados. Optou-se por um apoio de betão, pois para além do custo ser mais baixo, os acessos á sua localização são bastante bons o que permite facilidade no transporte e levantamento.

#### **3.5.8.2. Apoios de ângulo**

Segundo o artigo 57 do R.S.L.E.A.T., os apoios de ângulo deverão ser calculados para as hipóteses seguintes, as quais não deverão ser consideradas em simultâneo:

##### **a) Acções normais**

Hipótese 1:

Considerar, a sobrecarga resultante da actuação do vento segundo a direcção da bissectriz do ângulo sobre o apoio, as travessas, os isoladores e ainda sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio.

Considerar, simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das tracções exercidas pelos condutores à temperatura de + 15°C, com vento actuando segundo a direcção da bissectriz do ângulo.

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

Hipótese 2:

A força horizontal de ter valor igual a um quinto da resultante das forças provenientes da acção do vento segundo a direcção da bissectriz do ângulo, sobre os condutores e os sobre os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio, actuando no eixo do apoio, na direcção normal à bissectriz do ângulo, à altura daquela resultante.

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

b) **Ações excepcionais:** não serão de considerar neste tipo de apoio.

Para efeitos de cálculo das componentes horizontais das tracções dos condutores e dos cabos de guarda a força devida ao vento pode ser considerada como actuando na direcção normal aos condutores.

No caso de os eixos principais da secção do apoio não serem orientados segundo a bissectriz do ângulo ou segundo a normal a esta, pode considerar-se que a sobrecarga de vento sobre o apoio actua segundo esses eixos principais.

Na tabela 15 estão definidos em termos matemáticos, os esforços a que estão sujeitos os apoios em ângulo segundo o artigo 57º do R.S.L.E.A.T.

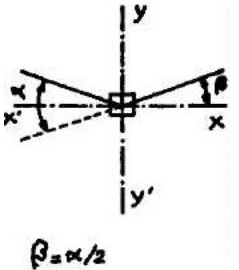
APOIO EM ÂNGULO			
FUNÇÃO	SOLICITAÇÕES NORMAIS	SOLICITAÇÕES EXCEPCIONAIS	
 <p><math>\beta = \alpha/2</math></p>	<b>HIPOTESE 1</b>		
	Esforço Horizontal Transversal	$F_T = w \cos^2(\beta) \left( \frac{S_1 + S_2}{2} \right) + 2T \sin(\beta)$	Não é de Considerar
	Esforço Vertical	$F_V = w' \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$	
	Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = T \cos(\beta)$	
	<b>HIPOTESE 2</b>		
Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = \frac{F_T}{5}$		

Tabela 15 - Solicitações de apoio em ângulo

A linha a projectar apresenta 2 apoios em ângulo. O apoio escolhido para fazer a demonstração dos cálculos dos esforços foi o nº 24, que possui um ângulo de  $\beta=17,39^\circ$ . De acordo com o artigo 57º do R.S.L.E.A.T. os esforços a que o apoio em ângulo está sujeito são calculados da seguinte forma:

Esforço Horizontal Transversal - Esforço no sentido normal à linha (eixo yy')

Segundo a hipótese 1, para o cálculo do esforço horizontal transversal, considera-se a força do vento, segundo a direcção da bissectriz do ângulo exercida sobre os condutores, sobre as travessas e sobre as cadeias de isoladores. Tendo em conta que o esforço de vento sobre as travessas é insignificante relativamente aos restantes esforços, este é desprezado. Por sua vez, considera-se o valor tabelado de 30 daN para o esforço do vento sobre cada uma das cadeias

O cálculo dos esforços sobre os condutores depende da pressão exercida pelo vento e da área de condutores exposta, sendo obtida através da seguinte expressão:

$$F_T^{condutores} = w \cos^2(\beta) \left( \frac{S_1 + S_2}{2} \right) + 2T \sin(\beta) \quad (\text{Equação 3.44})$$

$$F_T^{condutores} = 3 \left[ 0,784 \times \cos^2(17,39) \times \left[ \frac{429,55 + 235,9}{2} \right] + 2 \times 1418,4 \times \sin(17,39) \right]$$

$$F_T^{condutores} = 3257,54 \text{ daN}$$

$$F_T^{cadeias} = 3 \times 30 = 90 \text{ daN}$$

Em que,

w é a força do vento exercida sobre os condutores ( $w = \alpha c q_s$ );

S1 e S2 são os vãos adjacentes ao apoio

T é a tracção do condutor

$\beta$  é o ângulo

Finalmente:

$$F_T = 3257,54 + 90 = 3347,54 \text{ daN}$$

Esforço Vertical - Esforço no sentido normal à linha (eixo zz')

Para calcular o esforço vertical considera-se o peso dos próprios condutores de acordo com a expressão 3.42.

$$F_V = 3w' \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] + 3w_g \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{429,55 + 235,9}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{429,55 + 235,9}{2} \right]$$

$$F_V = 1288,76 \text{ daN}$$

#### Esforço Horizontal Longitudinal - Esforço no sentido da linha (eixo xx')

O esforço horizontal longitudinal é calculado através da expressão seguinte,

$$F_L = 3T \cos(\beta) \quad (\text{Equação 3.45})$$

$$F_L = 3 \times 1418,4 \times \cos(17,39)$$

$$F_L = 4059,56 \text{ daN}$$

#### Esforço Horizontal Longitudinal - Esforço no sentido da linha (eixo xx')

Segundo a hipótese 2, o cálculo do esforço horizontal longitudinal considera a resultante das forças provenientes da acção do vento segundo a direcção da bissetriz do ângulo, sobre os condutores e é calculado tendo em conta a expressão 3.43.

$$F_L = \frac{F_T}{5}$$

$$F_L = \frac{3347,54}{5}$$

$$F_L = 669,51 \text{ daN}$$

O apoio utilizado para desempenhar a função de ângulo corresponde a um RS42 com 22,8 m. Como se pode verificar no diagrama de esforços úteis apresentado no anexo V, este apoio é suficientemente robusto para suportar os esforços acima calculados. Para além do dimensionamento e das exigências em termos de resistência e robustez do apoio, o facto de a preferência incidir por apoio metálico prende-se também com a dificuldade de acessos. A opção por um apoio de betão poderia trazer complicações ao nível do transporte e do levantamento do apoio.

#### **3.5.8.3. Apoios de derivação**

Segundo o artigo 58 do R.S.L.E.A.T., os apoios de derivação deverão ser calculados para as hipóteses seguintes, as quais não devem ser consideradas em simultâneo e deverão ter em conta as acções normais e excepcionais.

## a) Acções normais

### Hipótese 1

Caso o apoio seja de derivação em alinhamento deve considerar-se a sobrecarga resultante da actuação do vento, segundo a direcção normal da linha principal sobre o apoio, as travessas, os isoladores e ainda sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio. Caso o apoio seja de derivação em ângulo deve considerar-se a sobrecarga resultante da actuação do vento segundo a direcção da bissectriz do ângulo sobre o apoio, as travessas, os isoladores e ainda sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio.

Considerar, simultaneamente, a actuação da sobrecarga do vento segundo a direcção anteriormente considerada, sobre os condutores e os cabos de guarda no meio vão adjacente das linhas derivadas.

Considerar, simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das tracções exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas à temperatura de +15°C, com a actuação do vento segundo a direcção atrás considerada.

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas.

### Hipótese 2

Caso o apoio seja de derivação em alinhamento deve considerar-se a sobrecarga resultante da actuação do vento, segundo a direcção normal da linha principal sobre o apoio, as travessas, os isoladores e ainda sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio. Caso o apoio seja de derivação em ângulo deve considerar-se a sobrecarga resultante da actuação do vento segundo a direcção da bissectriz do ângulo sobre o apoio, as travessas, os isoladores e ainda sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio.

Considerar, simultaneamente, a actuação da sobrecarga do vento segundo a direcção anteriormente considerada, sobre os condutores e os cabos de guarda no meio vão adjacente das linhas derivadas.

Considerar, simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das tracções exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas à temperatura de +15°C, com a actuação do vento segundo a direcção atrás considerada.

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas.

b) **Acções excepcionais:** não serão de considerar neste tipo de apoio.

Relativamente às hipóteses apresentadas anteriormente, deverão ser feitas as seguintes considerações:

Para linhas estabelecidas fora das zonas de gelo, a verificação da hipótese 2 será dispensada nos casos em que, para cada uma das linhas derivadas, o apoio contíguo ao de derivação seja um apoio de fim de linha situado na proximidade daquele e a tração máxima dos condutores, no vão limitado por aqueles apoios, seja desprezável.

No caso de linhas de 2.ª classe (linhas cuja tensão nominal é superior a 1000V e inferior a 40 000V) em que o vão da linha derivada não seja superior a 100m e a fixação dos condutores da linha principal no apoio de derivação seja feita por intermédio de isoladores rígidos ou cadeias de amarração, não será considerada a acção do vento sobre as linhas principal e derivada, prevista na hipótese 2 da alínea a) no nº1.

O disposto no n.º 4 não deverá ser aplicado a linhas estabelecidas em zonas de gelo, nem quando a secção da linha derivada for superior a 16mm<sup>2</sup> se de cobre ou 55mm<sup>2</sup> de alumínio-aço ou de liga de alumínio.

Os esforços a que estão sujeitos os apoios de derivação encontra-se definidos em termos matemáticos e segundo o artigo 58 do R.S.L.E.A.T., na tabela 16.

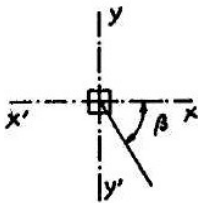
APOIO EM DERIVAÇÃO			
FUNÇÃO	SOLICITAÇÕES NORMAIS	SOLICITAÇÕES EXCEPCIONAIS	
	<b>HIPOTESE 1</b>		
	Esforço Horizontal Transversal	$F_T = w \operatorname{sen}^2(\beta) \left( \frac{S_1 + S_2}{2} \right) + 2T \cos(\beta)$	Não é de Considerar
	Esforço Vertical	$F_V = w' \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$	
	Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = T \operatorname{sen}(\beta)$	
	<b>HIPOTESE 2</b>		
	Esforço Horizontal Transversal	$F_T = T \cos(\beta)$	
	Esforço Vertical	$F_V = w' \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$	
Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = T \operatorname{sen}(\beta)$		

Tabela 16 - Solicitações de apoio em derivação

### 3.5.8.4. Apoios de reforço em alinhamento

Segundo o artigo 59º do R.S.L.E.A.T., os apoios de reforço em alinhamento deverão ser calculados para as hipóteses seguintes, as quais não devem considerar-se simultaneamente:

### **a) Acções normais**

#### Hipótese 1:

A sobrecarga de vento actuando segundo a direcção normal da linha, sobre o apoio, as travessas, os isoladores, os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio.

Considerar, simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das tracções dos condutores e dos cabos de guarda.

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda

#### Hipótese 2:

Considerar a força horizontal um quinto da resultante das forças provenientes da acção do vento segundo a direcção normal à linha sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio.

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

### **b) Acções excepcionais**

#### Hipótese 3

Considerar as componentes horizontais das tracções máximas exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda, ponderando a rotura de um qualquer dos condutores ou dos cabos de guarda

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

No caso de linhas duplas ou em condutores múltiplos, a força a considerar na hipótese 2 deverá ser de valor igual a metade da soma das componentes horizontais das tracções máximas unilaterais exercidas por todos os condutores e pelos cabos de guarda.

A verificação da hipótese 3 será dispensada nas linhas de 2ª classe e ainda nas de 3ª classe cujos apoios disponham de braços articulados, devendo, neste último caso, provar-se que o apoio não está sujeito a esforços de torção.

A definição matemática dos esforços a que estão sujeitos os apoios de reforço de alinhamento segundo o artigo 59º do R.S.L.E.A.T. é apresentada na tabela 17.

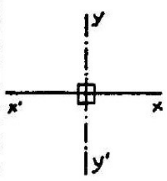
APOIO EM REFORÇO ALINHAMENTO				
FUNÇÃO	SOLICITAÇÕES NORMAIS		SOLICITAÇÕES EXCEPCIONAIS	
	HIPOTESE 1		HIPOTESE 3	
	Esforço Horizontal Transversal	$F_T = w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$	Esforço Horizontal Transversal	
	Esforço Vertical	$F_V = w' \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$	Esforço Vertical	$F_V = w' \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$
	Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = T$	Esforço Horizontal Longitudinal	
	HIPOTESE 2			
	Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = \frac{2}{3} T$		

Tabela 17 - Solicitações de apoio em reforço alinhamento

A linha a projectar apresenta 2 apoios em reforço de alinhamento. Para efeito de calculo foi seleccionada o apoio nº 17. De acordo com o artigo 59º do R.S.L.E.A.T. os esforços a que o apoio em alinhamento está sujeito são calculados da seguinte forma:

Esforço Horizontal Transversal - Esforço no sentido normal à linha (eixo yy')

Segundo a hipótese 1, no cálculo do esforço horizontal transversal é de considerar a força do vento exercida sobre os condutores, sobre as travessas e sobre as cadeias de isoladores. Tal como nos outros tipos de apoios, os esforços associados á acção de vento sobre as travessas são desprezados, por se tratar de um valor muito pequeno comparados com a acção do vento sobre as cadeias, cujo valor tabelado é de 30 daN por cadeia.

Assim, o cálculo dos esforços sobre os condutores é obtido através da expressão 3.41:

$$F_T^{condutores} = 3w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$$

$$F_T^{condutores} = 3 \times 0,784 \times \left[ \frac{240,9 + 114,9}{2} \right]$$

$$F_T^{condutores} = 418,42 \text{ daN}$$

$$F_T^{cadeias} = 3 \times 30 = 90 \text{ daN}$$

Finalmente:

$$F_T = 418,42 + 90 = 508,42 \text{ daN}$$

### Esforço Vertical - Esforço no sentido normal à linha (eixo zz')

No cálculo do esforço vertical é necessário considerar o peso dos próprios condutores obtido através da expressão 3.42.

$$F_V = 3w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] + 3w_g \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{240,9 + 114,9}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{240,9 + 114,9}{2} \right]$$

$$F_V = 689,06 \text{ daN}$$

### Esforço Horizontal Longitudinal - Esforço no sentido da linha (eixo xx')

Segundo a hipótese 2, no cálculo do esforço horizontal longitudinal devem ser consideradas as tracções máximas exercidas pelos condutores. Assim este esforço é determinado através da expressão seguinte:

$$F_L = \frac{2}{3} 3T \quad (\text{Equação 3.46})$$

$$F_L = 2 \times 1418,4$$

$$F_L = 2836,8 \text{ daN}$$

O apoio utilizado para desempenhar a função de reforço de alinhamento corresponde a um RS42 de 20,8 m. Como se pode verificar no diagrama de esforços úteis apresentado no anexo V, este apoio é suficientemente robusto para suportar os esforços acima calculados. Tal como no caso do apoio em ângulo, a escolha incidu sobre um apoio metálico por razões relacionadas com dificuldades de acesso.

#### **3.5.8.5. Apoios de reforço em ângulo**

Segundo o artigo 60º do R.S.L.E.A.T., os apoios de reforço em ângulo deverão ser calculados tendo em conta as hipóteses seguintes, que não devem ser consideradas em simultâneo:

##### **a) Acções normais**

###### **Hipótese 1**

Considerar, a sobrecarga resultante da actuação do vento segundo a direcção da bissetriz do ângulo sobre o apoio, as travessas, os isoladores e ainda sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio.

Considerar, simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das tracções exercidas pelos condutores à temperatura de + 15°C, com vento actuando segundo a direcção da bissetriz do ângulo.

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

Hipótese 2

A força deve ter valor igual a dois terços da soma das componentes horizontais das tracções máximas unilaterais exercidas pelos condutores e cabos de guarda, actuando no eixo do apoio, na direcção normal à bissectriz do ângulo, à altura daquela resultante.

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

**b) Acções excepcionais**

Hipótese 3

Considerar as componentes horizontais das tracções máximas exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda, ponderando a rotura de um qualquer dos condutores ou dos cabos de guarda

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

No cálculo dos apoios de reforço em ângulo será aplicável o disposto nos pontos 2 e 3 do artigo 57º (apoios de ângulo) e nos 2 e 3 do artigo 59º (apoios de reforço em alinhamento).

A definição matemática dos esforços a que estão sujeitos os apoios de reforço de ângulo segundo o artigo 60º do R.S.L.E.A.T., é apresentado na tabela 18.

APOIO EM REFORÇO ÂNGULO				
FUNÇÃO	SOLICITAÇÕES NORMAIS		SOLICITAÇÕES EXCEPCIONAIS	
	<b>HIPOTESE 1</b>		<b>HIPOTESE 3</b>	
	Esforço Horizontal Transversal	$F_T = w \cos^2(\beta) \left( \frac{S_1 + S_2}{2} \right) + 2T \operatorname{sen}(\beta)$	Esforço Horizontal Transversal	$F_T = 2T \operatorname{sen}(\beta)$
	Esforço Vertical	$F_V = w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$	Esforço Vertical	$F_V = w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$
	Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = T \cos(\beta)$	Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = T \cos(\beta)$
	<b>HIPOTESE 2</b>			
	Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = \frac{2}{3} T \cos(\beta)$		

Tabela 18 - Solicitações de apoio em reforço ângulo

A linha a projectar tem um apoio em reforço de ângulo, o nº 30, que possui um ângulo de  $\beta=43,62$ . De acordo com o artigo 60º do R.S.L.E.A.T. os esforços a que o apoio está sujeito são calculados da seguinte forma:

Esforço Horizontal Transversal - Esforço no sentido normal à linha (eixo yy')

Segundo a hipótese 1, para o cálculo do esforço horizontal transversal, considera-se a força do vento, segundo a direcção da bissetriz do ângulo exercida sobre os condutores, sobre as travessas e sobre as cadeias de isoladores. Tendo em conta que o esforço de vento sobre as travessas é insignificante relativamente aos restantes esforços, este é desprezado. Por sua vez, considera-se o valor tabelado de 30 daN para o esforço do vento sobre cada uma das cadeias.

O cálculo do esforço horizontal transversal é obtido através da expressão 3.44:

$$F_T^{condutores} = w \cos^2(\beta) \left( \frac{S_1 + S_2}{2} \right) + 2T \sin(\beta)$$

$$F_T^{condutores} = 3 \left[ 0,784 \times \cos^2(43,62) \times \left[ \frac{268,79 + 453,93}{2} \right] + 2 \times 1418,4 \times \sin(43,62) \right]$$

$$F_T^{condutores} = 6317,53 \text{ daN}$$

$$F_T^{cadeias} = 3 \times 30 = 90 \text{ daN}$$

Em que,

w é a força do vento sobre os condutores ( $w = \alpha c q_s$ );

S1 e S2 são os vãos adjacentes ao apoio

T é a tracção do condutor

$\beta$  é o ângulo

Finalmente:

$$F_T = 6317,53 + 90 = 6407,53 \text{ daN}$$

Esforço Vertical - Esforço no sentido normal à linha (eixo zz')

É de considerar neste o peso dos próprios condutores que é calculado tendo em conta a expressão 3.42:

$$F_V = 3w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] + 3w_g \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{268,79 + 453,93}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{268,79 + 453,93}{2} \right]$$

$$F_V = 1399,66 \text{ daN}$$

#### Esforço Horizontal Longitudinal - Esforço no sentido da linha (eixo xx')

Para este tipo de apoio no cálculo do esforço horizontal longitudinal, são de considerar as trações máximas exercidas pelos condutores, que são obtidas através da expressão 3.45:

$$F_L = 3T \cos(\beta)$$

$$F_L = 3 \times 1418,4 \times \cos(43,62)$$

$$F_L = 3080,77 \text{ daN}$$

#### Esforço Horizontal Longitudinal - Esforço no sentido da linha (eixo xx')

Segundo a hipótese 2, o cálculo do esforço horizontal longitudinal é calculado através da expressão seguinte:

$$F_L = \frac{2}{3} 3T \cos(\beta) \quad (\text{Equação 3.47})$$

$$F_L = 2 \times 1418,4 \times \cos(43,62)$$

$$F_L = 2053,84 \text{ daN}$$

#### Esforço Horizontal Transversal - Esforço no sentido normal à linha (eixo yy')

Segundo a hipótese 3, o cálculo do esforço horizontal transversal é calculado através da expressão 3.48:

$$F_T = 2T \sin(\beta) \quad (\text{Equação 3.48})$$

$$F_T^{\text{condutores}} = 3[2 \times 1418,4 \times \sin(43,62)]$$

$$F_T^{\text{condutores}} = 5872,58 \text{ daN}$$

$$F_T^{\text{cadeias}} = 3 \times 30 = 90 \text{ daN}$$

Finalmente:

$$F_T = 5872,58 + 90 = 5962,18 \text{ daN}$$

### Esforço Vertical - Esforço no sentido normal à linha (eixo zz')

O cálculo do esforço vertical segundo a hipótese 3 é obtido através da expressão 3.42. Como os parâmetros envolvidos neste cálculo são exactamente os mesmos da hipótese 1, podemos afirmar que a força vertical exercida em cada uma das hipóteses assume o mesmo valor. Assim,

$$F_V = 1399,66 \text{ daN}$$

### Esforço Horizontal Longitudinal - Esforço no sentido da linha (eixo xx')

O cálculo do esforço horizontal longitudinal segundo a hipótese 3 é obtido através da expressão 3.45. Tal como no cálculo do esforço vertical e dado que os parâmetros envolvidos são os mesmos da hipótese 1, podemos afirmar que o esforço horizontal longitudinal em cada uma das hipóteses assume o mesmo valor. Assim,

$$F_L = 3080,77 \text{ daN}$$

O apoio utilizado para desempenhar a função de reforço de ângulo corresponde a um RS42 de 22,8 m. Como se pode verificar no diagrama de esforços úteis presente em anexo, este apoio é suficientemente robusto para suportar os esforços acima calculados.

#### **3.5.8.6. Apoios de reforço em derivação**

Segundo o artigo 61º do R.S.L.E.A.T., os apoios de reforço derivação deverão ser calculados tendo em conta as hipóteses apresentadas a seguir, as quais não deverão ser consideradas em simultâneo.

##### **a) Acções normais**

###### Hipótese 1

Caso o apoio seja de derivação em alinhamento deve considerar-se a sobrecarga resultante da actuação do vento, segundo a direcção normal da linha principal sobre o apoio, as travessas, os isoladores e ainda sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio. Caso o apoio seja de derivação em ângulo deve considerar-se a sobrecarga resultante da actuação do vento segundo a direcção da bissectriz do ângulo sobre o apoio, as travessas, os isoladores e ainda sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio.

Considerar, simultaneamente, a actuação da sobrecarga do vento segundo a direcção anteriormente considerada, sobre os condutores e os cabos de guarda no meio vão adjacente das linhas derivadas.

Considerar, simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das tracções exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas à temperatura de +15°C, com a actuação do vento segundo a direcção atrás considerada.

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas.

**Hipótese 2**

A força deve ter valor igual a dois terços da soma das componentes horizontais das tracções máximas exercidas por todos os condutores e os cabos de guarda, actuando no eixo do apoio e à altura da resultante dessas tracções, na direcção normal à bissetriz do ângulo da linha principal se o apoio for de ângulo.

Considerar, simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das tracções exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas.

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas.

**b) Acções excepcionais**

**Hipótese 3**

Considerar as componentes horizontais das tracções máximas exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda, ponderando a rotura de um qualquer dos condutores ou dos cabos de guarda

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

No cálculo dos apoios de reforço em ângulo será aplicável o disposto nos pontos 2 e 3 do artigo 57º (apoios de ângulo) e nos 2 e 3 do artigo 59º (apoios de reforço em alinhamento).

A definição matemática dos esforços a que estão sujeitos os apoios de reforço em derivação segundo o artigo 61º do R.S.L.E.A.T., são apresentados na tabela 19.

APOIO EM REFORÇO DERIVAÇÃO				
FUNÇÃO	SOLICITAÇÕES NORMAIS		SOLICITAÇÕES EXCEPCIONAIS	
	<b>HIPOTESE 1</b>		<b>HIPOTESE 3</b>	
	Esforço Horizontal Transversal	$F_T = w \operatorname{sen}^2(\beta) \left( \frac{S_1 + S_2}{2} \right) + T \cos(\beta)$	Esforço Horizontal Transversal	$F_T = T \cos(\beta)$
	Esforço Vertical	$F_V = w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$	Esforço Vertical	$F_V = w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$
	Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = T \operatorname{sen}(\beta)$	Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = T \operatorname{sen}(\beta)$
	<b>HIPOTESE 2</b>			
	Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = \frac{2}{3} T \operatorname{sen}(\beta)$		
	Esforço Vertical	$F_V = w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$		

Tabela 19 - Solicitações de apoio em reforço derivação

A linha a projectar possui um apoio em reforço de derivação, tratando-se do apoio número 8. Este apoio deriva da linha principal para a SE do Pinhal Novo com um ângulo  $\beta_1=36,85^\circ$ . E para um outro parque eólico (excluído do presente projecto) com um ângulo  $\beta_2=24,48^\circ$ . Assim, com a finalidade de facilitar análise dos esforços que actuam sobre este tipo apoio, opta-se por estudar cada vão de forma separada. A figura 29 exemplifica as derivações do apoio número 8.

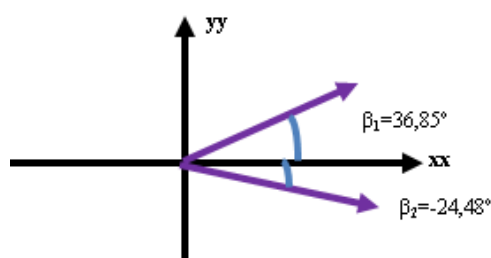


Figura 30 - Linhas de derivação no apoio nº8

#### Esforço Horizontal Transversal - Esforço no sentido normal à linha (eixo yy')

Segundo a hipótese 1, para o cálculo do esforço horizontal transversal, considera-se a sobrecarga resultante da actuação do vento, segundo sobre o apoio, as travessas, os isoladores e ainda sobre os condutores e os cabos de guarda. Tendo em conta que o esforço do vento sobre as travessas é insignificante relativamente aos restantes esforços, este é desprezado. Por sua vez, considera-se o valor tabelado de 30 daN para o esforço do vento sobre cada uma das cadeias. Assim, o esforço horizontal transversal é obtido através da expressão 3.49.

$$F_T = w \operatorname{sen}^2(\beta) \left( \frac{S_1 + S_2}{2} \right) + T \cos(\beta) \quad (\text{Equação 3.49})$$

Em que,

- w é a força do vento sobre os condutores ( $w = \alpha c q_s$ );
- S1 e S2 são os vãos adjacentes ao apoio
- T é a tracção do condutor
- $\beta$  é o ângulo

Assim, tendo em consideração a expressão 3.49, é possível realizar o cálculo do esforço horizontal transversal para cada um dos vãos, de forma separada, de acordo com os ângulos de deslocação ( $\beta_1=36,85^\circ$ ,  $\beta_2=24,48^\circ$  e  $\beta_3=180^\circ$ )

$$F_T = 3 \times \left[ 0,784 \cos^2(180) \left( \frac{151,13}{2} \right) + 1418,4 \operatorname{sen}(180) \right] = -4255,2 \text{ daN}$$

$$F_T = 3 \times \left[ 0,784 \cos^2(-24,48) \left( \frac{156,47}{2} \right) + 1418,4 \operatorname{sen}(-24,48) \right] = 3808,93$$

$$F_T = 3 \times \left[ 0,784 \cos^2(36,85) \left( \frac{203,83}{2} \right) + 1418,4 \operatorname{sen}(36,85) \right] = 3576,27 \text{ daN}$$

$$F_T = -4255,2 + 3808,93 + 3576,27 = 3130 \text{ daN}$$

$$F_T^{\text{condutores}} = 3130 \text{ daN}$$

$$F_T^{\text{cadeias}} = 3 \times 30 = 90 \text{ daN}$$

$$F_T = 3130 + 90 = 3220 \text{ daN}$$

### Esforço Vertical - Esforço no sentido normal à linha (eixo zz')

Também segundo a hipótese 1 e para o cálculo do esforço vertical, considera-se o peso dos próprios condutores e cabos de guarda e é obtido através da expressão 3.50:

$$F_V = 3w' \left[ \frac{S_1}{2} \right] + 3w_g \left[ \frac{S_1}{2} \right] \quad (\text{Equação 3.50})$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{151,13}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{151,13}{2} \right] = 292,69 \text{ daN}$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{156,47}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{156,47}{2} \right] = 394,75 \text{ daN}$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{203,83}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{203,83}{2} \right] = 303,03 \text{ daN}$$

$$F_V = 292,69 + 394,75 + 303,03 = 990,46 \text{ daN}$$

### Esforço Horizontal Longitudinal - Esforço no sentido da linha (eixo xx')

Ainda segundo a hipótese 1 e para o cálculo do esforço horizontal longitudinal, são consideradas as tracções máximas exercidas, calculadas através da expressão 3.51.

$$F_L = 3T \operatorname{sen}(\beta) \quad (\text{Equação 3.51})$$

$$F_L = 3 \times 1418,4 \times [\operatorname{sen}(180) + \operatorname{sen}(36,85) + \operatorname{sen}(-24,48)]$$

$$F_L = 621,26 \text{ daN}$$

### Esforço Horizontal Longitudinal - Esforço no sentido da linha (eixo xx')

Segundo a hipótese 2, para o cálculo da força horizontal longitudinal deve ter-se em consideração as tracções máximas exercidas por todos os condutores e os cabos de guarda, calculadas através da expressão 3.51.

$$F_L = \frac{2}{3} \times 3 \times T \times \text{sen}(\beta) \quad (\text{Equação 3.52})$$

$$F_L = \frac{2}{3} \times 621,26 = 414,17 \text{ daN}$$

### Esforço Vertical - Esforço no sentido normal à linha (eixo zz')

Ainda segundo a hipótese 2 e para o cálculo do esforço vertical, considera-se o peso dos próprios condutores e cabos de guarda e é obtido através da expressão 3.50:

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{151,13}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{151,13}{2} \right] = 292,69 \text{ daN}$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{156,47}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{156,47}{2} \right] = 394,75 \text{ daN}$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{203,83}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{203,83}{2} \right] = 303,03 \text{ daN}$$

$$F_V = 292,69 + 394,75 + 303,03 = 990,46 \text{ daN}$$

### Esforço Horizontal Transversal - Esforço no sentido normal à linha (eixo yy')

Segundo a hipótese 3, para o cálculo da força horizontal transversal deve ter-se em consideração as tracções máximas exercidas por todos os condutores e os cabos de guarda, calculadas através da expressão 3.45.

$$F_T = 3T \cos(\beta)$$

$$F_T = 3 \times 1418,4 \times [\cos(180) + \cos(36,85) + \cos(24,48)]$$

$$F_T = 621,26 \text{ daN}$$

### Esforço Vertical - Esforço no sentido normal à linha (eixo zz')

Também segundo a hipótese 3 e para o cálculo do esforço vertical, considera-se o peso dos próprios condutores e cabos de guarda e é obtido através da expressão 3.50:

$$F_V = 3w' \left[ \frac{S_1}{2} \right] + 3w_g \left[ \frac{S_1}{2} \right]$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{151,13}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{151,13}{2} \right] = 292,69 \text{ daN}$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{156,47}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{156,47}{2} \right] = 394,75 \text{ daN}$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{203,83}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{203,83}{2} \right] = 303,03 \text{ daN}$$

$$F_V = 292,69 + 394,75 + 303,03 = 990,46 \text{ daN}$$

### Esforço Horizontal Longitudinal - Esforço no sentido da linha (eixo xx')

Ainda segundo a hipótese 3 e para o cálculo do esforço horizontal longitudinal, são consideradas as tracções máximas exercidas, calculadas através da expressão 3.51.

$$F_L = 3T \text{sen}(\beta)$$

$$F_L = 3 \times 1418,4 \times [\text{sen}(180) + \text{sen}(36,85) + \text{sen}(24,48)]$$

$$F_L = 621,26 \text{ daN}$$

O apoio utilizado para desempenhar a função de reforço de derivação corresponde a um RS63 de 22,6 m. Através do diagrama de esforços úteis presente em anexo, podemos verificar que este apoio é suficientemente robusto para suportar os esforços acima calculados.

### **3.5.8.7. Apoios de fim de linha**

Segundo o artigo 57 do R.S.L.E.A.T., 62 do R.S.L.E.A.T., os apoios de fim de linha deverão ser calculados para as hipóteses seguintes, as quais não deverão ser consideradas em simultâneo:

#### **a) Acções normais**

##### Hipótese 1

Considerar, a sobrecarga de vento actuando segundo a direcção normal da linha, sobre o apoio, as travessas, os isoladores, os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio.

Considerar, simultaneamente, a resultante das tracções exercidas pelos condutores e cabos de guarda à temperatura de + 15°C, segundo a direcção atrás considerada.

## b) Acções excepcionais

### Hipótese 3

Considerar as componentes horizontais das tracções máximas exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda, ponderando a rotura de um qualquer dos condutores ou dos cabos de guarda

Considerar, simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

A definição matemática dos esforços a que estão sujeitos os apoios de reforço em derivação segundo o artigo 61º do R.S.L.E.A.T., são apresentados na tabela 20.

APOIO FIM DE LINHA				
FUNÇÃO	SOLICITAÇÕES NORMAIS		SOLICITAÇÕES EXCEPCIONAIS	
	<b>HIPOTESE 1</b>		<b>HIPOTESE 3</b>	
	Esforço Horizontal Transversal	$F_T = w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$	Esforço Horizontal Transversal	
	Esforço Vertical		Esforço Vertical	$F_V = w' \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right]$
	Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = T$	Esforço Horizontal Longitudinal	$F_L = T$
	<b>HIPOTESE 2</b>			
	Não é de Considerar			

Tabela 20 – Solicitações de Apoio em Reforço Alinhamento

A linha a projectar apresenta 2 apoios em fim de linha. A situação de fim de linha é uma situação particular, sendo que neste caso a face maior do apoio está colocada paralelamente ao eixo x'x. Como existe apenas um vão, S1, o seu ângulo associado tem o valor de 180 graus. Para a demonstração dos cálculos dos esforços a que este tipo de apoios está sujeito, foi seleccionado o último apoio da linha, o nº 42. De acordo com o artigo 62º do R.S.L.E.A.T. os esforços a que o apoio em alinhamento está sujeito são calculados da seguinte forma:

Esforço Horizontal Transversal - Esforço no sentido normal à linha (eixo yy')

Segundo a hipótese 1, para o cálculo do esforço horizontal transversal é considerada a força do vento exercida sobre os condutores, as travessas e as cadeias de isoladores. Tendo em conta que o esforço do vento sobre as travessas é insignificante relativamente aos restantes esforços, este é desprezado. Por sua vez, considera-se o

valor tabelado de 30 daN para o esforço do vento sobre cada uma das cadeias. Assim, o cálculo do esforço horizontal transversal é obtido através da expressão 3.53.

$$F_T^{\text{condutores}} = 3w \left[ \frac{S_1}{2} \right] \quad (\text{Equação 3.53})$$

$$F_T^{\text{condutores}} = 3 \times 0,784 \times \left[ \frac{127,631}{2} \right]$$

$$F_T^{\text{condutores}} = 150,10 \text{ daN}$$

$$F_T^{\text{cadeias}} = 3 \times 30 = 90 \text{ daN}$$

Em que,

- w é a força do vento sobre os condutores (w = acqs);
- S1 e S2 são os vãos adjacentes ao apoio.

Finalmente:

$$F_T = 150,1 + 90 = 240,1 \text{ daN}$$

#### Esforço Horizontal Longitudinal - Esforço no sentido da linha (eixo xx')

Ainda segundo a hipótese 1 e para o cálculo do esforço horizontal longitudinal, serão de considerar as acções das tracções exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda à temperatura de + 15°C, que é obtido através da seguinte expressão:

$$F_L = 3T \quad (\text{Equação 3.54})$$

$$F_L = 3 \times 1418,4$$

$$F_L = 4255,2 \text{ daN}$$

Em que,

T é a tracção do condutor

#### Esforço Vertical - Esforço no sentido normal à linha (eixo zz')

Segundo a hipótese 3, é de considerar para o cálculo do esforço vertical o peso dos próprios condutores e cabos de guarda, que é obtido através da expressão 3.56.

$$F_V = 3w \left[ \frac{S_1}{2} \right] + 3w_g \left[ \frac{S_1}{2} \right] \quad (\text{Equação 3.55})$$

$$F_V = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{127,631}{2} \right] + 3 \times 0,744 \times \left[ \frac{127,631}{2} \right]$$

$$F_V = 247,19 \text{ daN}$$

O apoio utilizado para desempenhar a função de fim de linha corresponde a um K08/60/28 de 20 m. Como se pode verificar no diagrama de esforços úteis presente em anexo, este apoio é suficientemente robusto para suportar os esforços acima calculados. Visto que também é necessário fazer a transição de cabo aéreo para cabo subterrâneo, é aconselhável a utilização de postes de betão no apoio fim de linha.

### 3.5.8.8. Apoios de linha sem apoios de reforço

O cálculo dos apoios da linha sem apoios de reforço deve ter em conta que o afastamento entre dois apoios de reforço consecutivos deverá ser, em regra, de quinze vãos. No entanto, de acordo com o artigo 64º do R.S.L.E.A.T., este não é aplicável às linhas de 3ª classe.

Assim, as diversas hipóteses de cálculo têm em consideração que os apoios estão sujeitos a dois tipos de solicitações: as normais e as excepcionais.

Das solicitações normais, fazem parte as relacionadas com:

- A sobrecarga de vento sobre o apoio, travessas, isoladores, condutores, e cabos de guarda nos meios vãos adjacentes;
- A resultante das tracções dos condutores e dos cabos de guarda;
- O peso próprio do apoio, travessas, isoladores, condutores e cabos de guarda

Relativamente às solicitações excepcionais devem ser tidas em conta as forças de tracção máximas exercidas pelos condutores e cabos de guarda, considerando a rotura de qualquer um dos condutores ou cabos de guarda.

### 3.5.9. Maciços de fundação

Os maciços de fundação constituem uma parte bastante importante no projecto de linhas aéreas, uma vez que constituem cerca de 30% do preço final do projecto. São feitos de betão ciclópico, que consiste numa junção de betão normal com pedras de dimensão até 30 cm. Na prática, os maciços de fundação não são calculados porque para tipo de poste e para um determinado coeficiente de compressibilidade do terreno, os fabricantes recomendam as respectivas dimensões, de modo assegurar a estabilidade necessária às solicitações a que são sujeitos.

Os maciços de fundação para cada apoio deverão ser dimensionados para que sob o efeito das solicitações máximas a que forem submetidos não se verifique o derrubamento do apoio. Na fase de dimensionamento dos maciços deve ter-se em conta vários critérios relacionados com:

- A natureza dos terrenos;
- A responsabilidade da linha;

- A função do apoio;
- Os esforços envolvidos;
- A altura do apoio.

Os maciços têm a função de transmitir ao solo os esforços resultantes do seu peso próprio e das forças exteriores que lhe estão aplicadas (forças de tracção, forças devidas à acção do vento e peso, dos apoios e todos os outros componentes que lhe estão associados), podendo ser solicitados a esforços de tracção, compressão, torção em torno de um eixo horizontal e mesmo à flexão. O cálculo dos maciços de fundação realizados usando o método de Sulzberger deverão respeitar o disposto no art. 74.º do R.S.L.E.A.T. referente ao cálculo de fundações. O método Sulzberger só é aplicável a maciços construídos sem cofragem e com enchimento total da cova aberta no solo e baseia-se nas seguintes hipóteses de cálculo:

Hipótese 1:

Admite-se que o terreno onde está encastrado o maciço de fundação se comporta elasticamente, quando se verificam pequenos deslocamentos do maciço, e que a reacção do terreno é proporcional ao produto dos deslocamentos do maciço pelos módulos de elasticidade correspondentes. Estes são dados pelo coeficiente de compressibilidade do terreno, que traduz o esforço necessário em daN, para enterrar de 1 cm uma placa de 1 cm<sup>2</sup> de superfície.

Hipótese 2:

Admite-se, também, que para terrenos de natureza e composição uniforme, o coeficiente de compressibilidade é nulo à superfície do solo, aumentando de forma aproximadamente proporcional com a profundidade.

Estas recomendações dizem apenas respeito aos maciços de betão com forma paralelepédica, por serem os de uso mais generalizado nas fundações dos postes de betão armado. A figura 30 representa um poste de betão com uma altura  $H$ , uma altura útil  $h$  e uma profundidade de enterramento  $h_0$  onde  $F$  representa a resultante de forças aplicadas ao apoio reduzida a 0.25m do seu topo.

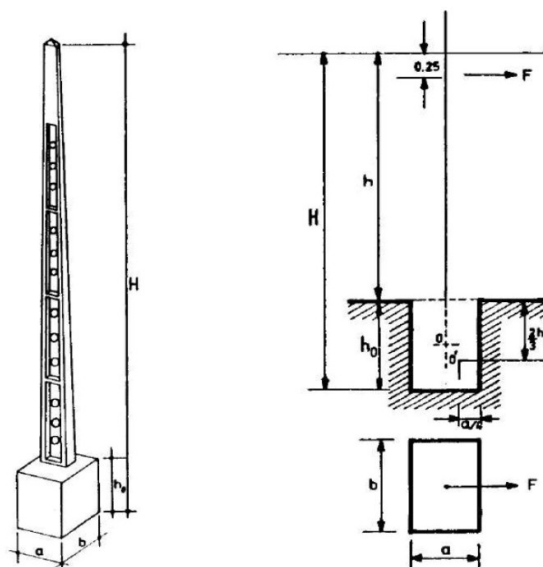


Figura 31 - Apoio de betão e respectivo maciço

Em que:

H é altura do poste de betão;

h é altura útil do poste de betão;

$h_0$  é a profundidade de enterramento;

F é resultante das forças aplicadas reduzida a 0.25m do topo do poste;

a é a dimensão do maciço, em planta, paralela à direcção da força F;

b é a dimensão do maciço, em planta, normal àquela direcção;

$\alpha$  é o ângulo de rotação do maciço;

$o'$  é o ponto situado à  $2/3$  da profundidade de enterramento e à  $1/4$  da largura do maciço medida do lado onde se exerce a força F.

O dimensionamento dos maciços passa pela determinação de vários momentos, nomeadamente, o momento derrubante da força F e o momento resistente da cova (paredes e fundo) onde o maciço é colocado que também chamado de momento estabilizante.

As expressões dos vários momentos apresentadas de seguida são aplicáveis apenas a apoios que verifiquem a relação  $H/h_0 > 5$ . Essas expressões são portanto aplicáveis aos apoios de média tensão a 30 kV uma vez que todos eles possuem alturas iguais ou superiores a 14 m.

O momento derrubante da força F em relação a um eixo de rotação situado em  $o'$ , correspondente à situação de terrenos normais, é dado pela expressão seguinte:

$$M_d = F \left( h - 0,25 + \frac{2}{3} h_0 \right) \quad (daN.m) \quad (\text{Equação 3.56})$$

Por sua vez, o momento estabilizante tem duas componentes principais. Uma delas é devida ao encastramento do maciço no solo e é dada por:

$$M_{e1} = \frac{bh_0^3}{36} C_o tg\alpha \quad (daN.m) \quad (\text{Equação 3.57})$$

Em que  $C_o$  é o valor do coeficiente de compressibilidade do terreno à profundidade  $h_0$ , dado por:

$$C_o = \frac{C_{2m}}{2} h_0 \quad (daN.m) \quad (\text{Equação 3.58})$$

Sendo  $C_{2m}$  o valor do coeficiente de compressibilidade à profundidade de 2m.

A outra componente é devida à reacção do terreno no fundo da cova, provocada pelo peso do maciço de fundação, do apoio e dos condutores, e é dada por:

$$M_{e2} = P \left( \frac{a}{2} - 0,47 \sqrt{\frac{P}{bC_o tg\alpha}} \right) \quad (daN.m) \quad (\text{Equação 3.59})$$

Em que P é o peso total do apoio, do maciço e dos condutores.

O peso do maciço é calculado pela expressão 3.61, tendo em conta que o peso específico adoptado para o betão é 2400 daN.m<sup>-1</sup>, de acordo com o artigo 74º:

$$P_M = 2400(a.b.h_0) \quad (\text{daN}) \quad (\text{Equação 3.60})$$

Nas fundações relativamente profundas, o efeito do encastramento é preponderante, predominando M<sub>e1</sub> e sendo M<sub>e2</sub> pouco significativo. Nas fundações pouco profundas dá-se precisamente o contrário, verificando-se até, que, no caso das placas superficiais, o momento estabilizante é devido quase exclusivamente ao peso.

Como a inclinação do apoio deixa de estar limitada a partir de  $\alpha \leq 0.01$ , deve adoptar-se um coeficiente de segurança de 1.5 sempre que momento derrubante ultrapassar o momento estabilizante. Deverá multiplicar-se o momento derrubante por 1.5 sempre que o momento estabilizante devido ao encastramento do maciço no solo (M<sub>e1</sub>) for desprezável quando comparada com o momento estabilizante devido à reacção do terreno no fundo da cova (M<sub>e2</sub>).

À medida que o momento de encastramento predomina, este coeficiente pode ser reduzido. Na figura 31 apresenta-se o diagrama que indica o valor a adoptar para o coeficiente de segurança em função da relação  $\frac{M_{e1}}{M_{e2}}$ .

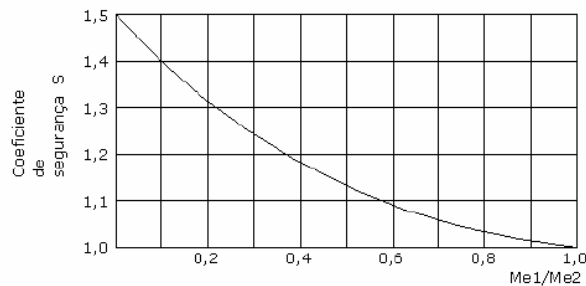


Figura 32 - Coeficiente de segurança

A condição que permite verificar se um maciço é correctamente dimensionado é a seguinte:

Quando  $M_{e1} < M_{e2}$  :

$$\frac{M_{e1} + M_{e2}}{M_d} \geq S \left( \frac{M_{e1}}{M_{e2}} \right) \quad (\text{Equação 3.61})$$

Quando  $M_{e1} \geq M_{e2}$  :

$$\frac{M_{e1} + M_{e2}}{M_d} \geq 1 \quad (\text{Equação 3.62})$$

Tal como foi mencionado anteriormente, na prática os maciços de fundação não são calculados pois são fornecidas pelos fabricantes as dimensões recomendadas dos diferentes apoios de modo a conferir-lhes a estabilidade necessária às solicitações a que são sujeitos. No presente relatório apenas se verificará a estabilidade

dos maciços de fundação dos apoios de acordo com as dimensões das covas recomendadas pelo fabricante “Cavan” e “Metalgalva” usando o método de Sulzberger que estará de acordo com o disposto no artigo 74.º do R.S.L.E.A.T. referente ao cálculo de fundações. Devido à exaustão e complexidade de cálculos o dimensionamento do maciço de fundação para os apoios metálicos, o mesmo não será apresentado, considerando-se o definido pelo fabricante.

No que diz respeito á estabilidade dos maciços dos apoios de betão e devido á extensão dos cálculos que se repercutiriam caso se verifica-se a estabilidade dos maciços de fundação da totalidade da linha apenas está apresentado no relatório o cálculo da verificação do maciço do apoio nº25, MM04/2250-22, ilustrado na figura 32. Os valores da verificação da estabilidade dos maciços de fundação encontram-se apresentados no anexo VII.

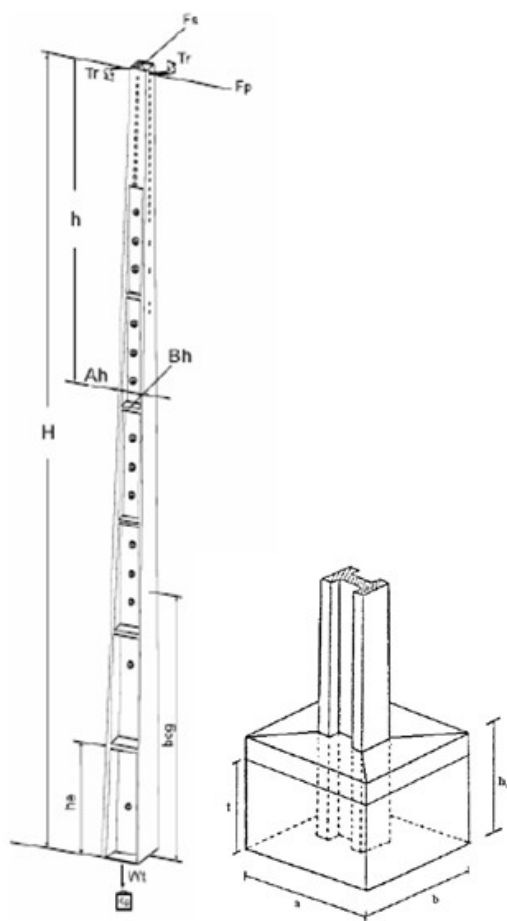


Figura 33 - Apoio de betão MM04/2250-22 e respectivo maciço

Este apoio apresenta as seguintes características:

APOIO MM04/2250-22					
Peso (kg)	Altura Total (m)	Altura Útil (m)	Maciço (m)		
			a	b	h <sub>0</sub>
6.590,00	22	19,5	1,41	1,79	2,5

Tabela 19 - Características apoio MM04/2250-22

Para a verificação da estabilidade do maciço é necessário ter em conta os parâmetros que constam na seguinte tabela:

Parâmetro	Valor
$C_{2m}$ - Coeficiente de Compressibilidade do Terreno a 2m (N/cm <sup>3</sup> )	7
$w'$ - Peso do condutor (Kgf/m)	0,5471
$w'_g$ - Peso da manga de gelo (Kgf/m)	0,744
$tg\alpha$ - Ângulo Máximo de Rotação da Fundação	0,01

Tabela 20 - Parâmetros para cálculo da verificação de estabilidade dos maciços

O momento derrubante da força F em relação a um eixo de rotação situado em O', é obtido através da expressão 3.56.

$$M_d = F \left( h - 0,25 + \frac{2}{3} h_0 \right)$$

$$M_d = 2250 \left( 22 - 0,25 + \frac{2}{3} 2,5 \right)$$

$$M_d = 57.687,50 \text{ daN.m}$$

Por sua vez, o momento estabilizante devida ao encastramento do maciço no solo é calculado através da expressão 3.57.

$$M_{e1} = \frac{bh_0^3}{36} C_o tg\alpha$$

$$M_{e1} = \frac{1,79 \times 2,5^3}{36} 8,75 \times 10^6 \times 0,01$$

$$M_{e1} = 67.979,60 \text{ daN.m}$$

Em que  $C_o$ , de acordo co a expressão 3.58, é dado por:

$$C_o = \frac{C_{2m}}{2} h_0$$

$$C_o = \frac{7}{2} \times 2,5$$

$$C_o = 8,75 \text{ N.m}^{-3}$$

Quanto á outra componente que é devida à reacção do terreno no fundo da cova, é obtida através da expressão 3.59:

$$M_{e2} = P \left( \frac{a}{2} - 0,47 \sqrt{\frac{P}{bC_o t g \alpha}} \right) \quad (daN.m)$$

O peso total do apoio é calculado tendo em conta todos os pesos que englobam o apoio, o peso do próprio apoio, do maciço, das cadeias de isoladores, dos condutores e o peso das travessas, logo:

$$P_{TOTAL} = P_A + P_M + P_I + P_C + P_T \quad (\text{Equação 3.63})$$

Em que:

$$P_A = 6590 \text{ kg}$$

$$P_I = 3 \times 30 = 90 \text{ kg}$$

$$P_T = 250 \text{ kg}$$

O peso dos condutores é dado por:

$$P_C = 3w \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] + 3w_g \left[ \frac{S_1 + S_2}{2} \right] = 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{235,9 + 288,06}{2} \right] + 3 \times 0,5471 \times \left[ \frac{235,9 + 288,06}{2} \right]$$

$$P_C = 1014,73 \text{ kg}$$

O peso do maciço é calculado através da expressão 3.60:

$$P_M = 2400(a.b.h_0)$$

$$P_M = 2400(1,41 \times 1,79 \times 2,5)$$

$$P_M = 15.143,40 \text{ kg}$$

Logo, o peso total é dado por:

$$P_{TOTAL} = P_A + P_M + P_I + P_C + P_T$$

$$P_{TOTAL} = 6590 + 90 + 250 + 1014,73 + 15143,40$$

$$P_{TOTAL} = 23088 \text{ kg}$$

Estamos então e condições de calcular o momento estabilizante devido à reacção do terreno no fundo da cova, que é obtido através da expressão 3.59.

$$M_{e2} = P \left( \frac{a}{2} - 0,47 \sqrt{\frac{P}{bC_o \operatorname{tg} \alpha}} \right)$$

$$M_{e2} = 23.088 \left( \frac{1,41}{2} - 0,47 \sqrt{\frac{23.088}{1,79 \times 8,75 \times 10^6 \times 0,01}} \right)$$

$$M_{e2} = 12.110,83 \text{ daNm}$$

Como  $M_{e1} \geq M_{e2}$ , a condição que permite verificar se o maciço está correctamente dimensionado é a expressão 3.62.

$$\frac{M_{e1} + M_{e2}}{M_d} \geq 1$$

$$\frac{67979,60 + 12110,83}{52687,50} \geq 1$$

$$1,52 \geq 1$$

Deste modo verifica-se a estabilidade do maciço. O momento estabilizante é muito superior ao momento derrubante o que implicará um coeficiente de segurança também elevado.

### 3.5.9. 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, nomeadamente:

- As características de inércia (massa) e de elasticidade;
- A tensão mecânica de esticamento (normalmente referenciada ao EDS (Every Day Stress));
- A geometria dos vãos;
- O regime dos 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 colocadas da seguinte forma:

- 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 normalmente são colocados são do tipo Stockbridge, como se pode ver na figura 33.



Figura 34 - Amortecedor stockbridge

### 3.5.10. 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”.

As esferas serão colocadas com espaçamento de 30m entre si e intercaladas nos dois cabos superiores e serão de cor branca e vermelha ou laranja tal como se pode ver na figura 34.



Figura 35 - Esferas de balizagem

### 3.5.11. Conjuntos sinaléticos

Em cada apoio existirá sinalização claramente visível do solo, que inclui:

- A chapa de sinalização ou de advertência com o texto "Perigo de morte";
- A chapa de identificação com o nome (sigla) da linha e o nº de ordem do apoio na linha;
- O número de telefone de emergência;
- Uma chapa de numeração na cabeça que será colocada nos apoios de ordem múltipla de 5, por forma a permitir identificar o apoio durante as rondas aéreas.



Figura 36 - Conjuntos sinaléticos

## 4. Montagem

A montagem de uma linha aérea MT de energia está dividida em diversas fases sequenciadas. Numa primeira fase o construtor tem que se deslocar ao terreno para fazer a piquetagem e selecção do local de implementação do estaleiro. A segunda fase consiste na abertura de caboucos e execução dos maciços de fundação de acordo com as estacas que foram deixadas na fase da piquetagem. Por fim temos a colocação dos apoios nas fundações previamente definidas e a instalação dos cabos. Nas secções seguintes descreve-se de uma forma mais detalhada cada uma destas tarefas.

### 4.1. Piquetagem

A piquetagem consiste em 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 metálicos é colocada uma estaca no centro do poste bem como as estacas que se definem a bissectriz do poste, tal como apresentado na figura 36 Nesta fase e para o caso dos apoios metálicos é necessário fazer a marcação das covas, ou seja, nas quatro pernas.



Figura 37 - Piquetagem

### 4.2. Instalação e preparação

O reconhecimento pormenorizado do traçado da linha deverá ser tal, que proporcione a melhor sinalização e execução de acessos para uma boa operacionalidade dos meios de montagem.

Esta actividade inclui as seguintes tarefas:

- Reconhecimento do traçado;
- Definição dos acessos aos apoios;
- Apresentação de proposta de acessos aos apoios;

- Sinalização dos acessos;
- Definição do local de implantação do estaleiro.

Na figura 37 são apresentadas fotografias relativas ao reconhecimento do traçado e implementação do estaleiro.



Figura 38 - Reconhecimento do traçado e implantação do estaleiro

#### 4.3. Trabalhos topográficos

Serão realizadas as seguintes operações topográficas:

- Verificação da piquetagem do projecto fornecido;
- Reposição da piquetagem no caso de modificação da localização dos apoios na fase de obra;
- Verificação dos desníveis do terreno no centro das covas;
- Materialização dos centros das covas por meio de estacas, de acordo com as pernas definidas para cada apoio;
- Medição dos vãos da linha, cotas no centro dos apoios e ângulos da linha;
- Marcação dos caboucos.

Nesta fase realiza-se o percorrido à linha com o topógrafo, de forma a encontrar soluções, no caso de inviabilidade de implantação de apoios. Serão apresentadas ao cliente as possíveis soluções e justificações para apreciação e aprovação, sendo entregue um relatório com os resultados do trabalho topográfico, onde constam os dados do projecto, os resultados das medições efectuadas e as respectivas diferenças.

#### 4.4. Fundações

Esta actividade engloba as seguintes tarefas:

- Abertura de Caboucos;
- Montagem de bases (Caso necessário);
- Betonagem;
- Ligações à terra;
- Terraplanagem;

#### 4.4.1. Caboucos

Nesta tarefa é realizada a abertura de caboucos de acordo com as dimensões e características do projecto. Antes de se começar abrir os caboucos é necessária a aprovação por parte do cliente do diagrama de abertura de caboucos apresentado, com as eventuais adaptações ao terreno.

Neste tipo de trabalhos são tomadas todas as disposições necessárias para deixar os caboucos abertos durante o menor período de tempo possível, principalmente em zonas frequentadas. De qualquer forma e por questões de segurança, as zonas de trabalhos são sempre delimitadas, tal como se exemplifica na figura 38. Importa referir que as paredes da fundação devem ficar as mais direitas possíveis.



Figura 39 - Abertura de covas

#### 4.4.2. Montagem e regulação de bases

Após a montagem das lajetas e verificação das características das bases, serão montadas as bases dos apoios, tendo em conta o diagrama de regulação de bases, referente ao respectivo apoio (distâncias frontais, laterais e diagonais, os ângulos frontais e laterais e o posicionamento em relação ao centro do apoio e ao eixo da linha). A montagem das bases como é de prever só é aplicável a apoios metálicos, pois no caso dos apoios de betão não existem as bases e após a abertura do cabouco é executado o levantamento e assentamento do apoio para posteriormente ser betonado.

Na figura 39 são apresentadas fotografias relativamente à montagem e regulação das bases.



Figura 40 - Montagem e regulação de bases

#### 4.4.3. Betonagem

Antes de executar a betonagem, primeiramente são apresentados ao cliente os relatórios dos ensaios aos inertes do fornecedor seleccionado, assim como os relatórios dos ensaios aos provetes do betão utilizado na betonagem, ao fim de 7 e 28 dias, de acordo com o Regulamento de Betões de Ligantes Hidráulicos (RBRH).

A betonagem será realizada tendo em conta o controlo dos seguintes factores:

- Limpeza dos caboucos
- Implantação das bases
- Tipo de armação
- Tipo de betão
- Limpeza das cofragens
- Tempo de betonagem
- Vibração adequada

Algumas fotografias que ilustram o procedimento de betonagem são apresentadas na figura 40.



Figura 41 - Betonagem

#### 4.4.4. Ligações à terra

No início da empreitada e após reconhecimento do traçado, normalmente é definido em conjunto com a fiscalização a identificação das medidas de prevenção a adoptar “poste a poste”, com a respectiva classificação das zonas (pública, frequentada, pouco frequentada, não frequentada).

#### 4.4.5. Terraplanagem

No final da betonagem, executada a malha de terra e após autorização da fiscalização, procede-se ao enchimento das covas em camadas, de modo a possibilitar uma boa compactação. Seguir-se-á a regularização do terreno, adaptação, limpeza da zona e transporte de terras sobranes a vazadouro.

### 4.5. Postes

#### 4.5.1. Assemblagem / levantamento e reaperto

Após o transporte das estruturas metálicas para os respectivos locais de implantação e criadas as condições necessárias em termos de espaço e tratando-se de apoios metálicos é necessário efectuar a assemblagem do poste por módulos para serem posteriormente montados, tal como apresentado na figura 41.



Figura 42 - Assemblagem de apoio metálico

Após assemblagem dos apoios é realizado o levantamento que, no caso do apoio metálico consiste em levantar os vários módulos e colocá-los de acordo com as especificações técnicas do fabricante de acordo com a figura 42. No caso do apoio de betão, o levantamento é efectuado de acordo com a figura 43.

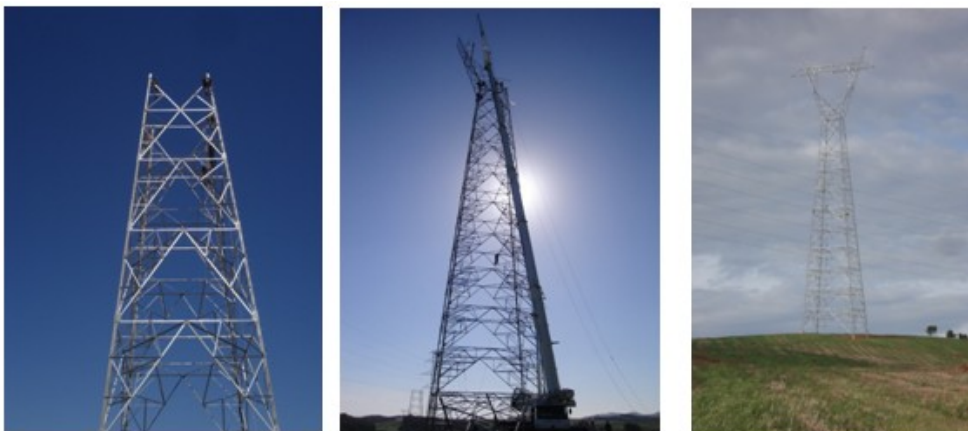


Figura 43 - Levantamento de apoio metálico



Figura 44 - Colocação de apoio de betão

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

#### 4.6. Cabos

Esta fase de trabalhos é iniciada após o fornecimento e aprovação, pelo cliente, dos seguintes elementos:

- Plano de desenrolamento;
- Tabelas de regulação;
- Plano de distribuição de bobines;
- Lista com as características dimensionais e mecânicas de cordas e cabos de aço, equipamentos e ferramentas;
- Lista de protecções a montar com indicação da classe.

##### 4.6.1. Desenrolamento

Numa fase prévia ao desenrolamento é apresentada ao cliente uma lista para aprovação das protecções a montar. A figura 44 ilustra as protecções utilizadas nas linhas aéreas



Figura 45 - Protecções utilizadas nas linhas aéreas

Após definição do tipo de protecções a executar serão definidos os cantões de desenrolamento, apresentados ao cliente.

Na fase do desenrolamento dos cabos começa-se por passar uma corda guia que é transportada pelo solo e até às roldanas que se encontram agarradas às cadeias de isoladores. A utilização desta corda guia tem a funcionalidade de auxiliar a passagem do cabo de reboque. Depois de ser ter a corda de reboque é possível começar o desenrolamento do cabo condutor, que é uma operação que deve ser feita com o máximo de cuidado para não causar danos mecânicos nem danos na sua constituição. Para se realizar 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 o do guincho quer o 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.

Na figura 45 são apresentadas algumas fotografias relativas ao procedimento de desenrolamento de cabos.



Figura 46 - Desenrolamento de cabos

De salientar que nesta tarefa deverão tomados todos os cuidados para evitar o contacto dos condutores com o solo, deteriorações, torções, nós, esmagamentos e ruptura dos fios.

Entre outras medidas de precaução são habitualmente tomadas as seguintes:

- Utilização de roldanas adequadas aos tipos de cabos;
- Mordentes e mangas elásticas adequadas aos tipos de cabos;
- Salvo situações excepcionais respeitar as distâncias mínimas entre a bobine do cabo e o 1º poste de desenrolamento;
- Estropamento provisório de cabos aos braços e ao solo ou espionamento de postes com utilização de blocos de betão;
- Tensões e velocidade de desenrolamento adequadas;
- Acompanhamento do desenrolamento ao longo do trajecto, especialmente nas roldanas e nas zonas de protecções, mantendo sempre contacto via rádio entre as equipas;
- Equipamentos ligados à terra durante o desenrolamento.

#### 4.6.2. Regulação

Numa primeira fase é necessário apresentar ao cliente os valores de regulação e os valores de correcção de temperatura a aplicar, para aprovação e só depois será iniciada a regulação.

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

Para se efectuar a regulação do vão através do método representado na figura 46 será necessário material topográfico, nomeadamente, uma luneta e um alvo que possam ser fixados aos apoios, assim como o valor da flecha nas condições de temperatura no momento da montagem. A fixação conveniente destes acessórios topográficos 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, segundo um dois processos possíveis, os quais são apresentados na figura 46.

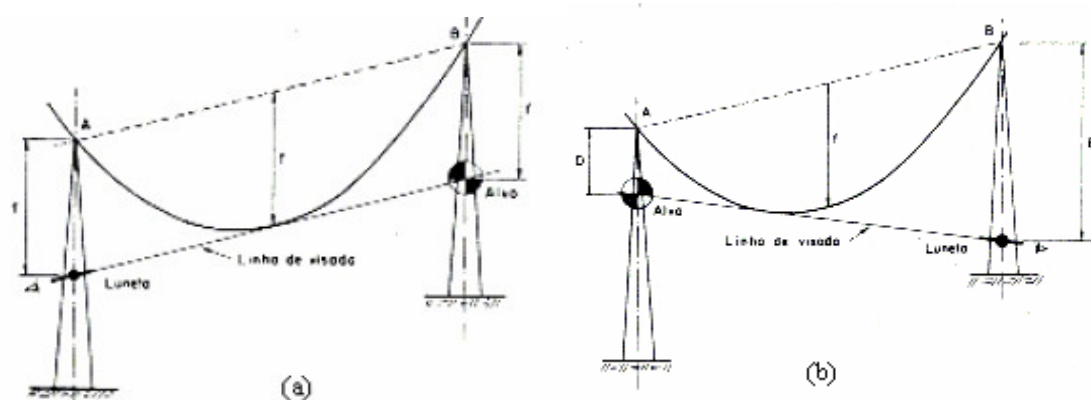


Figura 47 - Métodos de regulação de cabos

Método a) - 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

Método b) - 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 aproximação que:

$$f = \left[ \frac{\sqrt{D} + \sqrt{E}}{2} \right]^2 \quad (\text{Equação 4.1})$$

Fixando o valor de  $E$  podemos obter da equação 4.1 a seguinte:

$$D = \left[ 2\sqrt{f - \sqrt{E}} \right]^2 \quad (\text{Equação 4.2})$$

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 às roldanas, os dinamómetros só indicam as trações no cabo nos pontos próximos ao ponto de tensionamento. Devem ser usados exclusivamente em secções de tensionamento que abranjam um pequeno número de vãos. Para secções 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 mecânica ou pinças de amarração por compressão, tal como apresentado na figura 47. Na amarração por compressão, tal como o nome indica, a ligação do cabo à pinça é feita por compressão. No caso das amarrações e dado que o cabo é cortado para fazer a fixação, é necessário a colocação de fiadores para dar continuidade á linha. O ligador do fiador também é feito por compressão tal como se pode observar na figura 47.

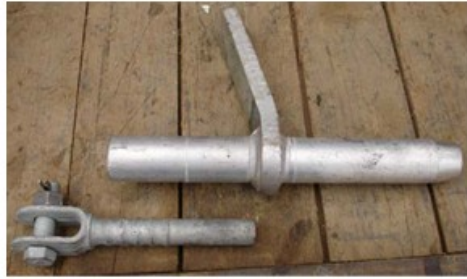


Figura 48 - Pinça de compressão e execução da compressão

Devem ser garantidas todas as condições de instalação de cabos e distâncias mínimas de coordenação de isolamento, segundo o Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (R.S.L.E.A.T.)

## 5. 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 para qualquer engenheiro que a projecta. De uma forma geral cada linha a projectar é um caso distinto, no qual tudo pode diferir de qualquer projecto anterior que possa ter sido realizado, desde o próprio local, às condições atmosféricas, à própria potência a transportar, ou seja, tudo pode ser diferente. Perante estes factores as soluções que se encontram também são diferentes.

Ao ser confrontado com um projecto deste tipo 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, eles 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 otimizar 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-me possível verificar todos os cálculos através do programa cálculo automático de linhas aéreas de transmissão de energia (Clinhas).

A título indicativo posso mencionar que 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. Todo o projecto 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 trabalho foi bastante enriquecedor e importante, na medida em que me permitiu relembrar e consolidar diversos conhecimentos que tinha adquirido ao longo do curso e da curta experiência profissional que possui.

## 6. Bibliografia

- Apontamentos de Sistemas Eléctricos de Energia I <http://paginas.fe.up.pt/~mam/Linhas-01.pdf>
- Metalgalva, Apoios Metálicos para Linhas Eléctricas de Alta e Média Tensão.
- Francisco Távora. "Linhas de Transmissão de Energia Eléctrica."
- António Almeida do Vale, "Linhas Aéreas de Transmissão de Energia."
- Guia Técnico de Terras EDP DRE-C11-040/N
- Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão, até 30 kV da Direcção Geral de Energia (DGE)
- Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (R.S.L.E.A.T.)
- Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão (R.S.R.D.E.E.B.T.);
- Catálogo de postes de betão Cavan;
- Guia Técnico Solidal;

## 7. Anexos

Anexo I - Características técnicas dos cabos

Anexo II - Traçado da linha

Anexo III - Perfil da linha

Anexo IV - Flechas máximas admissíveis

Anexo V - Verificação da estabilidade dos apoios

Anexo VI - Verificação da estabilidade de cadeias de suspensão

Anexo VII - Verificação da estabilidade de maciços de fundação

Anexo VIII - Distância entre condutores

# **ANEXO I**

## **Características Técnicas dos Cabos**



## Cabo de alumínio/aço ACSR 160 “PARTRIDGE”

### . NORMA

DMA-C34-120/E

### . COMPOSIÇÃO

O cabo é constituído por 7 fios de aço (segundo a norma C.E.I. 888) e 26 fios de alumínio (segundo a norma C.E.I. 889), dispostos em camadas concêntricas. O núcleo central do cabo é composto pelos 7 fios de aço (1+6). A primeira camada de fios de alumínio é constituída por 10 fios de alumínio cableados à esquerda ( sentido S ), com um passo compreendido entre 10 e 16 D.. A segunda e última camada de fios de alumínio é constituída por 16 fios de alumínio cableados à direita ( sentido Z ), com um passo compreendido entre 10 e 14 D. Todas as camadas são lubrificadas com massa de protecção.

### . CARACTERÍSTICAS

<b>Dimensionais</b>	Diâmetro dos fios de aço (mm)	2,00
	Diâmetro dos fios de alumínio (mm)	2,58
	Secção total do cabo (mm <sup>2</sup> )	157,92
	Secção total de aço (mm <sup>2</sup> )	21,99
	Secção total de alumínio (mm <sup>2</sup> )	135,93
	Peso da massa de protecção (kg/km)	22,40
	Peso total do cabo (kg/km)	547,1
	<b>Mecânicas</b>	Módulo de elasticidade final (N/mm <sup>2</sup> )
Carga de rotura mínima (daN)		4775
<b>Eléctricas</b>	Resistência eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	0,2124
<b>Outras</b>	Coefficiente de dilatação linear (1/°C)	18,9x10 <sup>-6</sup>

### . ACONDICIONAMENTO

Tipo de bobina

Diâmetro das abas (mm)	Diâmetro do tambor (mm)	Largura entre abas (mm)
1800	700	970

Comprimento modular por bobina: 1x6000 m (tolerância ±5%)

**ANEXO II**  
**Traçado da Linha**



## **ANEXO III**

### **Perfil Longitudinal da Linha**



## **ANEXO IV**

### **Flechas Máxima Admissíveis**

Apoio		Vão (m)	t (daN/mm <sup>2</sup> )	tm (daN)	h (m)	L <sub>1</sub> (m)	flecha (m)
1	2	151,35	3,52	555,81	37,41	155,90	2,91
2	3	190,54	3,78	596,86	31,77	193,17	4,22
3	4	136,10	3,38	533,70	19,64	137,51	2,40
4	5	384,23	4,36	688,44	23,27	384,93	14,80
5	6	209,00	3,88	612,65	0,22	209,00	4,88
6	7	205,33	4,09	645,81	16,50	205,99	4,48
7	8	151,13	3,51	554,23	2,93	151,16	2,81
8	9	203,83	3,85	607,92	14,24	204,33	4,68
9	10	214,88	3,91	617,39	3,49	214,91	5,12
10	11	172,80	3,67	579,49	6,22	172,91	3,53
11	12	164,31	3,61	570,02	2,02	164,32	3,24
12	13	160,67	3,58	565,28	35,57	164,56	3,20
13	14	176,83	3,69	582,65	26,92	178,87	3,72
14	15	176,25	3,69	582,65	5,56	176,34	3,65
15	16	243,41	4,03	636,34	19,31	244,17	6,39
16	17	240,90	4,02	634,76	22,45	241,94	6,29
17	18	114,90	3,16	498,96	9,84	115,32	1,82
18	19	159,84	3,58	565,28	36,01	163,85	3,17
19	20	151,78	3,51	554,23	56,17	161,84	3,03
20	21	127,34	3,29	519,49	25,92	129,95	2,18
21	22	431,47	4,42	697,92	23,83	432,13	18,28
22	23	141,34	3,42	540,02	12,81	141,92	2,54
23	24	429,55	4,42	697,92	46,28	432,04	18,20
24	25	235,90	4,00	631,60	18,55	236,63	6,05
25	26	288,06	4,17	658,44	21,05	288,83	8,65
26	27	488,53	4,47	705,81	1,37	488,53	23,13
27	28	220,46	3,93	620,55	20,13	221,38	5,39
28	29	368,12	4,33	683,71	45,04	370,87	13,67
29	30	268,79	4,12	650,55	56,91	274,75	7,77
30	31	453,93	4,44	701,08	18,46	454,31	20,13
31	32	153,34	3,53	557,39	40,49	158,60	2,99
32	33	178,55	3,71	585,81	24,86	180,27	3,76
33	34	161,04	3,59	566,86	27,99	163,45	3,18
34	35	187,82	3,76	593,70	7,94	187,99	4,07
35	36	185,53	3,75	592,13	17,60	186,36	3,99
36	37	221,10	3,94	622,13	19,99	222,00	5,40
37	38	372,56	4,34	685,29	5,67	372,60	13,86
38	39	146,97	3,47	547,91	37,87	151,77	2,79
39	40	137,90	3,39	535,28	36,26	142,59	2,52
40	41	140,06	3,41	538,44	56,09	150,87	2,69
41	42	127,63	3,29	519,49	15,93	128,62	2,17

**ANEXO V**  
**Estabilidade dos Apoios**

Apoio	Vão	HIPOTESE 1			HIPOTESE 2			HIPOTESE 3			CARACTERISTICAS DO APOIO					
		F <sub>T</sub>	F <sub>V</sub>	F <sub>L</sub>	F <sub>T</sub>	F <sub>V</sub>	F <sub>L</sub>	F <sub>T</sub>	F <sub>V</sub>	F <sub>L</sub>	Tipo de Apoio	Apoio Escolhido	Altura	Constituição Apoio	Tipo de Travessa	Fixação
1	151,35	267,99	293,11	4.255,20					293,11	4.255,20	Fim de Linha	K08/60/28-20	20	Betão	A. Fuste	A
2	190,54	983,12	1.324,28				196,62				Alinhamento	MM06/2750-20	20	Betão	EVDS 120	S
3	136,1	947,28	1.265,17				189,46				Alinhamento	MM06/2750-20	20	Betão	EVDS 120	S
4	384,23	1.402,28	2.015,43				280,46				Alinhamento	RS63/19,1	19,1	Metálico	6	A
5	209	1.573,52	2.297,80				314,70				Alinhamento	RS63/22,6	22,6	Metálico	6	A
6	205,33	1.153,28	1.604,86				230,66				Alinhamento	MM08/3500-20	20	Betão	EVDS 120	S
7	151,13	1.017,32	1.380,68				203,46				Alinhamento	MM08/3500-22	22	Betão	EVDS 120	S
8	203,83	3.220,00	990,46	621,26	3.111,19	990,46	621,26		990,46	414,17	Ref. Derivação	RS63/22,6	22,6	Metálico	5a	A
9	214,88	581,79	810,91				116,36				Alinhamento	MM04/2250-18	18	Betão	GAN120	S
10	172,8	545,33	750,80				109,07				Alinhamento	MP04/1600-22	22	Betão	GAN120	S
11	164,31	485,95	652,88				97,19				Alinhamento	MP04/1600-18	18	Betão	GAN120	S
12	160,67	471,69	629,37				94,34				Alinhamento	MP04/1600-22	22	Betão	GAN120	S
13	176,83	486,39	653,62				97,28				Alinhamento	MP04/1600-18	18	Betão	GAN120	S
14	176,25	504,69	683,79				100,94				Alinhamento	MP04/1600-22	22	Betão	GAN120	S
15	243,41	582,89	812,73				116,58				Alinhamento	MM04/2250-20	20	Betão	GAN120	S
16	240,9	658,83	937,96				131,77				Alinhamento	MM04/2250-22	22	Betão	GAN120	S
17	114,9	508,42	689,06	4.255,20			2.836,80		689,06		Ref. Alinhamento	RS42/20,8	20,8	Metálico	110E	A
18	159,84	412,68	532,08				82,54				Alinhamento	MP03/1400-18	18	Betão	GAN120	S
19	151,78	-1.000,93	603,50	4.195,63			-200,19				Ângulo	RS31/23	23	Metálico	110E	A
20	127,34	417,83	540,56				83,57				Alinhamento	MP03/1400-18	18	Betão	GAN120	S
21	431,47	746,33	1.082,24				149,27				Alinhamento	RS42/20,8	20,8	Metálico	110E	A
22	141,34	762,78	1.109,35				152,56				Alinhamento	RS42/22,8	22,8	Metálico	110E	A
23	429,55	760,52	1.105,63				152,10				Alinhamento	RS42/24,7	24,7	Metálico	110E	A
24	235,9	3.347,54	1.288,76	4.059,46			669,51				Ângulo	RS42/22,8	22,8	Metálico	110E	A
25	288,06	705,39	1.014,73				141,08				Alinhamento	MM04/2250-22	22	Betão	GAN120	S
26	488,53	1.003,28	1.504,00	4.255,20			2.836,80		1.504,00		Ref. Alinhamento	RS42/20,8	20,8	Metálico	110E	A
27	220,46	922,72	1.373,08				184,54				Alinhamento	RS42/20,8	20,8	Metálico	110E	A
28	368,12	781,29	1.139,87				156,26				Alinhamento	RS31/28,6	28,6	Metálico	110E	A
29	268,79	838,06	1.233,49				167,61				Alinhamento	RS42/30,3	30,3	Metálico	110E	A
30	453,93	-5.336,82	1.399,66	3.080,76			2.053,84	-5.872,18	1.399,66	3.080,76	Ref. Ângulo	RS63/22,8	22,8	Metálico	110E	A
31	153,34	803,25	1.176,09				160,65				Alinhamento	RS/42/22,8	22,8	Metálico	110E	A
32	178,55	479,82	642,77				95,96				Alinhamento	RS/31/21	21	Metálico	110E	S
33	161,04	488,86	657,69				97,77				Alinhamento	MP04/1600-20	20	Betão	GAN120	S
34	187,82	499,74	675,62				99,95				Alinhamento	MP04/1600-24	24	Betão	GAN120	S
35	185,53	528,51	723,07				105,70				Alinhamento	MP04/1600-22	22	Betão	GAN120	S
36	221,1	567,60	787,52				113,52				Alinhamento	MP04/1600-18	18	Betão	GAN120	S
37	372,56	787,25	1.149,71				157,45				Alinhamento	RS42/22,8	22,8	Metálico	110E	A
38	146,97	700,20	1.006,17				140,04				Alinhamento	RS42/19,2	19,2	Metálico	110E	A
39	137,9	424,59	551,71				84,92				Alinhamento	MP03/1400-18	18	Betão	GAN120	S
40	140,06	416,46	538,31				83,29				Alinhamento	MP03/1400-20	20	Betão	GAN120	S
41	127,63	404,41	518,44				80,88				Alinhamento	MP03/1400-18	18	Betão	GAN120	S
42		240,10	247,19	4.255,20	4.502,39	394,08	0,00		247,19	4.255,20	Fim de Linha	K08/60/28-20	20	Betão	A. Fuste	A

POSTES COM PESOS AFERIDOS PELA DODM

<u>TIPO DE POSTE</u>	<u>PESO/KG</u>	<u>TIPO DE POSTE</u>	<u>PESO/KG</u>
PS 5000/5700-19M .....	3.043	RS22-17,4M .....	1.198
R5-36,5M .....	4.375	RS22-19,4M .....	1.380
R6-31M .....	5.578	RS22-21M .....	1.605
R6-40M .....	8.498	RS22-23M .....	1.804
R I-18M .....	721	RS22-25M .....	2.074
R I-20M .....	797	RS22-26,6M .....	2.360
R I-22M .....	881	RS22-28,6M .....	2.768
R I-24M .....	1.014	RS22-30,6M .....	3.045
R II-22M .....	1.067	RS22-36,1M .....	4.140
R II-24M .....	1.220	RS31/6E-26,6M .....	2.967
R II-26M .....	1.428	RS31/6E-30,6M .....	3.737
R II-28M .....	1.464	RS31-15,4M .....	1.314
RVR-20M .....	2.290	RS31-17,4M .....	1.452
VII-16M .....	2.243	RS31-19,4M .....	1.689
R VII-20M .....	3.090	RS31-21M .....	2.068
R VII-24M .....	4.078	RS31-23M .....	2.277
R VII-26M .....	4.366	RS31-25M .....	2.682
RR4/E-35M .....	7.740	RS31-26,6M .....	3.070
RR4-24M .....	5.124	RS31-28,6M .....	3.220
RR4-27M .....	5.976	RS31-30,6M .....	3.558
RR4-28M .....	5.877	RS31-36,1M .....	4.958
RR4-35M .....	7.580	RS42/6E-30,6M .....	4.698
RR5-23,5M .....	4.945	RS42/6E-36,1M .....	6.190
RR5-36,5M .....	9.379	RS42-15,4M .....	1.501
RS9-15,4M .....	744	RS42-17,4M .....	1.734
RS9-17,4M .....	831	RS42-19,4M .....	1.965
RS9-19,4M .....	940	RS42-21M .....	2.335
RS9-21M .....	1.047	RS42-23M .....	2.820
RS9-23M .....	1.171	RS42-25M .....	3.249
RS9-25M .....	1.299	RS42-26,6M .....	3.505
RS9-26,6M .....	1.478	RS42-28,6M .....	3.979
RS9-28,6M .....	1.570	RS42-30,6M .....	4.452
RS9-30,6M .....	1.792	RS42-36,1M .....	6.063
RS15-15,4M .....	820	RS42-49,8M .....	11.695
RS15-17,4M .....	956	RS63-17,2M .....	2.276
RS15-19,4M .....	1.077	RS63-20,8M .....	3.184
RS15-21M .....	1.257	RS63-22,8M .....	3.424
RS15-23M .....	1.374	RS63-24,8M .....	3.943
RS15-25M .....	1.536	RS63-26,2M .....	4.543
RS15-26,6M .....	1.773	RS63-30,5M .....	5.465
RS15-28,6M .....	1.980	RS94/6E-28,1M .....	7.782
RS15-30,6M .....	2.146		
RS15-36,1M .....	2.887		
RS22/6E-23M .....	1.872		
RS22/6E-26,6M .....	2.444		
RS22/6E-28,6M .....	2.660		
RS22/6E-30,6M .....	3.129		
		<u>TRAVESSAS DE DERIVAÇÃO</u>	
		TIPO "G" .....	75
		TIPO "M" .....	68
		TIPO "N" .....	62

DR1 ..... 6.165  
DR2 ..... 7.471  
DR3 ..... 8.607  
DR4 ..... 9.719  
DR5 ..... 10.687  
DR6 ..... 11.891  
DR7 ..... 12.940  
DR8 ..... 14.250

DS2 ..... 2.671  
DS3 ..... 3.029  
DS4 ..... 3.560  
DS5 ..... 4.017  
DS6 ..... 4.585  
DS7 ..... 5.112  
DS8 ..... 5.723  
DS9 ..... 6.289

GR1 ..... 5.820  
GR2 ..... 7.126  
GR3 ..... 8.261  
GR4 ..... 9.374  
GR5 ..... 10.342  
GR6 ..... 11.546  
GR7 ..... 12.595

GS2 ..... 2.345  
GS3 ..... 2.747  
GS4 ..... 3.278  
GS5 ..... 3.735  
GS6 ..... 4.303  
GS7 ..... 4.830  
GS8 ..... 5.441

RD3 ..... 5.118  
RD4 ..... 5.889  
RD5 ..... 6.777  
RD6 ..... 7.634  
RD7 ..... 8.787



QUADRO CARACTERISTICAS DO POSTE

**MP03 / 1400**  
**AP03 / 1400**

p/ H <= 28 m

h m	Ah mm	Bh mm	H m	Wt kg	hu m	bcg m	fpn mm	fsn mm
0,00	224	170						
0,25	231	175						
0,50	238	180	14	2320	12	5,8	365	496
1,00	252	190						
1,50	266	200	16	2940	14	6,5	434	591
2,00	280	210						
3,00	308	230	18	3630	16	7,1	510	693
4,00	336	250						
6,00	392	290	20	4430	18	7,7	587	799
8,00	448	330						
10,00	504	370	22	5290	19,5	8,3	666	906
12,00	560	410						
14,00	616	450	24	6240	21,5	8,9	747	1016
16,00	672	490						
18,00	728	530	26	7270	23,5	9,4	809	1100
20,00	784	570						
22,00	840	610	28	8500	25,5	9,9	892	1213
24,00	896	650						
26,00	952	690						
28,00	1008	730						

Tr = 544 dN.m

Kp01 = 0,83

Ah = 28 x h + 224 mm

Bh = 20 x h + 170 mm

EQUAÇÕES DAS LINHAS VECTORIAIS:

$$\begin{aligned} F_{pe} / 1943 + F_{se} / 902 &= 1 \\ F_{pn} / 1619 + F_{sn} / 752 &= 1 \end{aligned}$$

com vento q = 750 Pa na direcção Principal

$$F_{pvp} / 1400 + F_{svp} / 650 = 1$$

com vento q = 750 Pa na direcção Secundária

para H =	Fpvs /	+ Fsvs /	=
14 m	1050	488	1
16 m	970	451	1
18 m	884	410	1
20 m	791	367	1
22 m	692	321	1
24 m	586	272	1
26 m	474	220	1
28 m	355	165	1

com vento q = 900 Pa na direcção Principal

$$F_{pvp} / 1356 + F_{svp} / 630 = 1$$

com vento q = 900 Pa na direcção Secundária

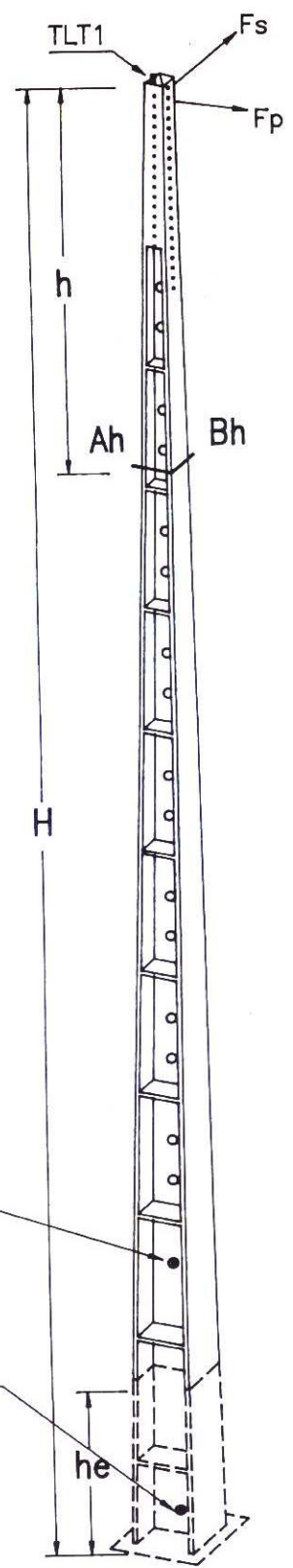
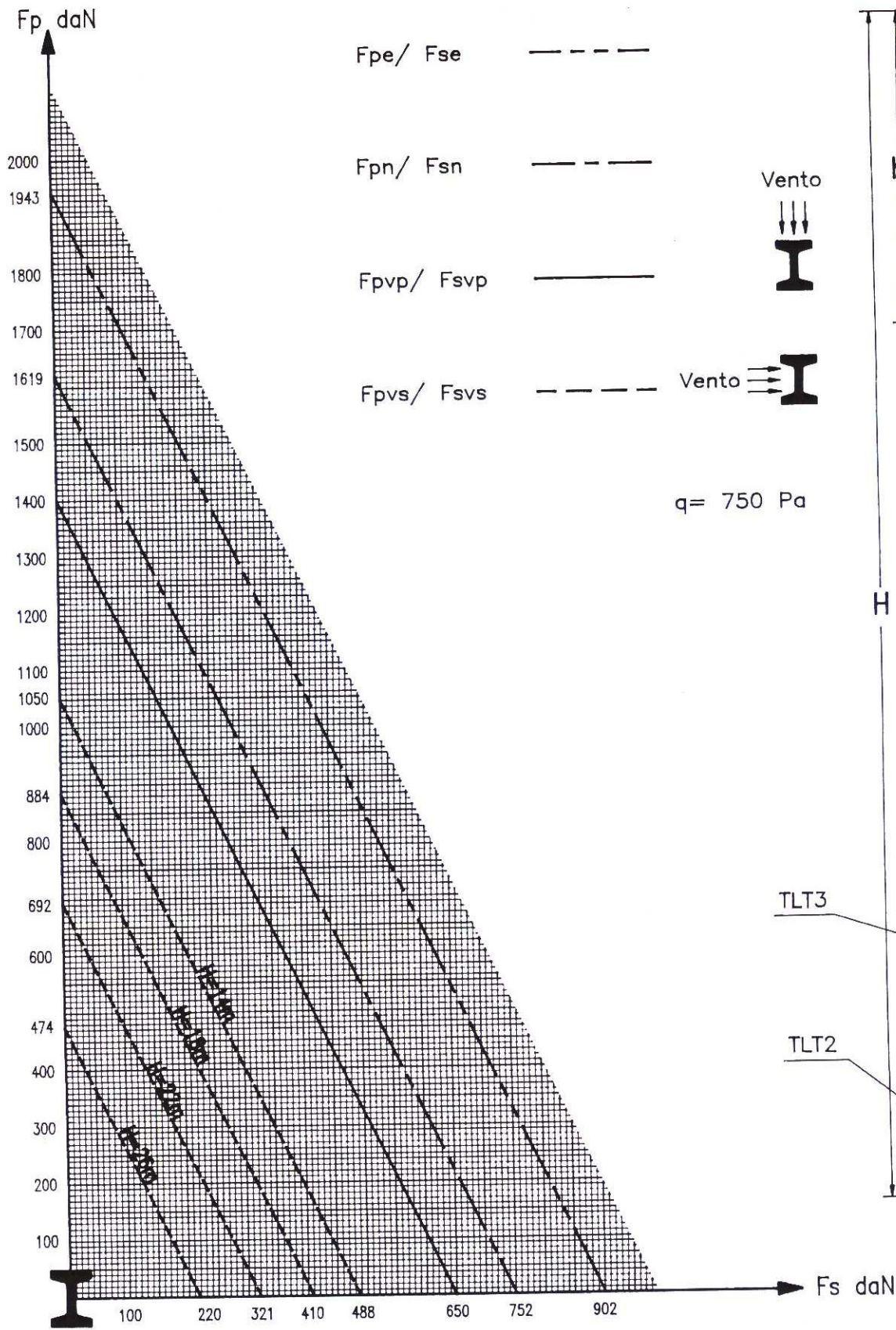
para H =	Fpvs /	+ Fsvs /	=
14 m	951	441	1
16 m	848	394	1
18 m	737	342	1
20 m	618	287	1
22 m	490	228	1
24 m	355	165	1
26 m	211	98	1
28 m	58	27	1



MP03/1400

AP03/1400

$H \leq 28$  m



Data	97/10/01	Des.	<i>Handwritten signature</i>	Visto	<i>Handwritten signature</i>	Serie : Diagramas	Nº 206
------	----------	------	------------------------------	-------	------------------------------	-------------------	--------



QUADRO CARACTERISTICAS DO POSTE

**MP04 / 1600**  
**AP04 / 1600**

p/ H <= 28 m

h	Ah	Bh	H	Wt	hu	bcg	fpn	fsn
m	mm	mm	m	kg	m	m	mm	mm
0,00	252	190						
0,25	259	195						
0,50	266	200	14	2530	12	5,9	367	499
1,00	280	210						
1,50	294	220	16	3180	14	6,6	437	594
2,00	308	230						
3,00	336	250	18	3930	16	7,2	513	697
4,00	364	270						
6,00	420	310	20	4760	18	7,8	590	803
8,00	476	350						
10,00	532	390	22	5670	19,5	8,4	670	911
12,00	588	430						
14,00	644	470	24	6660	21,5	9,0	751	1022
16,00	700	510						
18,00	756	550	26	7790	23,5	9,5	813	1106
20,00	812	590						
22,00	868	630	28	9090	25,5	10,1	897	1220
24,00	924	670						
26,00	980	710						
28,00	1036	750						

Ah = 28 x h + 252 mm

Bh = 20 x h + 190 mm

Tr = 637 dN.m

Kp01 = 0,82

EQUAÇÕES DAS LINHAS VECTORIAIS:

Fpe / 2202 + Fse / 1018 = 1  
Fpn / 1835 + Fsn / 849 = 1

com vento q = 750 Pa na direcção Principal

Fpvp / 1600 + Fsvp / 740 = 1

com vento q = 750 Pa na direcção Secundária

para H = 14 m	Fpvs / 1219	+ Fsvs / 564	= 1
H = 16 m	Fpvs / 1133	+ Fsvs / 524	= 1
H = 18 m	Fpvs / 1042	+ Fsvs / 482	= 1
H = 20 m	Fpvs / 943	+ Fsvs / 436	= 1
H = 22 m	Fpvs / 839	+ Fsvs / 388	= 1
H = 24 m	Fpvs / 727	+ Fsvs / 336	= 1
H = 26 m	Fpvs / 610	+ Fsvs / 282	= 1
H = 28 m	Fpvs / 486	+ Fsvs / 225	= 1

com vento q = 900 Pa na direcção Principal

Fpvp / 1356 + Fsvp / 630 = 1

com vento q = 900 Pa na direcção Secundária

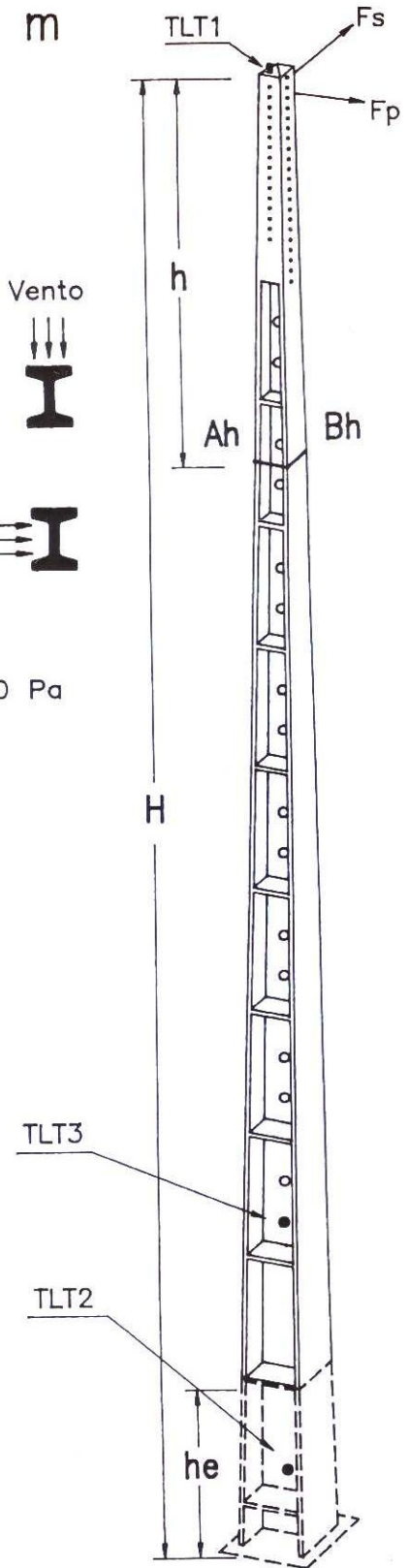
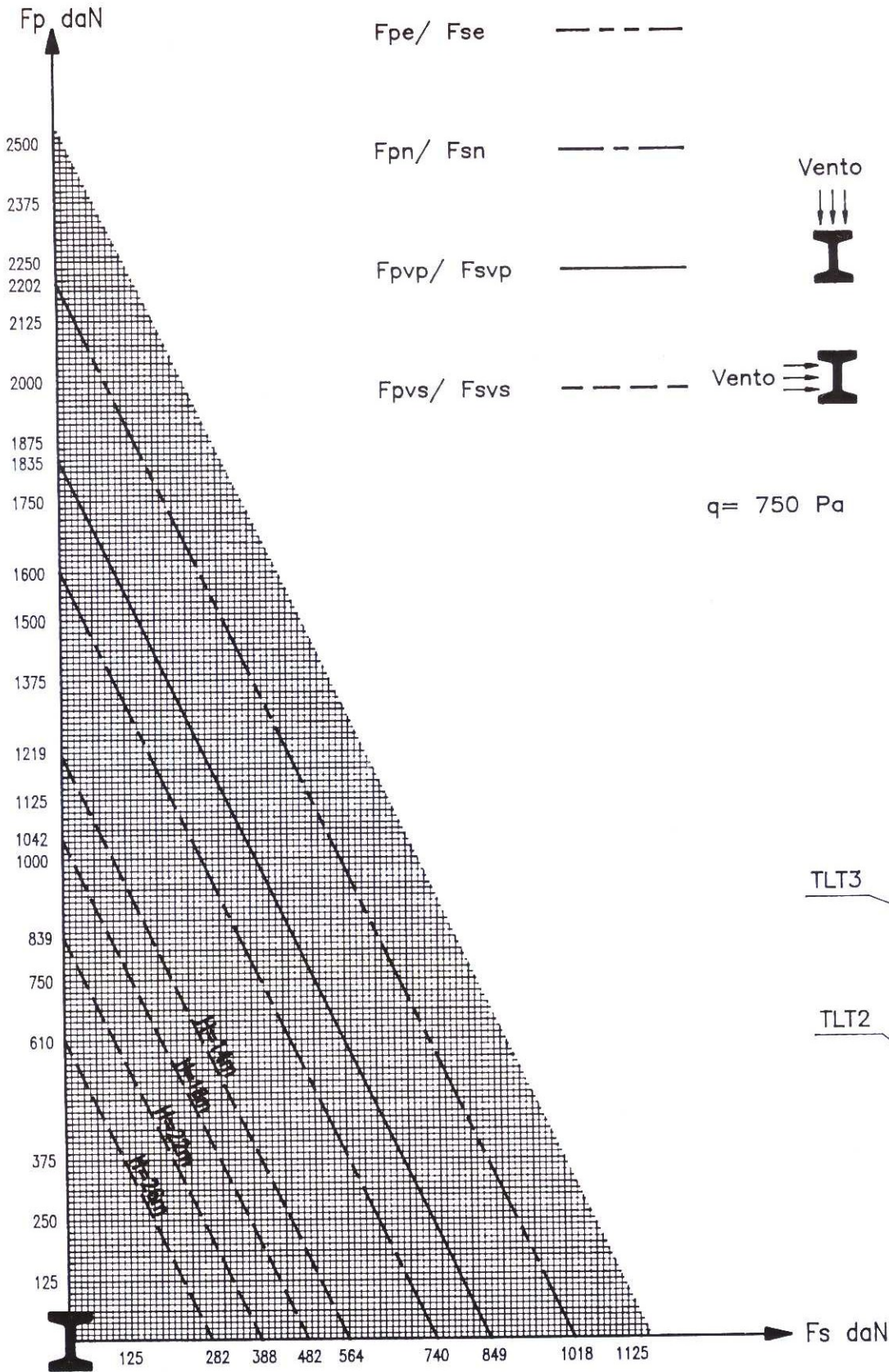
para H = 14 m	Fpvs / 1110	+ Fsvs / 513	= 1
H = 16 m	Fpvs / 1001	+ Fsvs / 463	= 1
H = 18 m	Fpvs / 883	+ Fsvs / 408	= 1
H = 20 m	Fpvs / 757	+ Fsvs / 350	= 1
H = 22 m	Fpvs / 623	+ Fsvs / 288	= 1
H = 24 m	Fpvs / 480	+ Fsvs / 222	= 1
H = 26 m	Fpvs / 329	+ Fsvs / 152	= 1
H = 28 m	Fpvs / 170	+ Fsvs / 78	= 1



MP04/1600

AP04/1600

$H \leq 28$  m



Data 97/10/01	Des. <i>Andreas</i>	Visto <i>[Signature]</i>	Serie : Diagramas	Nº 207
---------------	---------------------	--------------------------	-------------------	--------



QUADRO CARACTERISTICAS DO POSTE

MM04 / 2250  
AM04 / 2250

p/ H < = 28 m

h m	Ah mm	Bh mm	H m	Wt kg	hu m	bcg m	fpn mm	fsn mm
0,00	298	190						
0,25	305	195						
0,50	312	200	14	3010	12	6,0	257	321
1,00	326	210						
1,50	340	220	16	3760	14	6,7	306	383
2,00	354	230						
3,00	382	250	18	4620	16	7,4	359	449
4,00	410	270						
6,00	466	310	20	5560	18	8,1	414	517
8,00	522	350						
10,00	578	390	22	6590	19,5	8,7	470	587
12,00	634	430						
14,00	690	470	24	7700	21,5	9,3	527	658
16,00	746	510						
18,00	802	550	26	8890	23,5	9,8	570	712
20,00	858	590						
22,00	914	630	28	10180	25,5	10,3	629	786
24,00	970	670						
26,00	1026	710						
28,00	1082	750						

$$Ah = 28 \times h + 298 \text{ mm}$$

$$Bh = 20 \times h + 190 \text{ mm}$$

$$Tr = 899 \text{ dN.m}$$

$$Kp01 = 0,82$$

EQUAÇÕES DAS LINHAS VECTORIAIS:

$$\begin{aligned} F_{pe} / 2982 + F_{se} / 1325 &= 1 \\ F_{pn} / 2485 + F_{sn} / 1104 &= 1 \end{aligned}$$

com vento q = 750 Pa na direcção Principal

$$F_{pvp} / 2250 + F_{svp} / 1000 = 1$$

com vento q = 750 Pa na direcção Secundária

para H =	Fpvs /	+ Fsvs /	=
14 m	1775	789	1
16 m	1674	744	1
18 m	1565	695	1
20 m	1449	644	1
22 m	1327	590	1
24 m	1198	532	1
26 m	1062	472	1
28 m	919	408	1

com vento q = 900 Pa na direcção Principal

$$F_{pvp} / 2203 + F_{svp} / 979 = 1$$

com vento q = 900 Pa na direcção Secundária

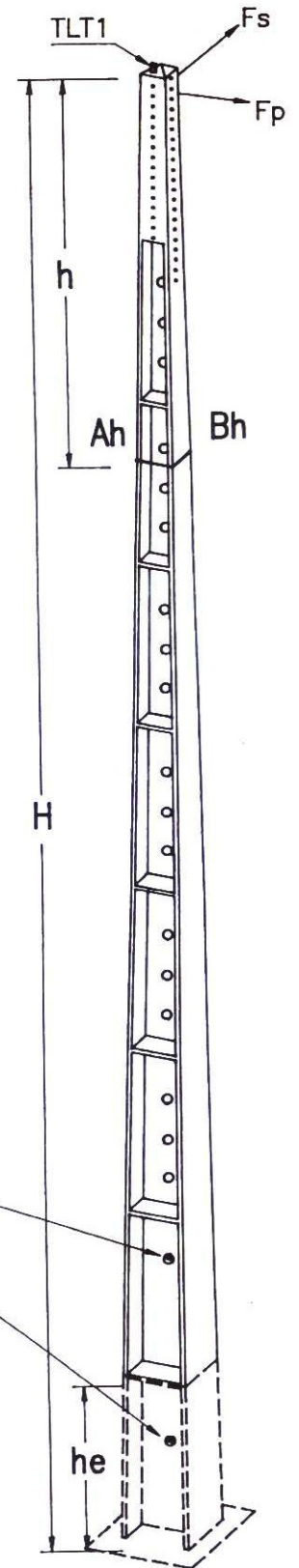
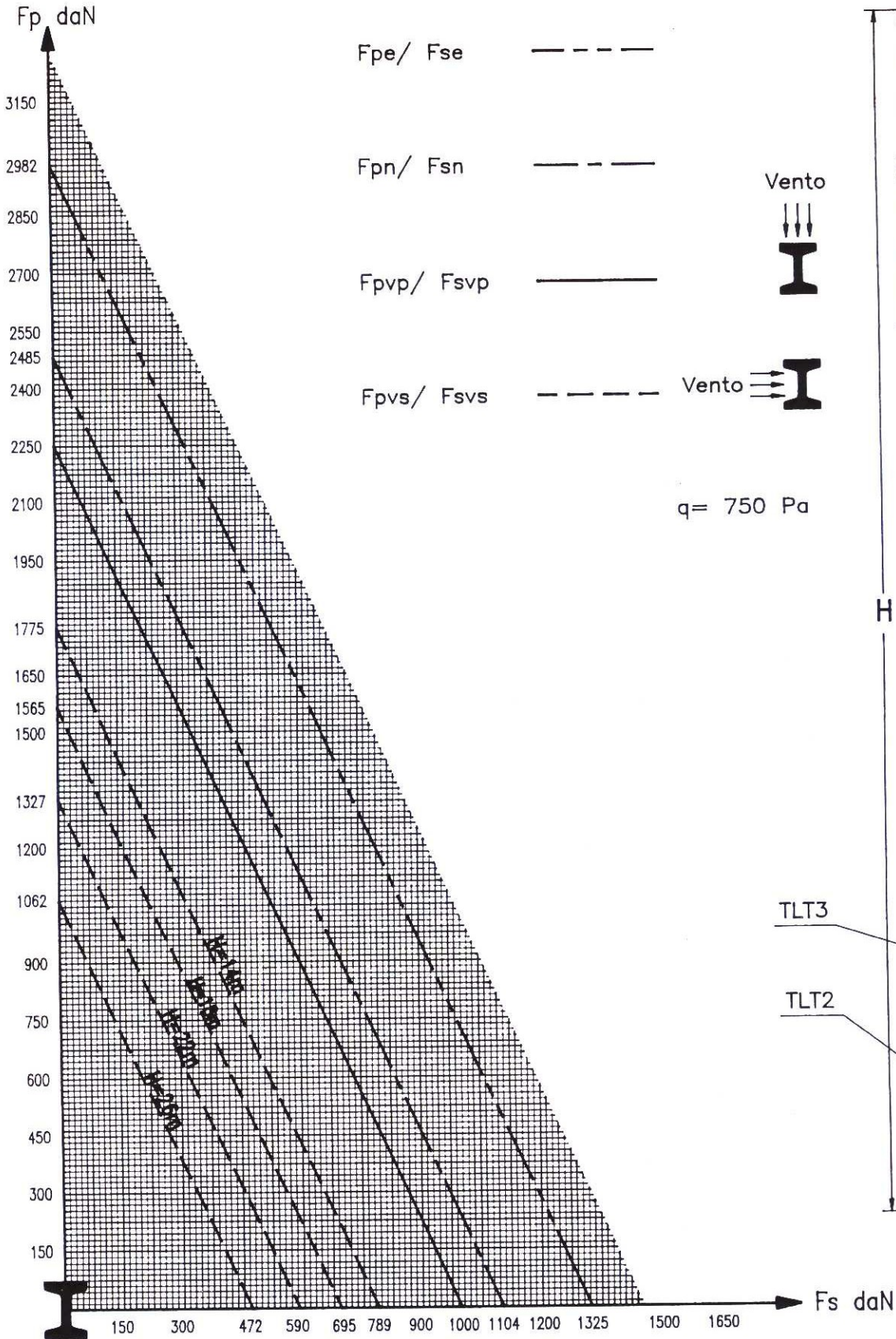
para H =	Fpvs /	+ Fsvs /	=
14 m	1648	733	1
16 m	1519	675	1
18 m	1381	614	1
20 m	1234	548	1
22 m	1078	479	1
24 m	914	406	1
26 m	741	329	1
28 m	559	249	1



MM04/2250

AM04/2250

$H \leq 28$  m



Data 97/10/01	Des. <i>Cláudio</i>	Visto <i>[Signature]</i>	Serie : Diagramas	Nº 208
---------------	---------------------	--------------------------	-------------------	--------



QUADRO CARACTERISTICAS DO POSTE

**MM06 / 2750**

p/ H <= 28 m

**AM06 / 2750**

h m	Ah mm	Bh mm	H m	Wt kg	hu m	bcg m	fpn mm	fsn mm
0,00	354	230						
0,25	361	235						
0,50	368	240	14	3540	12	6,1	271	339
1,00	382	250						
1,50	396	260	16	4400	14	6,8	323	403
2,00	410	270						
3,00	438	290	18	5350	16	7,5	379	474
4,00	466	310						
6,00	522	350	20	6390	18	8,2	436	545
8,00	578	390						
10,00	634	430	22	7510	19,5	8,9	495	619
12,00	690	470						
14,00	746	510	24	8700	21,5	9,6	555	694
16,00	802	550						
18,00	858	590	26	9990	23,5	10,4	601	751
20,00	914	630						
22,00	970	670	28	11430	25,5	10,7	663	829
24,00	1026	710						
26,00	1082	750						
28,00	1138	790						

$$Ah = 28 \times h + 354 \text{ mm}$$

$$Bh = 20 \times h + 230 \text{ mm}$$

$$Tr = 1145 \text{ dN.m}$$

$$Kp01 = 0,78$$

EQUAÇÕES DAS LINHAS VECTORIAIS:

$$Fpe / 3620 + Fse / 1711 = 1$$

$$Fpn / 3017 + Fsn / 1426 = 1$$

com vento q = 750 Pa na direcção Principal

$$Fpvp / 2750 + Fsvp / 1300 = 1$$

com vento q = 750 Pa na direcção Secundária

para H = 14 m  $Fpvs / 2256 + Fsvs / 1066 = 1$

H = 16 m  $Fpvs / 2153 + Fsvs / 1018 = 1$

H = 18 m  $Fpvs / 2043 + Fsvs / 966 = 1$

H = 20 m  $Fpvs / 1928 + Fsvs / 911 = 1$

H = 22 m  $Fpvs / 1806 + Fsvs / 854 = 1$

H = 24 m  $Fpvs / 1678 + Fsvs / 793 = 1$

H = 26 m  $Fpvs / 1543 + Fsvs / 729 = 1$

H = 28 m  $Fpvs / 1402 + Fsvs / 663 = 1$

com vento q = 900 Pa na direcção Principal

$$Fpvp / 2697 + Fsvp / 1275 = 1$$

com vento q = 900 Pa na direcção Secundária

para H = 14 m  $Fpvs / 2120 + Fsvs / 1002 = 1$

H = 16 m  $Fpvs / 1988 + Fsvs / 940 = 1$

H = 18 m  $Fpvs / 1849 + Fsvs / 874 = 1$

H = 20 m  $Fpvs / 1701 + Fsvs / 804 = 1$

H = 22 m  $Fpvs / 1545 + Fsvs / 730 = 1$

H = 24 m  $Fpvs / 1381 + Fsvs / 653 = 1$

H = 26 m  $Fpvs / 1209 + Fsvs / 572 = 1$

H = 28 m  $Fpvs / 1030 + Fsvs / 487 = 1$

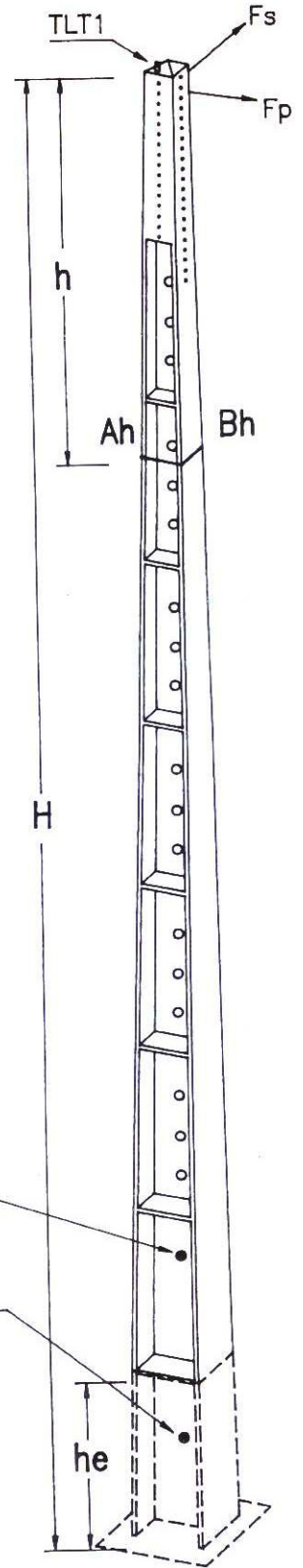
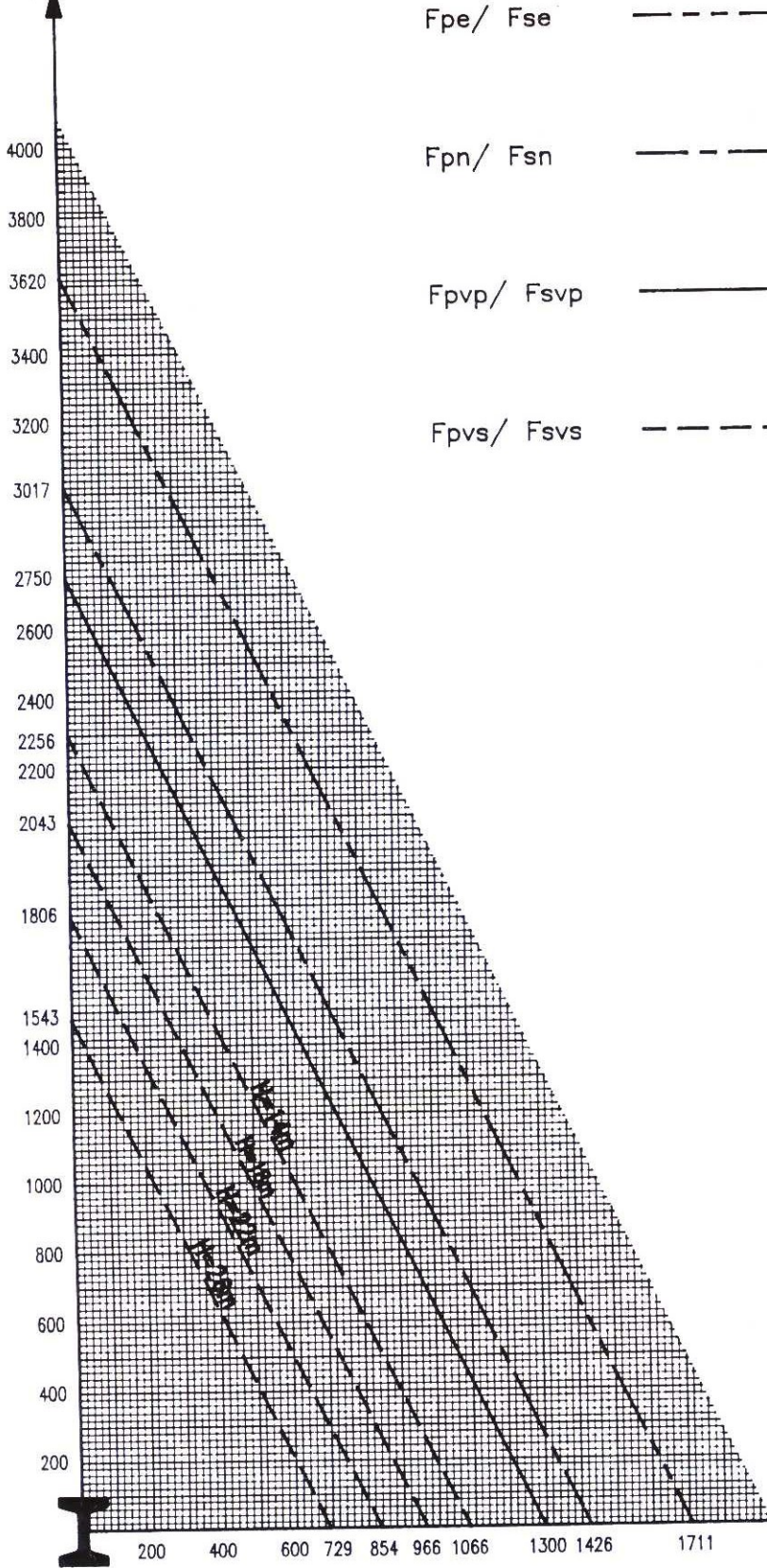


MM06/2750

AM06/2750

$H \leq 28$  m

Fp daN



Data 97/10/01	Des. <i>Albuquerque</i>	Visto <i>[Signature]</i>	Serie : Diagramas	Nº 209
---------------	-------------------------	--------------------------	-------------------	--------



QUADRO CARACTERISTICAS DO POSTE

MM08 / 3500

p/ H <= 28 m

h	Ah	Bh	H	Wt	hu	bcg	fpn	fsn
m	mm	mm	m	kg	m	m	mm	mm
0,00	410	270						
0,25	417	275						
0,50	424	280	14	4170	12	6,2	283	354
1,00	438	290						
1,50	452	300	16	5120	14	7	337	421
2,00	466	310						
3,00	494	330	18	6170	16	7,7	396	494
4,00	522	350						
6,00	578	390	20	7300	18	8,4	456	570
8,00	634	430						
10,00	690	470	22	8500	19,5	9,1	517	646
12,00	746	510						
14,00	802	550	24	9800	21,5	9,8	580	725
16,00	858	590						
18,00	914	630	26	11240	23,5	10,4	627	784
20,00	970	670						
22,00	1026	710	28	12780	25,5	11,0	692	865
24,00	1082	750						
26,00	1138	790						
28,00	1194	830						

Ah = 28 x h + 410 mm

Bh = 20 x h + 270 mm

Tr = 1481 dN.m

Kp01 = 0,79

EQUAÇÕES DAS LINHAS VECTORIAIS:

Fpe / 4558 + Fse / 2084 = 1

Fpn / 3798 + Fsn / 1736 = 1

com vento q = 750 Pa na direcção Principal

Fpvp / 3500 + Fsvp / 1600 = 1

com vento q = 750 Pa na direcção Secundária

para H = 14 m Fpvs / 2922 + Fsvs / 1336 = 1

H = 16 m Fpvs / 2804 + Fsvs / 1282 = 1

H = 18 m Fpvs / 2680 + Fsvs / 1225 = 1

H = 20 m Fpvs / 2549 + Fsvs / 1165 = 1

H = 22 m Fpvs / 2411 + Fsvs / 1102 = 1

H = 24 m Fpvs / 2267 + Fsvs / 1036 = 1

H = 26 m Fpvs / 2116 + Fsvs / 968 = 1

H = 28 m Fpvs / 1959 + Fsvs / 896 = 1

com vento q = 900 Pa na direcção Principal

Fpvp / 3440 + Fsvp / 1573 = 1

com vento q = 900 Pa na direcção Secundária

para H = 14 m Fpvs / 2765 + Fsvs / 1264 = 1

H = 16 m Fpvs / 2615 + Fsvs / 1195 = 1

H = 18 m Fpvs / 2456 + Fsvs / 1123 = 1

H = 20 m Fpvs / 2289 + Fsvs / 1046 = 1

H = 22 m Fpvs / 2114 + Fsvs / 966 = 1

H = 24 m Fpvs / 1930 + Fsvs / 882 = 1

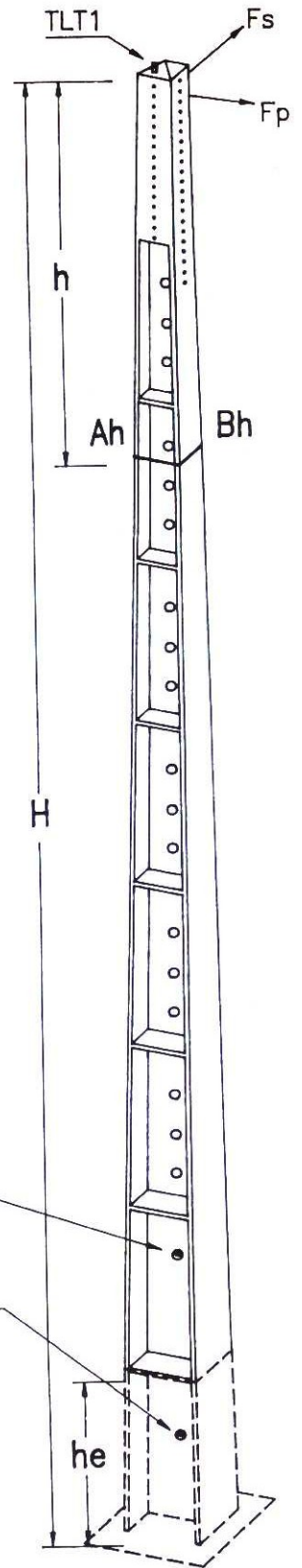
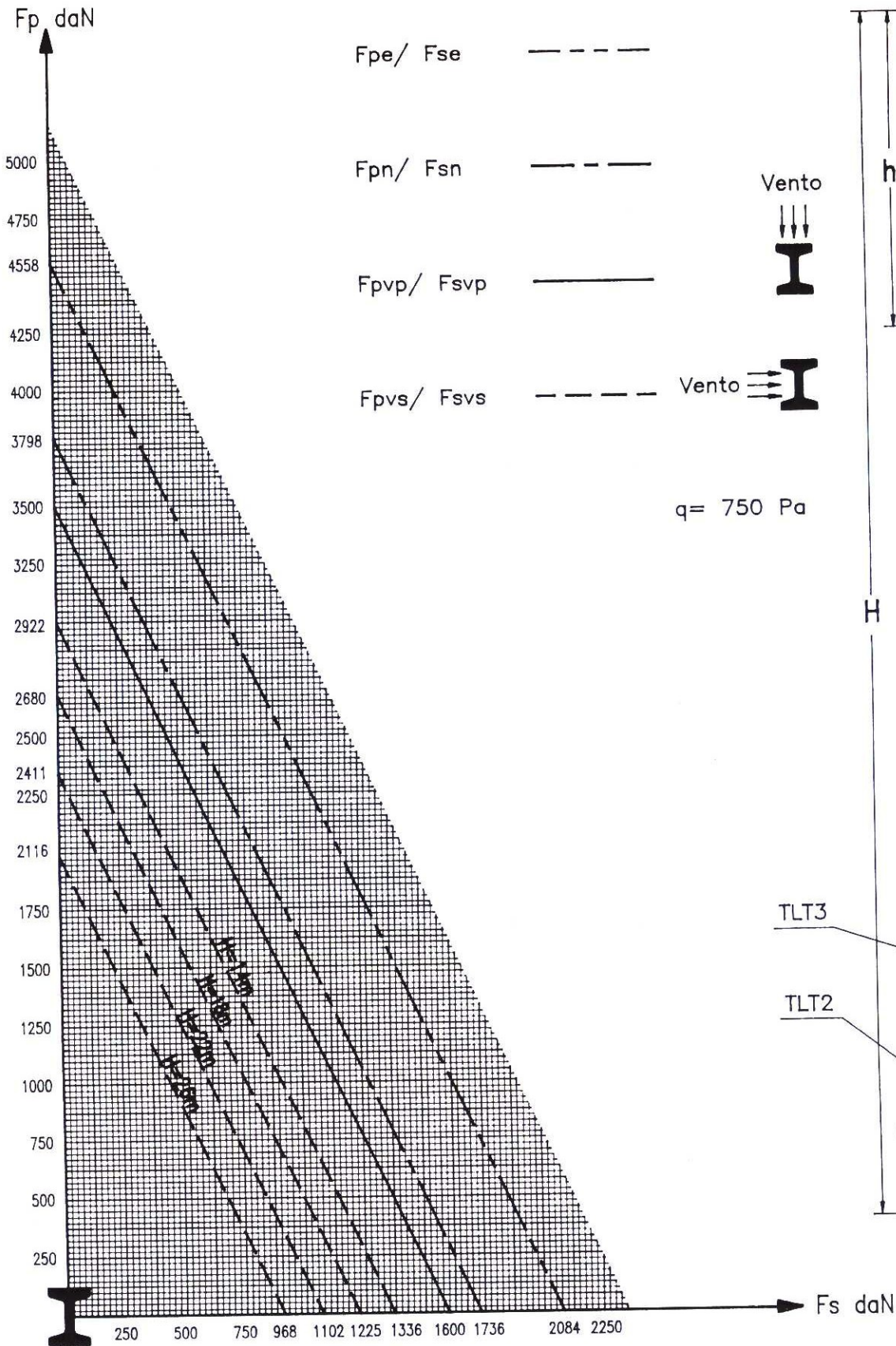
H = 26 m Fpvs / 1738 + Fsvs / 795 = 1

H = 28 m Fpvs / 1537 + Fsvs / 703 = 1



MM08/3500

H ≤ 28 m



Data 97/10/01	Des. <i>Cláudio</i>	Visto <i>[Signature]</i>	Serie : Diagramas	Nº 210
---------------	---------------------	--------------------------	-------------------	--------



QUADRO CARACTERISTICAS DO POSTE

**AK08 / 60.00**  
**MK08 / 60.00**

p/ H < = 32 m

h m	Ah mm	Bh mm
0,00	410	270
0,25	417	275
0,50	424	280
1,00	438	290
1,50	452	300
2,00	466	310
3,00	494	330
4,00	522	350
6,00	578	390
8,00	634	430
10,00	690	470
12,00	746	510
14,00	802	550
16,00	858	590
18,00	914	630
20,00	970	670
22,00	1026	710
24,00	1082	750
26,00	1138	790
28,00	1194	830
30,00	1250	870
32,00	1306	910

H m	Wt kg	hu m	bcg m	fpn mm	fsn mm
14	4420	12	6,2	293	484
16	5420	14	7,0	349	577
18	6500	16	7,7	410	677
20	7700	18	8,4	472	780
22	8970	19,5	9,1	535	885
24	10330	21,5	9,8	600	992
26	11850	23,5	10,4	650	1074
28	13470	25,5	11,0	716	1184
30	15170	27,5	11,5	784	1297
32	16980	29,5	12,1	853	1411

$$Ah = 28 \times h + 410 \text{ mm}$$

$$Bh = 20 \times h + 270 \text{ mm}$$

$$Tr = 1920 \text{ dN.m}$$

$$Kp01 = 0,787$$

EQUAÇÕES DAS LINHAS VECTORIAIS:

$$\begin{aligned} Fpe / 7558 + Fse / 3527 &= 1 \\ Fpn / 6298 + Fsn / 2939 &= 1 \end{aligned}$$

com vento q = 750 Pa na direcção Principal

$$Fpvp / 6000 + Fsvp / 2800 = 1$$

com vento q = 750 Pa na direcção Secundária

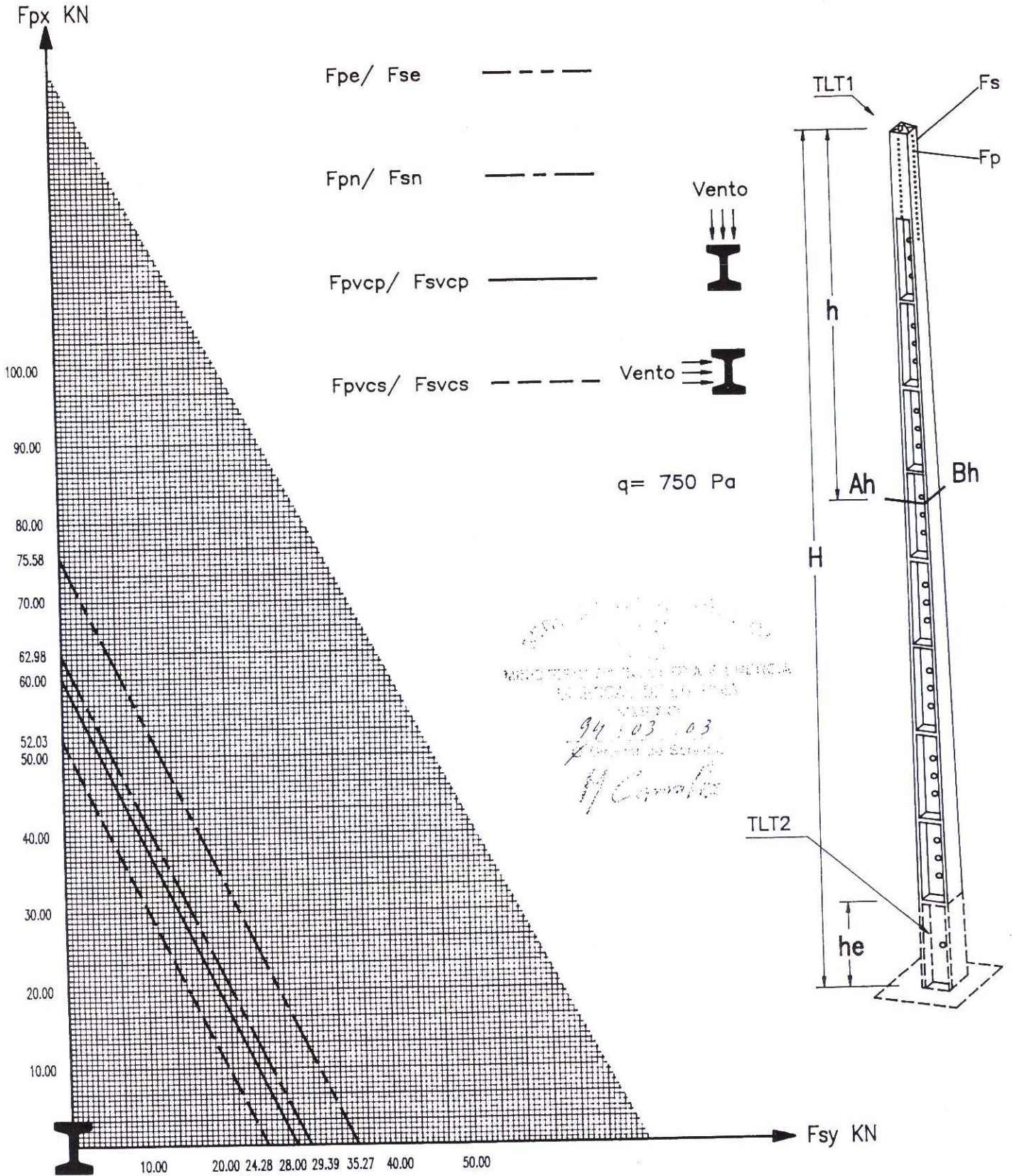
$$Fpvs / 5203 + Fsvs / 2428 = 1$$

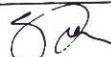
com vento q = 900 Pa na direcção Principal

$$Fpvp / 5865 + Fsvp / 2737 = 1$$

com vento q = 900 Pa na direcção Secundária

$$Fpvs / 4711 + Fsvs / 2199 = 1$$



Data	93/12/23	Des.	Olindina	Visto		Serie : Diagramas	Nº	174
------	----------	------	----------	-------	-------------------------------------------------------------------------------------	-------------------	----	-----

## **ANEXO VI**

### **Estabilidade das Cadeias de Suspensão**

<b>Apoio</b>	<b>Tipo de Apoio</b>	<b>Fixação</b>	<b>Constituição Apoio</b>	<b>Tipo de Travessa</b>	<b>Apoio</b>	<b>Vão Anterior (m)</b>	<b>Vão Posterior (m)</b>	<b>Q (daN)</b>	<b>Qv (daN)</b>	<b>P (daN)</b>	<b>Pv (daN)</b>	<b><math>\alpha</math>(°)</b>
2	Alinhamento	S	Betão	EVDS 120	MM06/2750-20	151,35	190,54	31	15	93,52	75,14	37,16
3	Alinhamento	S	Betão	EVDS 120	MM06/2750-20	190,54	136,10	31	15	89,35	71,79	37,08
6	Alinhamento	S	Betão	EVDS 120	MM08/3500-20	209,00	205,33	31	15	113,34	91,06	37,41
7	Alinhamento	S	Betão	EVDS 120	MM08/3500-22	205,33	151,13	31	15	97,51	78,34	37,23
9	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MM04/2250-18	203,83	214,88	31	15	114,54	92,02	37,41
10	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP04/1600-22	214,88	172,80	31	15	106,05	85,20	37,34
11	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP04/1600-18	172,80	164,31	31	15	92,22	74,09	37,13
12	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP04/1600-22	164,31	160,67	31	15	88,90	71,42	36,87
13	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP04/1600-18	160,67	176,83	31	15	92,32	74,18	37,13
14	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP04/1600-22	176,83	176,25	31	15	96,59	77,60	37,20
15	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MM04/2250-20	176,25	243,41	31	15	114,80	92,23	37,42
16	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MM04/2250-22	243,41	240,90	31	15	132,48	106,44	37,59
18	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP03/1400-18	114,90	159,84	31	15	75,16	60,38	36,83
20	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP03/1400-18	151,78	127,34	31	15	76,35	61,34	36,8
25	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MM04/2250-22	235,89	288,06	31	15	143,33	115,15	37,66
32	Alinhamento	S	Metálico	110E	RS/31/21	288,06	178,55	31	15	90,90	73,03	37,13
33	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP04/1600-20	178,55	161,04	31	15	92,89	74,64	37,16
34	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP04/1600-24	161,04	187,82	31	15	95,43	76,67	37,20
35	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP04/1600-22	187,82	185,53	31	15	102,13	82,05	37,27
36	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP04/1600-18	185,53	221,10	31	15	111,23	89,37	37,37
39	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP03/1400-18	146,97	137,90	31	15	77,93	62,60	36,86
40	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP03/1400-20	137,90	140,06	31	15	76,04	61,09	36,83
41	Alinhamento	S	Betão	GAN120	MP03/1400-18	140,06	127,63	31	15	73,23	58,83	36,79

## **ANEXO VII**

### **Estabilidade dos Maciços de Fundação**

Apoio					Vão (m)	Dimensões do maciço			Peso dos Condutores	Peso das Cadeias	Peso das Travessas	Peso do Maciço	Peso Total	C <sub>o</sub> (daN/cm <sup>3</sup> )	M <sub>d</sub>	M <sub>e1</sub>	M <sub>e2</sub>	M <sub>e1</sub> ≥ M <sub>e2</sub>	M <sub>e1</sub> < M <sub>e2</sub>
Nº	Tipo	Peso (kg)	Força	H (m)		a	b	h <sub>o</sub>										$\frac{M_{e1} + M_{e2}}{M_d} \geq 1$	$\frac{M_{e1} + M_{e2}}{M_d} \geq S \left( \frac{M_{e1}}{M_{e2}} \right)$
1	K08/60/28	7.700	6.000	20	151,35	2,4	2,4	3	586,22	90	250	41.472	50.188	10,5	130.500,00	189.000,00	49.698,97	1,829	
2	MM06/2750	6.390	2.750	20	190,54	1,45	1,85	2,5	1.324,24	180	250	16.095	24.239	8,75	58.895,83	70.258,25	13.164,99	1,416	
3	MM06/2750	6.390	2.750	20	136,1	1,45	1,85	2,5	1.265,17	180	250	16.095	24.180	8,75	58.895,83	70.258,25	13.138,27	1,416	
4	RS63	2.795	6.300	19,1	384,23	2,9	2,9	2,5											
5	RS63	3.750	6.300	22,6	209	3,2	3,2	2,8											
6	MM08/3500	7.300	3.500	20	205,33	1,45	1,85	2,5	1.604,82	180	250	16.095	25.430	8,75	74.958,33	70.258,25	13.699,41	1,12	
7	MM08/3500	8.500	3.500	22	151,13	2,5	2,5	2,5	1.380,68	180	250	37.500	47.811	8,75	81.958,33	94.943,58	49.257,98	1,759	
8	RS63	3.750	6.300	22,6	203,83	3,2	3,2	2,8											
9	MM04/2250	4.620	2.250	18	214,88	1,41	1,79	2,5	810,89	90	250	15.143	20.914	8,75	43.687,50	67.979,60	11.152,61	1,811	
10	MP04/1600	5.670	1.600	22	172,8	1,22	1,32	2,5	750,80	90	250	9.662	16.423	8,75	37.466,67	50.130,21	7.107,48	1,528	
11	MP04/1600	3.930	1.600	18	164,31	1,16	1,65	2,3	652,86	90	250	10.565	15.488	8,05	30.853,33	44.891,16	6.497,38	1,666	
12	MP04/1600	5.670	1.600	22	160,67	1,22	1,32	2,5	629,37	90	250	9.662	16.302	8,75	37.466,67	50.130,21	7.065,63	1,527	
13	MP04/1600	3.930	1.600	18	176,83	1,16	1,65	2,3	653,62	90	250	10.565	15.489	8,05	30.853,33	44.891,16	6.497,63	1,666	
14	MP04/1600	5.670	1.600	22	176,25	1,22	1,32	2,5	683,79	90	250	9.662	16.356	8,75	37.466,67	50.130,21	7.084,40	1,527	
15	MM04/2250	5.560	2.250	20	243,41	1,41	1,79	2,5	812,73	90	250	15.143	21.856	8,75	48.187,50	67.979,60	11.571,26	1,651	
16	MM04/2250	6.590	2.250	22	240,9	1,41	1,79	2,5	937,94	90	250	15.143	23.011	8,75	52.687,50	67.979,60	12.077,46	1,519	
17	RS42	2.450	4.200	20,8	114,9	2,9	2,9	2,5											
18	MP03	3.63	1.400	18	159,84	1,13	1,45	2,3	532,08	90	250	9.045	13.547	8,05	26.996,67	39.449,81	5.484,82	1,664	
19	RS31	2.277	3.100	23	151,78	2,9	2,9	2,7											
20	MP03/1400	3.630	1.400	18	127,34	1,13	1,45	2,3	540,56	90	250	9.045	13.555	8,05	26.996,67	39.449,81	5.487,57	1,665	
21	RS42	2.450	4.200	20,8	431,47	2,9	2,9	2,5											
22	RS42	2.940	4.200	22,8	141,34	3	3	2,7											
23	RS42	3.405	4.200	24,7	429,55	3,2	3,2	3											
24	RS42	2.940	4.200	22,8	235,9	3	3	2,7											
25	MM04/2250	6.590	2.250	22	288,06	1,41	1,79	2,5	1.014,73	90	250	15.143	23.088	8,75	52.687,50	67.979,60	12.110,83	1,52	
26	RS42	2.450	4.200	20,8	488,53	2,9	2,9	2,5											
27	RS42	2.450	4.200	20,8	220,46	2,9	2,9	2,5											
28	RS31	3.265	3.100	28,6	368,12	3,4	3,4	3,5											
29	RS63	4.485	4.200	30,3	268,79	3,6	3,6	3,5											
30	RS42	2.940	4.200	22,8	453,93	3	3	2,7											
31	RS42	2.940	4.200	22,8	153,34	3	3	2,7											
32	RS31	2.170	3.100	21	178,55	2,7	2,7	2,5											
33	MP04/1600	4.760	1.600	20	161,04	1,22	1,32	2,5	657,67	90	250	9.662	15.420	8,75	34.266,67	50.130,21	6.758,13	1,66	
34	MP04/1600	6.660	1.600	24	187,82	1,22	1,32	2,5	675,62	90	250	9.662	17.338	8,75	40.666,67	50.130,21	7.418,96	1,415	
35	MP04/1600	5.670	1.600	22	185,53	1,22	1,32	2,5	723,05	90	250	9.662	16.395	8,75	37.466,67	50.130,21	7.097,92	1,527	
36	MP04/1600	3.930	1.600	18	221,1	1,16	1,65	2,3	787,50	90	250	10.565	15.623	8,05	30.853,33	44.891,16	6.542,98	1,667	
37	RS42	2.940	4.200	22,8	372,56	3	3	2,7											
38	RS42	2.040	4.200	19,2	146,97	2,8	2,8	2,5											
39	MP03/1400	3.630	1.400	18	137,9	1,13	1,45	2,3	551,69	90	250	9.045	13.566	8,05	26.996,67	39.449,81	5.491,19	1,665	
40	MP03/1400	4.430	1.400	20	140,06	1,19	1,76	2,5	538,31	90	250	12.566	17.875	8,75	29.983,33	66.840,28	7.773,28	2,489	
41	MP03/1400	3.630	1.400	18	127,63	1,13	1,45	2,3	518,42	90	250	9.045	13.533	8,05	26.996,67	39.449,81	5.480,38	1,664	
42	K08/60/28	7.700	6.000	20		2,4	2,4	3	0,00	90	250	41.472	49.512	10,5	130.500,00	189.000,00	49.099,54	1,825	

## MACIÇOS PARA POSTES METÁLICOS - MÉDIA TENSÃO

TIPO/ALTURA	RS9 e RS15	RS22 e RS31	RS42	TIPO/ALTURA	RS63	RS94	OBSERVAÇÕES
11,7	1,70X1,70X1,70 = 4,913 1,70X1,70X1,90 = 5,491	2,00X2,00X1,70 = 6,800 2,00X2,00X1,90 = 7,600	2,20X2,20X1,70 = 8,228 2,20X2,20X1,90 = 9,196	13,7	2,40X2,40X2,20 = 12,672 2,40X2,40X2,50 = 14,000	2,60X2,60X2,20 = 14,872 2,60X2,60X2,50 = 16,900	ESCAVAÇÃO BETONAGEM
13,7	1,80X1,80X1,70 = 5,508 1,80X1,80X1,90 = 6,156	2,20X2,20X1,70 = 8,228 2,20X2,20X1,90 = 9,196	2,40X2,40X1,70 = 9,792 2,40X2,40X1,90 = 10,944	15,2	2,50X2,50X2,20 = 13,750 2,50X2,50X2,50 = 15,625	2,70X2,70X2,20 = 16,038 2,70X2,70X2,50 = 18,225	ESCAVAÇÃO BETONAGEM
15,4	2,00X2,00X1,70 = 6,800 2,00X2,00X1,90 = 7,600	2,30X2,30X1,70 = 8,993 2,30X2,30X1,90 = 10,051	2,50X2,50X1,70 = 10,625 2,50X2,50X1,90 = 11,875	17,2	2,80X2,80X2,20 = 17,248 2,80X2,80X2,50 = 19,600	3,00X3,00X2,20 = 19,800 3,00X3,00X2,50 = 22,500	ESCAVAÇÃO BETONAGEM
17,4	2,00X2,00X2,00 = 8,000 2,00X2,00X2,20 = 8,800	2,50X2,50X2,00 = 12,500 2,50X2,50X2,20 = 13,750	2,60X2,60X2,00 = 13,520 2,60X2,60X2,20 = 14,872	19,2	2,90X2,90X2,50 = 21,025 2,90X2,90X2,80 = 23,548	3,20X3,20X2,50 = 25,600 3,20X3,20X2,80 = 28,672	ESCAVAÇÃO BETONAGEM
19,4	2,00X2,00X2,50 = 10,000 2,00X2,00X2,70 = 10,800	2,70X2,70X2,50 = 18,225 2,70X2,70X2,70 = 19,683	2,80X2,80X2,50 = 19,600 2,80X2,80X2,70 = 21,168	20,8	3,00X3,00X2,50 = 22,500 3,00X3,00X2,80 = 25,200	3,50X3,50X2,50 = 30,625 3,50X3,50X2,80 = 34,300	ESCAVAÇÃO BETONAGEM
21	2,00X2,00X2,50 = 10,000 2,00X2,00X2,70 = 10,800	2,70X2,70X2,50 = 18,225 2,70X2,70X2,70 = 19,683	2,90X2,90X2,50 = 21,025 2,90X2,90X2,70 = 22,707	22,8	3,20X3,20X2,80 = 28,672 3,20X3,20X3,10 = 31,744	3,80X3,80X2,80 = 40,432 3,80X3,80X3,10 = 44,764	ESCAVAÇÃO BETONAGEM
22	2,10X2,10X2,70 = 11,907 2,10X2,10X2,90 = 12,790	2,90X2,90X2,70 = 22,707 2,90X2,90X2,90 = 24,389	3,00X3,00X2,70 = 24,300 3,00X3,00X2,90 = 26,100	24,8	3,40X3,40X2,80 = 32,368 3,40X3,40X3,10 = 35,836	4,20X4,20X3,00 = 52,920 4,20X4,20X3,30 = 58,212	ESCAVAÇÃO BETONAGEM
23	2,20X2,20X2,70 = 13,068 2,20X2,20X2,90 = 14,036	2,90X2,90X2,70 = 22,707 2,90X2,90X2,90 = 24,389	3,00X3,00X2,70 = 24,300 3,00X3,00X2,90 = 26,100	26,2	3,60X3,60X3,10 = 40,176 3,60X3,60X3,30 = 42,768	4,50X4,50X3,10 = 62,775 4,50X4,50X3,40 = 68,850	ESCAVAÇÃO BETONAGEM
25	2,30X2,30X3,00 = 15,870 2,30X2,30X3,30 = 17,457	3,00X3,00X3,00 = 27,000 3,00X3,00X3,30 = 29,700	3,20X3,20X3,00 = 30,720 3,20X3,20X3,30 = 33,792	30,5	3,80X3,80X3,30 = 47,652 3,80X3,80X3,60 = 51,984	4,80X4,80X3,30 = 76,032 4,80X4,80X3,60 = 82,994	ESCAVAÇÃO BETONAGEM
26,6	2,40X2,40X3,00 = 17,280 2,40X2,40X3,30 = 19,008	3,20X3,20X3,00 = 30,720 3,20X3,20X3,30 = 33,792	3,30X3,30X3,00 = 32,670 3,30X3,30X3,30 = 35,937				ESCAVAÇÃO BETONAGEM
28,6	2,50X2,50X3,50 = 21,875 2,50X2,50X3,80 = 23,750	3,40X3,40X3,50 = 40,460 3,40X3,40X3,80 = 43,928	3,50X3,50X3,50 = 42,875 3,50X3,50X3,80 = 46,550				ESCAVAÇÃO BETONAGEM
30,6	2,60X2,60X3,50 = 23,660 2,60X2,60X3,80 = 25,688	3,50X3,50X3,50 = 42,875 3,50X3,50X3,80 = 46,550	3,60X3,60X3,50 = 45,360 3,60X3,60X3,80 = 49,248				ESCAVAÇÃO BETONAGEM



## **ANEXO VIII**

### **Distância Mínima entre Condutores**

Apoio		Vão (m)	K	d (m)	f (m)	D (m)
1	2	151,35	0,60	0,70	2,91	1,01
2	3	190,54	0,60	0,70	4,22	1,15
3	4	136,10	0,60	0,70	2,40	0,94
4	5	384,23	0,60	0,70	14,80	1,92
5	6	209,00	0,60	0,70	4,88	1,21
6	7	205,33	0,60	0,70	4,48	1,17
7	8	151,13	0,60	0,70	2,81	0,99
8	9	203,83	0,60	0,70	4,68	1,19
9	10	214,88	0,60	0,70	5,12	1,24
10	11	172,80	0,60	0,70	3,53	1,08
11	12	164,31	0,60	0,70	3,24	1,04
12	13	160,67	0,60	0,70	3,20	1,04
13	14	176,83	0,60	0,70	3,72	1,10
14	15	176,25	0,60	0,70	3,65	1,09
15	16	243,41	0,60	0,70	6,39	1,35
16	17	240,90	0,60	0,70	6,29	1,34
17	18	114,90	0,60	0,70	1,82	0,86
18	19	159,84	0,60	0,70	3,17	1,04
19	20	151,78	0,60	0,70	3,03	1,02
20	21	127,34	0,60	0,70	2,18	0,91
21	22	431,47	0,60	0,70	18,28	2,11
22	23	141,34	0,60	0,70	2,54	0,96
23	24	429,55	0,60	0,70	18,20	2,11
24	25	235,90	0,60	0,70	6,05	1,32
25	26	288,06	0,60	0,70	8,65	1,53
26	27	488,53	0,60	0,70	23,13	2,35
27	28	220,46	0,60	0,70	5,39	1,26
28	29	368,12	0,60	0,70	13,67	1,86
29	30	268,79	0,60	0,70	7,77	1,46
30	31	453,93	0,60	0,70	20,13	2,20
31	32	153,34	0,60	0,70	2,99	1,01
32	33	178,55	0,60	0,70	3,76	1,10
33	34	161,04	0,60	0,70	3,18	1,04
34	35	187,82	0,60	0,70	4,07	1,13
35	36	185,53	0,60	0,70	3,99	1,13
36	37	221,10	0,60	0,70	5,40	1,26
37	38	372,56	0,60	0,70	13,86	1,87
38	39	146,97	0,60	0,70	2,79	0,99
39	40	137,90	0,60	0,70	2,52	0,96
40	41	140,06	0,60	0,70	2,69	0,98
41	42	127,63	0,60	0,70	2,17	0,91