

Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto



**Redes eléctricas de média e baixa tensão
Aspectos de projecto, licenciamento e exploração em
contexto operacional**

Cláudio Daniel de Brito Sousa Galvão

Versão Provisória

**Dissertação realizada no âmbito do
Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores
Major Energia**

**Orientador: Professor Doutor Artur Manuel de Figueiredo Fernandes e Costa
Co-orientador: Eng. António Guedes Mesquita**

Junho de 2010

Resumo

A distribuição de energia eléctrica tem um papel preponderante no bem-estar e funcionamento da sociedade actual, pelo que deve ser alvo de uma abordagem séria e cuidada, tanto a nível técnico como prático.

Esta dissertação tem como principal objectivo a descrição de um trabalho desenvolvido pelo autor, onde se estabelece uma sistematização de processos teóricos e práticos associados às redes eléctricas de baixa e média tensão. O autor explora, ainda, os processos descritos, por forma a atingir conclusões para os restantes objectivos propostos.

O trabalho decorreu em contexto operacional, durante quatro meses, na EDP Distribuição, S.A., Área Operacional de Penafiel, onde se desenvolveram as experiências descritas, pesquisas tendo em vista o cumprimento dos objectivos e acções de campo para melhor entendimento das questões associadas.

Apresenta-se, ainda, neste documento, um enquadramento do projecto de redes eléctricas de MT, considerando aspectos tanto do foro técnico e legal como relacionados com os impactes ambientais.

A sistematização do projecto de redes MT, essencial para o entendimento prático dos mesmos, é também um assunto abordado nesta dissertação.

Abstract

Energy distribution has, nowadays, a preponderant role to play at people`s well being and current society`s operation, hence it must be target of a serious and careful approach, in both technical and practical level.

This dissertation has as main goal the description of the author`s work on theoretical and practical processes associated to electrical grids established in low and medium voltage levels. The author also explores the described processes, in order to attain conclusions on other several proposed goals.

The described work was, in its four months length, realized under operational context at *EDP Distribuição, S.A., Área Operacional de Penafiel*, where were developed all the reported experiences, researches owing to goals achievement and field visits to a better understanding of associated questions.

It is also stated, in this document, an overview on medium voltage power grids, considering, in one hand, technical and legal aspects, and in the other, environmental impacts.

The systematization of power grids project, essential to their practical understanding, is, as well, a subject of this dissertation.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, tenho de expressar todo o meu carinho e admiração pelos meus pais, por desde sempre serem o exemplo ideal para mim e por terem sido os principais impulsionadores desta fase da vida em que me encontro.

Quero também prestar o meu mais sincero agradecimento ao meu orientador, Professor Doutor Artur Manuel de Figueiredo Fernandes e Costa, por, em todos os momentos, ter demonstrado toda a sua competência pedagógica, organizacional e técnica. O professor é, sem dúvida, um exemplo, para mim, no decorrer da minha vida futura.

Um muito obrigado ao Professor Doutor António Carlos Sepúlveda Machado e Moura, por toda a delicadeza, por ser das pessoas mais prestáveis que alguma vez conheci, pela demonstração de competências pessoais que sempre demonstrou durante o plano de estudos, e, por fim, pela disponibilização de referências ao longo deste período.

Uma palavra de apreço ao Eng. António Guedes Mesquita, por ter possibilitado a contextualização operacional desta dissertação e por sempre se mostrar disponível para esclarecer dúvidas com tremenda clareza e de forma minuciosa.

Agradeço também aos Eng^{os} José Manuel Moura, Rui Ferreira Soares, Daniel Soares Pinto, Eduardo Miguel Almeida, por toda a transmissão de conhecimento e por serem os que, nestes últimos 4 meses, mais de perto acompanharam e potenciaram a minha evolução técnica.

De forma geral, agradeço ainda a todos os colaboradores da EDP Distribuição, S.A., sediados na Área Operacional de Penafiel, que directa ou indirectamente contribuíram para o meu crescimento a nível técnico e pela prestabilidade que sempre demonstraram. Devo deixar um particular obrigado aos Sr.^{es} Caetano Silva e António Luís, por toda a paciência.

Um abraço ao Pedro, pelos transportes ocasionais.

Por fim, mas certamente das pessoas mais importantes ao longo do período académico, agradeço à Maria, que para além de namorada, é uma amiga excepcional, e também aos meus amigos, sem os quais seria impensável chegar ao fim desta etapa.

“Who`s got the monkey?”

*William Oncken, Jr.
Donald L. Wass*

Índice

Resumo	iii
Abstract.....	v
Agradecimentos	vii
Índice.....	xi
Lista de figuras	xiii
Lista de tabelas	xvii
Abreviaturas e Símbolos	xix
Capítulo 1	1
Introdução.....	1
1.1 - Objectivos.....	3
1.2 - Metodologia.....	3
1.3 - Breve descrição do documento.....	3
Capítulo 2	7
Enquadramento do projecto de redes eléctricas MT	7
2.1 - Disposições regulamentares relevantes.....	7
2.2 - A necessidade do projecto de redes eléctricas em MT	9
2.3 - Impactes ambientais associados a modificações ou estabelecimento de novos ramais MT	10
2.4 - Investimentos necessários para construção de linhas aéreas MT.....	15
2.5 - Licenciamento e aspectos legais associados a novos ramais ou modificações na rede MT	17
2.6 - Síntese	18
Capítulo 3	21
O projecto.....	21
3.1 - Definições relevantes	21
3.2 - Material e equipamento	23
3.3 - Estabelecimento do percurso da linha	33
3.4 - Reconhecimento do perfil sobreelevado do terreno	33
3.5 - Cálculo mecânico de condutores e desenho de curvas.....	34
3.6 - Cálculo mecânico de apoios e esforços aplicados.....	47

3.7 - Dimensionamento de maciços (método de Sulzberger)	57
3.8 - Cálculo eléctrico dos condutores	59
3.9 - Síntese	65
Capítulo 4	67
Experiências de dimensionamento concluídas e contribuições	67
4.1 - Modificação da linha Rebordosa-Paredes II, com criação de ramal para PT em Mouriz (Escola)	67
4.1.1 - Motivação e justificação	67
4.1.2 - Condicionantes do projecto	69
4.1.3 - Desenvolvimento do projecto e soluções	70
4.2 - Modificação da linha Baião-Amarante, com criação de ramal para PT em Lomba.....	72
4.2.1 - Motivação e justificação	72
4.2.2 - Condicionantes do projecto	74
4.2.3 - Desenvolvimento do projecto e soluções	74
4.3 - Criação de ramal para PT Vila Caiz-Francos, nº366/AMT	79
4.3.1 - Motivação e justificação	79
4.3.2 - Condicionantes do projecto	79
4.3.3 - Desenvolvimento do projecto e soluções	80
4.4 - Modificação do ramal de alimentação do PT Mouriz-Zé do Telhado.....	81
4.4.1 - Motivação e justificação	81
4.4.2 - Condicionantes do projecto	83
4.4.3 - Desenvolvimento do projecto e soluções	83
4.5 - Análise a rede BT em Aguiar de Sousa-Paredes	85
4.5.1 - Contextualização	85
4.5.2 - Motivação e justificação	86
4.5.3 - Desenvolvimento da análise e soluções	87
4.6 - Síntese	91
Capítulo 5	93
Conclusões	93
5.1 - Conclusões e trabalho futuro	93
Referências bibliográficas.....	97
Anexo A.....	101
Coefficientes de compressibilidade do solo, a 2 m de profundidade.....	101
Anexo B.....	103
Valores de tensão mecânica de montagem tabelados	103
Apêndice A.....	105
Distâncias mínimas entre condutores, segundo RSLEAT	105
Apêndice B.....	107
Suplementos para análise da rede BT em Aguiar de Sousa-Paredes	107

Lista de figuras

Figura 2.1 - Níveis de referência para exposição de pessoas a campos eléctricos variáveis no tempo [27].	14
Figura 2.2 - Níveis de referência para exposição de pessoas a campos magnéticos variáveis no tempo [27].	15
Figura 3.1 - Pormenor de condutor de alumínio com alma de aço [34].	24
Figura 3.2 - Diversas funções dos apoios. (a) apoio em alinhamento, (b) apoio de ângulo, (c) apoio de reforço em alinhamento, (d) apoio de fim de linha, (e) apoio de derivação em alinhamento, (f) apoio de derivação em ângulo [35].	25
Figura 3.3 - Tipos de solicitações aplicadas a um apoio.	26
Figura 3.4 - Diferentes aplicações dos apoios de betão.	26
Figura 3.5 - Armação tipo esteira horizontal (HPT4).	27
Figura 3.6 - Armação tipo esteira horizontal (HRSFC).	28
Figura 3.7 - Armação tipo triângulo para alinhamento (TAL).	28
Figura 3.8 - Armação tipo galhardete para alinhamento (GAL).	28
Figura 3.9 - Tipos de isoladores. (a) Isolador rígido, (b) Isolador para acoplamento em cadeia [37].	30
Figura 3.10 - Cadeias de isoladores. (a) Cadeia em suspensão simples, (b) Cadeia em amarração [37].	32
Figura 3.11 - Cadeia de amarração com hastes [33].	33
Figura 3.12 - Árvore de decisão para determinação do estado mais desfavorável [40].	39
Figura 3.13 - Exemplo de transparente associado a um parâmetro de catenária, para esboço de curva no perfil sobreelevado [33].	41
Figura 3.14 - Exemplo de desenho de curvas relativas a dois vãos, através dos transparentes, representadas por 1 e 2 [39].	42
Figura 3.15 - (a) Vão em patamar, (b) Vão em declive [29].	44

Figura 3.16 - Esquemas de armações. (a) Armação GAN, (b) Armação VAN, (c) Sobreposição de armações GAN e VAN, para determinação de distância a meio vão [33].	46
Figura 3.17 - Exemplo de referencial considerado para determinação dos ângulos β_1 , β_2 e α [33].	47
Figura 3.18 - Apoio de alinhamento.	48
Figura 3.19 - Apoio de ângulo.	49
Figura 3.20 - Apoio de reforço em alinhamento.	50
Figura 3.21 - Apoio de derivação em alinhamento.	51
Figura 3.22 - Apoio de derivação em ângulo	52
Figura 3.23 - Apoio de fim de linha.	54
Figura 3.24 - Exemplo de diagrama de esforços suportados por um apoio de betão [44].	56
Figura 3.25 - Esquema auxiliar para dimensionamento de maciços segundo método de Sulzberger [43].	58
Figura 4.1 - Perspectiva da rede MT antes da intervenção (Fonte:SIT-DM)	68
Figura 4.2 - Perspectiva da rede MT após a intervenção (Fonte: SIT-DM)	69
Figura 4.3 - Esboço de catenárias para ramal PT Mouriz (Escola)	71
Figura 4.4 - Perspectiva da rede MT antes da intervenção (Fonte:SIT-DM)	73
Figura 4.5 - Perspectiva da rede MT após intervenção (Fonte:SIT-DM)	74
Figura 4.6 - Esboço de catenárias para ramal PT Lomba	75
Figura 4.7 - Esboço de catenárias para intercalação de apoio 11A na linha Baião-Amarante (solução representada pela linha contínua, sendo que a tracejado estão as antigas catenárias).	77
Figura 4.8 - Perspectiva da rede MT após intervenção (Fonte:SIT-DM)	79
Figura 4.9 - Esboço de catenárias para ramal PT Al Vila Caiz-Francos	81
Figura 4.10 - Perspectiva da rede MT antes da intervenção (Fonte:SIT-DM).	82
Figura 4.11 - Perspectiva da rede MT após intervenção (Fonte:SIT-DM).	83
Figura 4.12 - Esboço de catenárias para ramal PT Mouriz-Zé do Telhado.	84
Figura 4.13 - Mapa identificativo da zona da análise à rede BT	87
Figura 4.14 - Pormenor da saída do PT nº 360/PRD em DPlan.	88
Figura 4.15 - Pormenor da saída do PT nº 360/PRD em DPlan, com inserção de PVA.	89
Figura 4.16 - Pormenor de nova saída em estudo, do PT nº 360/PRD, para estabelecimento do pedido de viabilidade.	90

Figura B.1 - Pormenor de tabela com valores para tensões de montagem.	104
---	------------

Lista de tabelas

Tabela 3.1 - Temperatura a considerar, segundo o RSLEAT, para os estados de Inverno e Primavera.....	36
Tabela 3.2 - Temperatura a considerar, segundo o RSLEAT, para o estado de Verão.	37
Tabela 3.3 - Valores da pressão dinâmica do vento em função da altura do elemento sobre o qual se pretende calcular a acção do vento (artigo 13º do RSLEAT).	37
Tabela 3.4 - Valores do coeficiente de redução a adoptar (artigo 14º do RSLEAT).	38
Tabela 3.5 - Valores do coeficiente de forma para condutores, cabos de guarda e isoladores (artigo 15º do RSLEAT).	38
Tabela 3.6 - Coeficientes de termoresistividade e valores de resistividade para condutores de cobre e alumínio	62
Tabela 3.7 - Valores de $K1$ e $K2$ para aplicação na expressão 3.48.	63
Tabela 4.1 - Esforços aplicados nos apoios	71
Tabela 4.2 - Esforços aplicados nos apoios	76
Tabela 4.3 - Esforços aplicados nos apoios, segundo hipótese 1	78
Tabela 4.4 - Esforços aplicados nos apoios, segundo hipótese 2	78
Tabela 4.5 - Esforços aplicados nos apoios, segundo hipótese 1	81
Tabela 4.6 - Esforços aplicados nos apoios, segundo hipótese 1	85
Tabela 4.7 - Dados obtidos pelo REBATE para análise da rede.	88
Tabela 4.8 - Dados obtidos pelo REBATE para análise da rede, com inserção de PVA.	89
Tabela 4.9 - Dados obtidos pelo REBATE para análise da nova saída do PT nº 360/PRD.	90
Tabela A.1 - Coeficientes de compressibilidade, a 2 m de profundidade.....	102
Tabela A.1 - Distâncias mínimas regulamentares entre condutores.	106
Tabela B.1 - Estatística das cargas na rede.	108
Tabela B.2 - Trânsito de energia na rede em estudo.	108

Tabela B.3 - Estatística das cargas na rede, com inserção de PVA.....	110
Tabela B.4 - Trânsito de energia na rede em estudo, com inserção de PVA.	110
Tabela B.5 - Estatística das cargas no circuito proposto para alimentação do PVA.....	112
Tabela B.6 - Trânsito de energia no circuito proposto para alimentação do PVA.	112

Abreviaturas e Símbolos

Lista de abreviaturas (ordenadas por ordem alfabética)

CAD	<i>Computer Aided Design</i>
FEUP	Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto
EDP	Energias de Portugal
DGEG	Direcção Geral de Energia e Geologia
MT	Média Tensão
MAT	Muito Alta Tensão
AT	Alta Tensão
PT	Posto de Transformação
LN	Linha
SIT-DM	Sistema de Informação Técnica - <i>Design Manager</i>
RSLEAT	Regulamento de Segurança para Linhas Eléctricas de Alta Tensão
RLIE	Regulamento de Licenças para Instalações Eléctricas
CENELEC	Comité Européu de Normalização Electrotécnica
CEI	Comissão Electrotécnica Internacional
PT AI	Posto de Transformação Aéreo com Interruptor
PT AS	Posto de Transformação Aéreo com Seccionador
TET	Trabalhos em Tensão
ACSR	<i>Alluminum conductor, steel reinforced</i>
DL	Decreto-Lei
UE	União Europeia
ICN	Instituto da Conservação da Natureza
SPEA	Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves
REN	Redes Energéticas Nacionais
AIA	Avaliação de Impacte Ambiental
EIA	Estudo de Impacte Ambiental
OMS	Organização Mundial da Saúde
ICNIRP	<i>International Commission on Non-Ionizing Raditation Protection</i>

DREN	Direcção Regional da Economia do Norte
PVA	Pedido de viabilidade

Lista de símbolos

K_{2C}	Investimento para uma linha aérea com dois circuitos [k€/km]
K_{1C}	Investimento para uma linha aérea com um circuitos [k€/km]
$F_{vento\ i}$	Acção do vento no estado atmosférico i [daN]
$I_{cc}^{máx}$	Valor eficaz máximo admissível da corrente permanente de curto-circuito [kA]
h_o	Profundidade de enterramento de um apoio [m]
C_{2m}	Coeficiente de compressibilidade do terreno à profundidade de 2 m [daN/cm ³]
C_o	Coeficiente de compressibilidade do terreno à profundidade h_o [daN/cm ³]
D'	Distância mínima regulamentar entre os condutores a um dado elemento [m]
D_t	Distância mínima regulamentar entre condutores [m]
$F_{máx_apoio_h}$	Solicitação mecânica máxima, no plano horizontal, suportada por um apoio [daN]
$F_{máx_apoio_x}$	Solicitação mecânica máxima, longitudinal à linha, suportada por um apoio [daN]
$F_{máx_apoio_y}$	Solicitação mecânica máxima, transversal à linha, suportada por um apoio [daN]
$F_{máx_apoio_z}$	Solicitação mecânica máxima, vertical à linha, suportada por um apoio [daN]
F_x	Solicitação mecânica longitudinal à linha [daN]
F_y	Solicitação mecânica transversal à linha [daN]
F_z	Solicitação mecânica vertical à linha [daN]
I_s	Intensidade de corrente de serviço [A]
K_1	Constante do material condutor [mm ² /kA.s ^{1/2}]
K_2	Constante de temperatura [adimensional]
L_{cr}	Vão crítico [m]
$L_{méd}$	Vão médio [m]
M_d	Momento derrubante [daN.m]
M_{e1}	Componente do momento estabilizante, devida ao encastramento do maciço no solo [daN.cm]
M_{e2}	Componente do momento estabilizante, devida à reacção do terreno no fundo da cova [daN.cm]
P_{ep}	Peso específico do material do apoio [daN/m]
P_n	Potência nominal [kW]
P_{pe}	Peso da parte enterrada do apoio [daN]
P_t	Peso total do apoio e do maciço [daN]
T_R	Tensão de rotura do condutor [daN]
T_{seg}	Tensão máxima de tracção [daN]

U_c	Tensão composta [kV]
U_n	Tensão nominal [kV]
U_s	Tensão eficaz simples [kV]
g	Condutância específica [Ω^{-1}/km]
W_0	Peso unitário de um condutor [daN/m]
X_1	Distância entre os topos de dois apoios em declive [m]
d_t	Comprimento das cadeias de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha [m]
lf_T	Linha de fuga mínima da cadeia de isoladores [mm]
lf_{camp}	Linha de fuga de cada campânula [mm]
m_i	Coefficiente de sobrecarga do estado atmosférico i [adimensional]
n_{camp}	Número de campânulas necessárias para garantir a linha de fuga mínima da cadeia de isoladores [adimensional]
t_{seg}	Tensão máxima de tracção específica [daN/mm ²]
t_θ	Tensão de montagem de um cabo, à temperatura θ [daN/mm ²]
α_d	Coefficiente de dilatação térmica do condutor [$^{\circ}\text{C}^{-1}$]
θ_i	Temperatura associada ao estado atmosférico i [$^{\circ}\text{C}$]
ω_g	Peso específico do gelo [kg/mm ²]
E	Vão fictício equivalente de um cantão [m]
ΔU	Queda de tensão [V]
h	Altura, fora do solo, de um apoio [m]
C	Capacidade, por fase, de uma linha aérea [F/km]
D	Distância equivalente entre condutores [mm]
E	Módulo de Young [daN/mm ²]
F	Resultante das forças aplicadas [daN]
L	Comprimento de uma linha aérea [km]
L'	Coefficiente de indução para um condutor [H/km]
P	Parâmetro da curva catenária [m]
R	Resistência eléctrica [Ω]
R'	Raio de circunferência que passa pelos condutores constituintes de uma fase [mm]
S	Secção do condutor [mm ²]
X	Reactância [Ω]
X'	Comprimento de um vão [m]
a	Comprimento de um maciço de fundação [m]
b	Largura de um maciço de fundação [m]
c	Coefficiente de forma [adimensional]
$\cos\varphi$	Factor de potência [adimensional]
d	Diâmetro do cabo [m]

e	Espessura da manga de gelo [m]
f	Flecha máxima[m]
f'	Frequência do sistema de tensões na rede [Hz]
lf	Linha de fuga nominal específica mínima entre fase e terra [mm/kV]
n	Número de condutores por fase [adimensional]
p	Perdas de energia [W]
q	Pressão dinâmica do vento [Pa]
r	Raio do condutor [mm]
r'	Raio fictício do condutor[mm]
s	Área da superfície batida pelo vento [m ²]
t	Duração do curto circuito [s]
α	Coeficiente de redução [adimensional]
β	Coeficiente termoresistividade, a 20°C [°C ⁻¹]
ε	Densidade de corrente [A/mm ²]
μ	Permeabilidade do condutor [H/m]
ρ	Resistividade de um condutor [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$]
σ	Secção efectiva do condutor [mm ²]
ω	Peso específico do condutor [daN/m]
S_n	Potência aparente [kVA]

Capítulo 1

Introdução

A exploração das redes eléctricas de energia é um processo que exige, da parte da entidade responsável, acções de planeamento, projecto e licenciamento de novas instalações eléctricas. De facto, com a evolução socioeconómica, é cada vez mais uma exigência que os serviços prestados sejam de qualidade, regra à qual não foge o sector energético. Assim, com as actividades descritas, o explorador da rede eléctrica deve ser capaz de elevar a qualidade com que distribui energia, garantindo que nenhuma carga fica por alimentar, mesmo quando é necessário, por diversas razões, indisponibilizar troços de linhas.

Sendo o tema desta dissertação os aspectos de projecto, licenciamento e exploração, em contexto operacional, ligados às redes eléctricas de MT e BT, o autor apresenta um trabalho onde aborda procedimentos teóricos e técnicos e estabelece a sistematização do processo de projecto, tendo em vista tanto alterações como novos ramais.

A utilização de linhas aéreas é a forma mais económica para se fazer o transporte e distribuição de energia eléctrica, sendo que a sua construção envolve diversas áreas de engenharia, como electrotecnia, civil, mecânica e de estruturas. Há ainda a necessidade das linhas serem estabelecidas para operarem em condições de variação de temperatura, podendo *inclusivè* estar sujeitas à formação e gelo nos condutores e apoios [1].

Relativamente ao processo de projecto de redes MT podem, por exemplo, identificar-se pontos importantes ao nível dos materiais envolvidos, dos cálculos mecânico e eléctrico das linhas ou mesmo do cálculo dos maciços de fundação para os apoios.

Economicamente, os condutores, elementos determinantes para o trânsito de energia, representam entre 20 a 40 % do custo de uma linha, pelo que a sua selecção, alvo de critérios electromecânicos, é de fulcral importância. Assim, o cálculo eléctrico, que neste documento se estabelece, figura como uma das grandes fases do projecto de redes eléctricas, pois permite, por um lado, a determinação da secção mais económica para os condutores e, por outro, o cálculo de parâmetros tão importantes como a sua resistência eléctrica ou mesmo as perdas de energia atingidas (dois valores, como se verá, intimamente ligados).

Além disso, o comportamento mecânico dos condutores é também extremamente importante, considerando-se, principalmente, os esforços mecânicos a que estes sujeitam os apoios, tanto pelo seu peso como pela acção do vento, quando considerável [2]. Para isso, estabelece-se, nesta dissertação, a sistematização de todo o processo electromecânico, tratando-o como um conjunto de procedimentos matemáticos que avaliam uma série de elementos, que no corpo de texto serão explicados, contendo a simulação do comportamento mecânico dos condutores perante diferentes condições de carga e temperatura.

Devido a uma série de factores, o procedimento técnico para o projecto de redes eléctricas de MT é diferente do que se faz na prática, como será possível constatar. Ainda assim, é de extrema importância a sistematização e entendimento desse, dado que é a partir do método que se podem identificar problemas causados, por exemplo, por falhas em programas informáticos de cálculo, sendo ainda indispensável para assegurar um espírito crítico durante execução e apreciação de projectos. Para além disso, a teoria permite que, se for necessária execução de um projecto estabelecido fora dos trâmites normais, sejam seguidos os passos que conduzem à solução.

São ainda abordados, nesta dissertação, diferentes aspectos relacionados com o licenciamento tanto de novos ramais como de modificações em redes MT, assim como é feito um enquadramento geral do tema, onde são apresentados assuntos relevantes para o entendimento geral do documento.

As redes eléctricas de BT, normalmente designadas redes de distribuição em BT, são os elementos do sistema eléctrico que mais e mais frequentemente estão sujeitos a modificações. Seja pela necessidade de alimentação de novos clientes particulares, planeamento a curto-prazo da rede ou ainda melhoramento da qualidade de serviço, trata-se de uma área de actuação em constante actualização. Daí, o autor apresenta, nesta dissertação, procedimentos para análise da rede BT, havendo ainda espaço para a demonstração das competências adquiridas, pelo mesmo, nesse campo, tanto por via do plano curricular do curso Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores como pela experiência operacional que complementou este trabalho.

O trabalho que se passa a apresentar permitiu ainda, ao autor, envolver-se em actividades de projecto e exploração de redes de MT e BT, em contexto operacional, respondendo às solicitações que lhe foram feitas e tomar decisões que acabaram por ser implementadas.

Trata-se de uma dissertação que, para além de ter origem numa parceria entre a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto (FEUP) e a empresa Energias de Portugal, Distribuição, S.A. (EDP Distribuição, S.A.) e ter permitido ao autor a sua inserção nesta última, levou o mesmo a explorar o tema de forma a cumprir todos os objectivos propostos.

O autor participou e realizou diversos projectos de alteração de linhas de MT e redes de BT, tendo ainda acompanhado, em diferentes saídas de campo, brigadas técnicas e de

fiscalização da empresa, envolvendo-se por forma a se identificarem os problemas e fundamentarem-se as decisões tomadas.

1.1 - Objectivos

Os objectivos propostos para a presente dissertação foram:

- Sistematizar e comparar procedimentos do projecto de linhas de MT, com vista à apresentação de um guia técnico e justificação das diferenças existentes entre as componentes teórico-técnica e prática do mesmo;
- Adquirir competências de alteração de redes de MT e BT, em contexto operacional, aplicando e desenvolvendo a aprendizagem decorrente da formação curricular do autor, no âmbito do seu curso de Mestrado Integrado em Engenharia Electrotécnica e de Computadores - ramo de Energia, nomeadamente em unidades curriculares de Instalações Eléctricas, Concepção e Projecto, Sistemas Eléctricos de Energia, Redes de Transporte e Distribuição e Técnicas de Alta Tensão;
- Adquirir conhecimentos técnicos no âmbito da exploração operacional de redes de MT e BT, projectando as aptidões do autor para um campo concreto das actividades de engenharia, para além do que a formação de Mestrado tem por objectivos proporcionar.

1.2 - Metodologia

O presente trabalho decorreu, como já afirmado, em Penafiel, local onde, durante 4 meses, o autor trabalhou orientado pelo Professor Doutor Artur Manuel de Figueiredo Fernandes e Costa, tendo como co-orientador o Eng. António Guedes Mesquita. Por solicitação da EDP Distribuição, S.A., o autor esteve ainda envolvido em diferentes projectos que se descreverão ao longo do presente documento, tomando parte em decisões que foram posteriormente aplicadas no terreno.

Paralelamente, realizou-se um trabalho de pesquisa bibliográfica com vista à fundamentação das diferentes actividades desenvolvidas, tanto na FEUP como na EDP Distribuição, S.A., e clarificação dos procedimentos empregues.

1.3 - Breve descrição do documento

A dissertação que aqui se apresenta está dividida em cinco capítulos, tendo-se entendido que é a organização que, para o caso, permite melhor equilíbrio entre conteúdos, garantindo assim uma melhor compreensão do trabalho descrito.

O primeiro capítulo, onde se encontra inserido este texto, contempla, de forma geral, uma introdução ao contexto da dissertação. Começam por apresentar-se algumas considerações acerca do tema, passando-se de seguida à divisão do capítulo em três secções, relacionadas, a primeira, com o estabelecimento dos objectivos do trabalho, a segunda com a metodologia seguida com vista ao cumprimento destes últimos e a terceira com a organização adoptada para construção do documento.

No segundo capítulo entendeu-se oportuno fornecer ao leitor um enquadramento com o tema, sendo a secção onde se apresentam diversas matérias importantes para a compreensão do processo relativo ao projecto de redes eléctricas MT. Aborda-se, como primeiro assunto, uma série de disposições regulamentares pelas quais o projecto de redes MT se deve reger, cujo conhecimento é indispensável para qualquer projectista. Dadas as crescentes preocupações ambientais e económicas, o autor decidiu ainda compilar informação acerca de ambos os temas, o que permite ao leitor não só uma maior abrangência de conhecimento mas também reunir dados relevantes para a aplicação dos conceitos matemáticos do projecto a casos reais. Por fim, visto que o projecto de redes eléctricas termina, apenas, após licenciamento do mesmo junto das entidades responsáveis, apresenta-se, nesta secção, uma sistematização do processo de licenciamento que o concessionário das redes é, por lei, obrigado a elaborar.

O capítulo três representa, nesta dissertação, um conjunto de material que foi, pelo autor, exaustivamente estudado e desenvolvido por forma a demonstrar o trabalho pelo mesmo executado. A organização do capítulo está de acordo com o objectivo de manter um equilíbrio entre os temas abordados, tratando inicialmente das definições mais relevantes, material e equipamentos indispensáveis para o projecto de redes eléctricas MT e passando, de seguida, à sistematização do processo ao mesmo associado. Trata-se de um assunto fundamental, visto que os modelos técnicos estudados e desenvolvidos são a base do conhecimento para a temática do trabalho e indispensáveis para a constituição, no leitor, de um espírito crítico na avaliação e/ou desenvolvimento de projectos de redes eléctricas MT.

No quarto capítulo apresentam-se os resultados do contexto operacional em que esta dissertação se desenvolveu. Trata-se de uma compilação de todas as experiências em que o autor se envolveu e tomou decisões, com o objectivo de apresentar pormenores singulares de cada um dos casos trabalhados. A informação abordada constitui, ainda, matéria-prima para que se comparem os procedimentos técnicos e práticos tanto dos projectos de redes eléctricas MT como BT.

Por fim, são, no capítulo cinco, enunciadas todas as conclusões atingidas após o trabalho pelo autor realizado. São ainda apresentadas todas as condicionantes e dificuldades encontradas durante a realização do trabalho, assim como propostos alguns temas identificados que, no futuro, poderão originar dissertações que possam complementar a que aqui se introduz.

A organização escolhida tem como objectivos não só apresentar todos os resultados do trabalho que o autor desenvolveu mas também demonstrar todo o conhecimento pelo autor adquirido e todo aquele que pôs em prática para a exploração e desenvolvimento do tema.

Capítulo 2

Enquadramento do projecto de redes eléctricas MT

O processo relativo ao projecto de redes eléctricas MT é constituído por diversas etapas podendo, desde a declaração da necessidade do mesmo até à sua execução física, decorrer um alargado espaço de tempo. De forma clara, vai tentar dar-se ao leitor, durante este capítulo, uma perspectiva de alguns aspectos, tanto legais como, por vezes, de bom senso, que influenciam o projecto.

2.1 - Disposições regulamentares relevantes

O projecto e licenciamento das linhas aéreas, no caso ao nível da média tensão, é baseado nos Decretos Regulamentar nº 1/92 e Lei nº 26 852/36, estabelecendo o primeiro o Regulamento de Segurança de Linhas Aéreas de Alta Tensão e o segundo o Regulamento de Licenças para Instalações Eléctricas.

Na realidade, o primeiro Regulamento de Segurança de Linhas Aéreas de Alta Tensão foi aprovado pelo Decreto nº 46 847, de 27 de Janeiro de 1966, sendo apenas revisto duas vezes, pelos Decretos Regulamentares nºs 14/77 e 85/84 [3]. Apesar de já se encontrarem a decorrer, na altura, as primeiras diligências com vista à revisão total do documento, entendeu-se ser necessário fazer alguns ajustes, nomeadamente ao nível da melhoria da qualidade de serviço, aumento de segurança e fiabilidade das instalações [4] e por forma a facilitar os trabalhos em tensão [5]. Os resultados práticos das revisões foram a actualização e nova redacção dos artigos 178º, 185º [4], 91º, 127º, 128º, 129º, 130º, 199º e 200º [5], relativos ao Decreto 46 847/66. A 14 de Maio de 1991, e atendendo à necessidade da revisão total do Regulamento de Segurança de Linhas Aéreas de Alta Tensão considerando a evolução técnica existente desde 1966, foi revogado o Decreto 46 847/66 por promulgação do DL 180/91 [3].

Data, assim, de 18 de Fevereiro de 1992 a publicação em Diário da República do Decreto Regulamentar nº 1/92, que se constitui, até à data, como o novo Regulamento de Segurança de Linhas Aéreas de Alta Tensão, contemplando agora as muito alta tensões, a generalização da técnica dos trabalhos em tensão e a evolução técnica verificada desde 1966 [6].

Relativamente ao licenciamento dos ramais MT, o processo é conduzido segundo a legislação aplicável a todos os tipos de instalações eléctricas, com particular relevância para o Decreto-Lei nº 26 852/36. Este último estabelece o RLIE e, como é de prever pela data de publicação, já foi alvo de diversas rectificações. Ainda assim, vigorou durante cerca de quarenta anos, até que em 1976 se procedeu à sua primeira actualização, pelo DL nº 446/76, onde diversos artigos foram novamente redigidos por forma a simplificar e tornar mais expedito o processo de licenciamento [7]. Já com o processo de revisão total do DL 26 852/36 a decorrer, foi o DL nº 517/80 que voltou a actualizá-lo, incluindo alguns artigos transitórios relativos à classificação das instalações eléctricas e ao exercício da actividade dos técnicos responsáveis [8]. Em 1992 e no ano seguinte surgiram, respectivamente, os DL nºs 272/92 e 4/93, estabelecendo, o primeiro, a figura de “associações inspectoras de instalações eléctricas”, e revogando, o segundo, os pontos 1º e 2º do artigo 37º do RLIE [9-10]. Por fim, a alteração mais recente ao RLIE foi feita pelo DL 101/2007, sem que antes, em 2006, a Lei nº 30/2006 tivesse alterado uma série de artigos e aditado o artigo 58º-A, declarando a DGEG como a autoridade competente para a instauração, processamento, instrução e decisão dos processos de contra-ordenação [11]. Foi com o objectivo de, novamente, simplificar o processo de licenciamento, que surgiu o DL 101/2007, onde ficaram promulgadas a redução das categorias de instalações eléctricas de cinco para três tipos, a isenção de licenças de estabelecimento de linhas eléctricas quando são obtidas autorizações dos proprietários dos terrenos e não haja razões de segurança de pessoas e bens a garantir, e a revogação da tramitação de licenciamento relativa aos reclamos luminosos [12].

Existem mais dois documentos importantes, os quais importa apresentar. O primeiro é o Decreto Regulamentar nº 31/83, que surgiu dada a necessidade de legislar a actividade dos técnicos responsáveis pela elaboração de projectos, execução e exploração de instalações eléctricas de serviço particular, sendo conhecido pelo Estatuto do Técnico Responsável por Instalações Eléctricas de Serviço Particular [13]. Este documento sofreu, em 2006, alterações instituídas pelo DL nº 229/2006, que ditou a reformulação de diversos artigos do mesmo e teve como uma das principais novidades o técnico responsável apenas ter de estar inscrito na Ordem dos Engenheiros com vista ao exercício das suas funções [14].

Outra das condicionantes que envolvem o estabelecimento de qualquer tipo de instalações eléctricas é a exposição das pessoas aos campos electromagnéticos. Apesar de ter sido o DL nº 11/2003 a definir os mecanismos para fixação dos níveis de referência relativos à exposição da população a campos electromagnéticos, as restrições básicas e a fixação dos respectivos valores foram apenas promulgadas com a Portaria nº 1421/2004 [15].

2.2 - A necessidade do projecto de redes eléctricas em MT

As redes eléctricas aéreas apresentam-se, desde há longos anos, como um elemento fundamental no sistema de transmissão de energia. Não constituindo, ainda assim, a solução óptima, trata-se de uma garantia de equilíbrio entre as melhores características económicas e técnicas para transporte e distribuição de energia eléctrica desde os sistemas de produção até aos consumidores. Em Portugal, pode afirmar-se que existem quatro níveis de redes aéreas, sendo elas as linhas de MAT (400.000 V, 220.000 V, 150.000 V), AT (100.000 V, 60.000 V), MT (30.000 V, 15.000 V, 6.000 V) e BT (400 V/230 V). Estando as primeiras associadas a ligações muito extensas, que no fundo constituem os principais elos da rede eléctrica de um país, são estabelecidas a uma tensão mais elevada, com todas as vantagens técnicas conhecidas. Relativamente às linhas de AT, elas estabelecem a ligação eléctrica entre os pontos de MAT e algumas centrais de produção até às subestações, de onde, já com tensão mais baixa, vão sair as linhas com maior importância para este documento - as linhas MT.

É inquestionável a importância do planeamento para a definição ou expansão das redes eléctricas e, como é um processo onde se encontram envolvidas diversas variáveis, está associado, por vezes, a um longo período de tempo até que a instalação se encontre implementada. Daí, o projecto de uma linha aérea pode considerar-se iniciado muito antes da execução física da mesma, passando por diversos estados até que exista a transmissão de energia eléctrica.

Dependendo do nível de tensão para que a linha é projectada, podem ainda descrever-se três estados para o planeamento das mesmas:

- A longo prazo;
- A médio prazo;
- A curto prazo,

onde o primeiro está normalmente associado a linhas MAT, dada a importância que assumem na rede eléctrica nacional, prevendo-se a necessidade de alimentação de futuras cargas nas diversas regiões. Por sua vez, a médio prazo, faz-se o planeamento das linhas AT, que, devido ao seu carácter de conexão, são afectadas pelas variações do mercado energético, pelas indústrias ou mesmo pela produção. As redes MT são aquelas que, sem dúvida, pela sua função de distribuição, têm um maior número de ramificações e são permanentemente alvo de alterações, pelo que o seu planeamento é feito a curto prazo [16].

O projecto de redes aéreas de média tensão pode ser necessário por algumas razões, entre elas, os pedidos de ligação a novos clientes, as modificações provocadas por necessidade de construção de novas infra-estruturas ou, mesmo, por investimento da empresa, para melhorar a fiabilidade da rede e, consequentemente, a qualidade de serviço prestada. É muito comum, actualmente, que os projectos de linhas de média tensão se façam mais para alterações à rede. Como a todo o momento são licenciadas novas infra-estruturas,

particulares ou não, o aumento da carga é uma realidade, podendo até ser necessária a instalação de novos postos de transformação. Nestes casos, verifica-se qual o ponto na rede MT mais próximo da nova instalação a alimentar que, ao se estabelecer um ramal de derivação, não vai prejudicar os clientes já existentes. Por outro lado, o crescimento das infra-estruturas pode também resultar na necessidade de alterar o traçado de uma linha, quando um apoio se encontra localizado no terreno que vai ser utilizado para construção.

De notar que, em todos os casos, um apoio de uma linha não pode nunca ser colocado num terreno sem o conhecimento e respectiva anuência do seu proprietário.

2.3 - Impactes ambientais associados a modificações ou estabelecimento de novos ramais MT

Segundo definição, impacte ambiental é o conjunto das alterações favoráveis e desfavoráveis produzidas em parâmetros ambientais e sociais, num determinado período de tempo e numa determinada área, resultantes da realização de um projecto, comparadas com a situação que ocorreria nesse período de tempo e nessa área se esse projecto não viesse a ter lugar [17].

Desde há longos anos que existe a noção que o bem estar e a qualidade de vida das pessoas se encontram ameaçados precisamente pela causa que lhes deu origem - o desenvolvimento económico. Actualmente, este desenvolvimento encontra-se intimamente ligado a uma compatibilização das infra-estruturas e actividades humanas com o ambiente e os processos naturais, resultado do conceito *desenvolvimento sustentável*, expresso pela primeira vez em 1980 pela União Internacional para a Conservação da Natureza. Esta expressão traduz um modelo, ou uma série de medidas que devem ser tomadas, para que as necessidades das gerações presentes sejam satisfeitas sem comprometer a possibilidade das futuras cumprirem as suas. Ainda assim, e apesar de ter sido esta a altura em que começaram a ser tomadas medidas mais sérias, a eclosão das preocupações deu-se, na realidade, na década de 60 nos países desenvolvidos, provocada pelas crescentes exigências de uma melhor qualidade de vida, maior consciência ambiental e a necessidade de construção de grandes infra-estruturas despoletadas pelo desenvolvimento económico. Passou-se, portanto, quando era necessária a implementação de novos empreendimentos, a ter-se em atenção, para além dos aspectos técnicos e económicos, as condicionantes ambientais associadas à sua construção [17].

Ao nível de legislação, uma série de documentos foram promulgados, desde 1980, tanto a nível Europeu como nacional, com particular relevância para a Lei nº 11/87, que estabelece a lei de bases do ambiente, ou mesmo os DL nº 186/90 e DL nº 278/97, sujeitando, o primeiro, a uma avaliação de impactes ambientais os projectos que, pela sua localização, dimensão ou características, sejam susceptíveis de provocar incidências significativas no ambiente, e operando, o segundo, algumas alterações ao anterior. Mais recentemente, a promulgação do

DL nº 147/2008 teve como objectivo o estabelecimento de um regime de responsabilidade civil, pelo qual os “operadores-poluidores ficam obrigados a indemnizar os indivíduos lesados pelos danos sofridos por via de um componente ambiental”, fixando-se também um regime de responsabilidade administrativa por forma a serem reparados os danos causados ao ambiente [18]. Resultando das Directivas Europeias nºs 79/409/CEE e 92/43/CEE, nasceu ainda o conceito de “Rede Natura 2000”, promulgado pela Resolução do Conselho de Ministros nº 115-A/2008, tratando-se de uma rede ecológica com objectivo de “contribuir para assegurar a biodiversidade através da conservação dos *habitats* naturais e da fauna e flora selvagens” dentro da UE [19].

Posto isto, o projecto de linhas aéreas tem de se reger pela consideração de diversos aspectos relacionados com impactes ambientais, dado que, por um lado, se está a lidar com energia eléctrica e, consequentemente, campos electromagnéticos, e, por outro, ao se estabelecer um traçado vai alterar-se irreversivelmente a zona, tanto ao nível dos *habitats* naturais como da fauna e mesmo da flora. Assim, têm sido feitos estudos e celebrados protocolos [20-22] entre as entidades de conservação da natureza, como o Instituto de Conservação da Natureza (ICN), a QUERCUS e a Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves (SPEA), e os responsáveis pela exploração, projecto e construção, EDP Distribuição, S.A. no caso das linhas MT, e REN para AT e MAT. Estes protocolos visam criar métodos para a compatibilização das redes eléctricas com a conservação da fauna e flora, tendo já resultado em diversos processos de remodelação de linhas antigas por forma a minimizar os impactes ambientais [23].

A referência [22] apresenta resultados importantes para a caracterização dos impactes ambientais das linhas aéreas de MT e AT sobre a avifauna. O método adoptado para esse fim consistiu em percorrer, a pé, troços pré-definidos de linhas eléctricas, tentando localizar os cadáveres de aves nas proximidades dos apoios. Como resultados, em 900 km de linhas percorridas, encontraram-se 1599 aves mortas por colisão e electrocussão, o que dá, desde já, uma ideia de como é importante, durante o projecto, ter atenção aos impactes ambientais que podem surgir e adaptar as soluções atingidas por forma a minimizá-los. Além disso, no mesmo documento são ainda apresentadas as tipologias que mais contribuem tanto para a electrocussão das aves como para a colisão destas com as linhas. No primeiro caso, os seccionadores horizontais e os Postos de Transformação são os mais impactantes, sendo que, para a colisão, as armações em galhardete com suspensão e os apoios tipo Pórtico são as soluções que mais contribuem para a morte das aves.

Relativamente à flora, são perfeitamente claras as consequências do estabelecimento das linhas, amplificadas para maiores níveis de tensão. A partir do momento que um projecto começa a ser executado fisicamente, a colocação dos apoios, por vezes em florestas ou outras zonas naturalmente densas, exige que sejam abertos acessos, o que vai, logo aí, alterar a topologia do terreno. Depois, a instalação dos estaleiros de obras e a execução das fundações

para os apoios são outras das fases que exigem sempre a intervenção humana numa vasta área de terreno. Por fim, existe ainda a abertura da faixa de protecção, que, em MT, se encontra nos 7,5 m para cada lado da linha, e na qual tem de ser feita a limpeza do terreno, como medida de segurança para que durante a exploração da rede se minimize a probabilidade de existência de contactos acidentais com os condutores. Todos estes pontos acabam por ter grande impacto na eliminação de *habitats* naturais ou até pequenos ecossistemas, levando à deflorestação de grandes áreas verdes e, no limite, extinção de certas espécies animais.

Ainda assim, para projectos de linhas MT, não é, normalmente, obrigatória a sua submissão a processo de Avaliação de Impacte Ambiental (AIA) para que se conclua o licenciamento dos mesmos. No entanto, as excepções que confirmam a regra existem, havendo necessidade de se efectuar uma AIA se o traçado mais favorável da linha a projectar definir uma passagem desta pela Rede Natura ou edifícios e zonas considerados(as) património do Estado ou Mundial.

A Avaliação de Impacte Ambiental, cujo regime jurídico é definido pelo Decreto-Lei nº 69/2000, tem como objectivos a promoção do desenvolvimento sustentável, a gestão equilibrada dos recursos naturais e a protecção da qualidade do ambiente. É um processo complexo e com grande impacte social que, dadas as repercussões dos seus efeitos nos projectos, envolve directamente considerações económicas [24].

Uma das componentes que da AIA faz parte é o Estudo de Impacte Ambiental (EIA). Trata-se de um relatório científico que deve identificar a necessidade de execução de um determinado projecto, os impactes ambientais por ele provocados e, por fim, as conclusões que permitam decidir se o mesmo é viável ou não. Como se trata de um processo que segue a legislação em vigor, os conteúdos abordados e o método podem diferir entre países. No entanto, e de forma mais explícita, a generalidade dos processos de EIA, relativos às linhas MT, abordam:

- Situação ambiental existente se a linha não for construída, com abordagens a temas como a hidrologia, qualidade do solo, fauna e flora, impacte visual, impactes nas infra-estruturas, na vida humana ou mesmo nas vias de comunicação;
- Desenvolvimento ambiental que pode ser atingido sem a construção da linha;
- Impactes ambientais da linha em todos os aspectos mencionados no primeiro tópico, com suplemento sobre os campos electromagnéticos, efeitos de utilização de propriedades alheias e considerações sociais;
- Conclusões.

Para além da elaboração e apresentação do Estudo de Impacte Ambiental, uma AIA compreende ainda outras fases. Na realidade, o processo de AIA tem início na definição do

âmbito do EIA, onde o proponente declara intenção de realizar o projecto e faz um pedido de realização de uma consulta pública. Nessa mesma fase, a figura de Autoridade de AIA (Direcção Geral do Ambiente ou as homólogas Direcções regionais) nomeia uma Comissão de Avaliação e trata do envio de dados ao Instituto do Ambiente para realização da consulta pública. Relativamente a esta última, a Comissão de Avaliação tem como funções a sua realização, sendo o Instituto do Ambiente responsável pela promoção e elaboração do relatório com as conclusões atingidas.

Estabelecido o âmbito e definidas as entidades envolvidas, trata-se agora da realização do EIA, estando a fase seguinte relacionada com a apreciação do mesmo, por parte da Comissão de Avaliação. No mesmo período de tempo, decorrem também as audiências públicas, onde são ouvidos todos os interessados e esclarecidos todos os pontos menos claros que qualquer uma das partes possa levantar.

A conclusão do processo de AIA acontece com a elaboração e emissão da Declaração de Impacte Ambiental, pela Autoridade de AIA, depois do parecer final sobre o assunto, dado pela Comissão de Avaliação, e sua publicação por parte do Instituto do Ambiente. É da responsabilidade do Ministério do Ordenamento e Território efectuar o despacho, que pode ser favorável condicionado, desfavorável ou favorável, publicando o Instituto do Ambiente, por fim, o DIA.

Apesar da não obrigatoriedade da apresentação de uma AIA em alguns casos, existem outros regulamentos legais que devem ser cumpridos, como por exemplo o já apresentado DL nº 147/2008, assim como todas as Directivas Europeias para o sector, as elementares regras de bom senso que se exigem do projectista e os pontos chave para um desenvolvimento sustentável.

Outra das grandes preocupações actuais, mais centrada nos impactes sociais, está relacionada com a existência e possíveis efeitos dos campos electromagnéticos, provocados pelas linhas eléctricas, nas pessoas. Segundo [25], o primeiro estudo publicado que ligou a exposição das pessoas aos campos electromagnéticos a possíveis efeitos na saúde data de 1979 e teve como autores os investigadores Wertheimer e Leiper. De facto, é conhecido que todos os seres vivos estão sujeitos ao campo magnético natural do planeta, variando a sua intensidade entre os 30 μT no equador e os 60 μT nos pólos, sendo capaz de mover peças de ferro magnetizadas (princípio de funcionamento das bússulas). Quanto ao campo eléctrico natural, o seu valor pode, perto da superfície terrestre e com bom tempo, assumir valores aproximados a 130 V/m, sendo que, na presença de névoa ou mesmo chuva, foram já registados valores de 400 V/m [26]. Diversos estudos têm, ainda, convergido na teoria da penetração dos campos eléctricos exteriores ao corpo humano ser atenuada pelas propriedades da pele, podendo a corrente induzida por um campo de 1 kV/m a 50 Hz atingir 18 μA quando um indivíduo está descalço, como se indica em [26].

Laboratorialmente, foram já garantidas alterações nas funções cognitivas do cérebro e no tecido celular quando um indivíduo é percorrido por densidades de corrente desde 10 a 100 mA/m². Porém, é para valores acima de 1 A/m² que podem ocorrer os efeitos mais nefastos e, potencialmente, mortais, como sístoles cardíacas, fibrilação ventricular e falhas respiratórias. Assim, a ICNIRP defende, em [27], a limitação da exposição humana a campos electromagnéticos que induzam densidades de corrente superiores a 10 mA/m² na cabeça, garganta e tronco [26], valor mínimo para o qual foram verificadas alterações na fisiologia humana. A mesma instituição, como constituinte da OMS, estabeleceu, para a amplitude do campo magnético, os valores de 100 e 500 μ T, cuja não ultrapassagem garante que não sejam geradas densidades de corrente acima dos 2 e 10 mA/m². Estes dois valores são definidos, respectivamente, para indivíduos em geral e trabalhadores do sector eléctrico, constituindo valores de referência mundialmente aceites.

Quanto ao campo eléctrico, a amplitude de 5 kV/m corresponde, no máximo e na pior das circunstâncias, a uma densidade de corrente induzida de, aproximadamente, 2 mA/m². Aceitam-se, como valores de referência, a exposição do público em geral a campos eléctricos de amplitude 5 kV/m e, para trabalhadores do sector eléctrico, 10 kV/m [27].

Nas figuras 2.1 e 2.2 apresentam-se gráficos dos níveis de referência aceites, pela OMS, para a exposição de pessoas a campos electromagnéticos, com o traço vertical a indicar a situação para a frequência de 50 Hz.

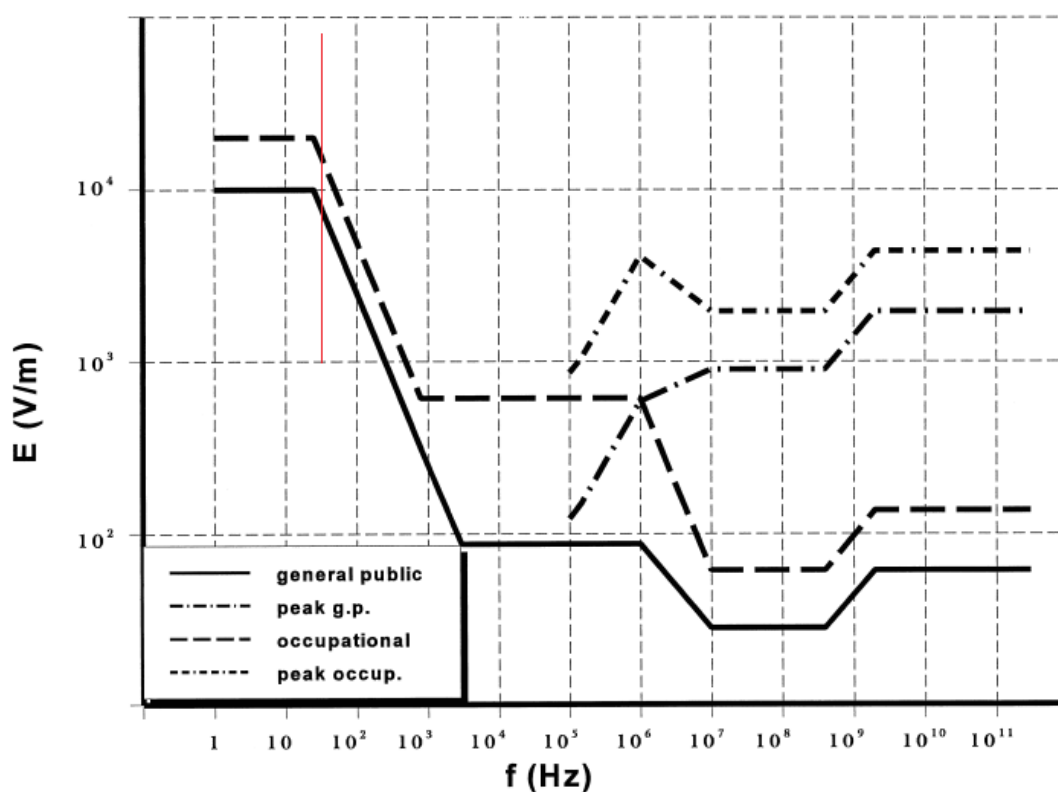


Figura 2.1 - Níveis de referência para exposição de pessoas a campos eléctricos variáveis no tempo [27].

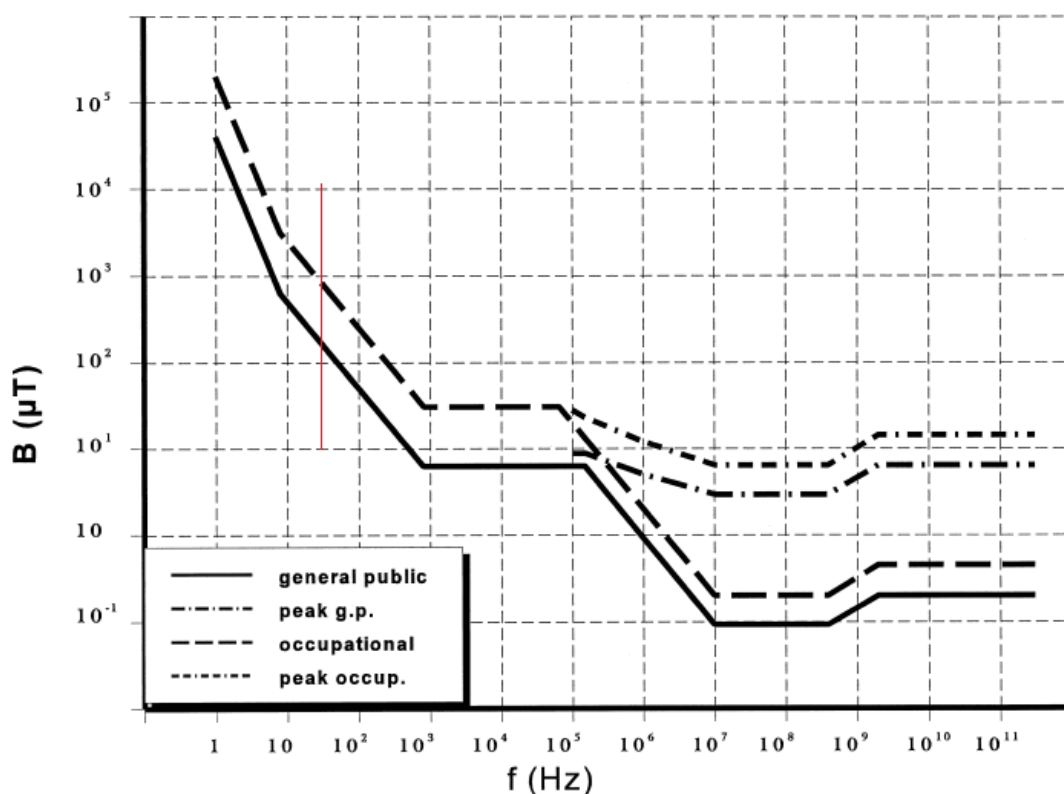


Figura 2.2 - Níveis de referência para exposição de pessoas a campos magnéticos variáveis no tempo [27].

Postas as considerações anteriores, e após testes já executados pela EDP Distribuição, S.A., tanto os valores do campo magnético como do eléctrico, provocados pelas linhas aéreas de MT, não se aproximam minimamente dos de referência, pelo que é seguro afirmar-se que os impactes a esse nível são praticamente inexistentes.

2.4 - Investimentos necessários para construção de linhas aéreas MT

O investimento necessário para a construção de linhas aéreas de transmissão está dependente de alguns factores, sendo os mais importantes a tensão a que a linha vai ser estabelecida, o número de circuitos e a secção dos condutores¹. Ainda assim, há uma série de factores que, indirectamente, influenciam o custo total da linha, tais como a altura dos apoios, as suas fundações ou mesmo as características do traçado da mesma, sendo que o aumento da fiabilidade e segurança da linha vai certamente incrementar o investimento total. Com o passar dos anos, a sociedade tende também a informar-se melhor sobre os seus direitos, e, estando as Leis do sector em constante alteração, as indemnizações a serem

¹ No caso das linhas de MT projectadas pela EDP, a maioria é estabelecida a uma tensão nominal de 15 kV, tendo como secção 50 mm².

pagas aos proprietários dos terrenos têm sofrido um aumento acentuado, valor esse que é somado ao investimento.

Apesar destas considerações, as equações que permitem fazer, de uma forma grosseira, uma estimativa do investimento necessário para o estabelecimento de linhas aéreas são a tensão nominal da linha, a secção do condutor e o número de condutores por fase. Assim, para linhas que suportam dois circuitos, uma estimativa para o investimento necessário é dada pela expressão 1.1.

$$K_{2C} \sim 60 + 0,4 \cdot U_n + 0,4 \cdot \sqrt[4]{n_2} \cdot \sigma , \quad (1.1)$$

onde K_{2C} é o investimento para uma linha aérea com dois circuitos, em k€/km, U_n é a tensão nominal da linha, em kV, n_2 é o número de condutores por fase e σ é a secção efectiva dos condutores, em mm².

Como seria de esperar, o investimento para uma linha que suporta apenas um circuito é, aproximadamente, metade de K_{2C} [16].

$$K_{1C} \sim 0,45 \text{ a } 0,5 \cdot K_{2C} . \quad (1.2)$$

De notar que, segundo o DL 43 335/60, os concessionários de uma linha aérea podem “executar nas vias públicas do estado ou das autarquias locais todos os trabalhos necessários para estabelecimento e conservação das obras”, ficando a seu cargo todas as despesas pelos prejuízos causadas e respectivas indemnizações. Ainda assim, no que diz respeito a obras motivadas pela abertura de novas vias de comunicação, campos de aviação ou outras obras públicas, os concessionários serão ressarcidos em 60% do valor total das modificações necessárias, a não ser que:

- Sejam impostas por motivo de segurança pública;
- Se trate da deslocação de traçados aéreos ou substituição por subterrâneos onde estejam em execução planos de urbanização devidamente licenciados;
- As modificações estejam associadas a estruturas estabelecidas em vias públicas já existentes;
- As modificações se limitem à deslocação ou substituição de apoios (até 2) de linhas aéreas.

A responsabilidade pelos encargos resultantes das modificações pode ser dividida entre duas entidades. No caso da construção de novos edifícios ou ampliação de edifícios existentes que interfiram com uma linha aérea já estabelecida, o responsável tem de indemnizar o concessionário da mesma em metade do custo das indispensáveis modificações com vista a viabilizar as condições técnicas do traçado. No entanto se, dadas as características do terreno e por fiscalização do Governo, se chegar à conclusão que a obra projectada não é passível de

ser executada noutro local, é o concessionário que tem de suportar todo o investimento do projecto [28].

2.5 - Licenciamento e aspectos legais associados a novos ramais ou modificações na rede MT

Como já tem vindo a ser perceptível, o desenvolvimento e conclusão do projecto de linhas aéreas não é simples, envolve uma série de instâncias e tem de estar de acordo com diversos aspectos e condições. É necessário considerar as condições técnicas, que estão relacionadas com os limites impostos pelos equipamentos, como por exemplo as quedas de tensão ao longo das linhas, os níveis de aquecimento ou as perdas de energia. Por outro lado, as questões de segurança, devido ao perigo que uma instalação eléctrica pode constituir, devem ser cuidadosamente cumpridas, tendo sempre em atenção as disposições regulamentares relevantes, para o caso [6]. Além disso, tanto as condições económicas como as ambientais são cada vez mais importantes na definição do projecto, sendo que, por um lado, se trata de desenvolver uma solução o mais económica possível e, por outro, de ter em mente as preocupações ambientais, os impactes do projecto a esse nível e o conceito de desenvolvimento sustentável. Por fim, existem as questões burocráticas, que envolvem, em primeira instância, a definição do próprio traçado de uma linha, sendo desde logo necessário inquirir os proprietários sobre a receptividade dos mesmos a verem os seus terrenos ocupados e desvalorizados, e o próprio licenciamento, processo esse sem o qual um projecto não tem viabilidade [29].

O licenciamento de instalações eléctricas está, como foi referido no subcapítulo 2.1, regulamentado pelo DL nº 26852/36. No entanto, foi a Portaria 401/76, com alterações promulgadas pela Portaria 344/89, que definiu todos os requisitos que o processo de licenciamento de uma linha aérea deve cumprir. Assim, os projectos destinados a dar início aos pedidos de licença de linhas eléctricas de MT, AT e mesmo MAT devem compreender [30]:

- **Memória descritiva e justificativa**, indicando as características dos equipamentos utilizados, as condições gerais do estabelecimento e exploração da instalação, cálculos justificativos e enumeração dos cruzamentos, travessias e aproximações a elementos físicos existentes;
- **Planta geral de localização** da instalação, com o traçado da linha, e indicação de elementos principais como centrais geradoras, subestações, postos de corte e seccionamento, postos de transformação, vias públicas rodoviárias e ferroviárias, cursos de água, construções urbanas e linhas já existentes;
- **Plantas parcelares**, em escala não inferior a 1:2500 de cada instalação;

- **Perfis longitudinais**, segundo o eixo do traçado de cada linha aérea, em correspondência com a planta parcelar respectiva e na mesma folha de desenho, com uma escala não inferior a 1:500;

Cada elemento atrás referido deve estar em triplicado, pois os processos de licenciamento são constituídos por três exemplares, havendo necessidade de cada um deles ser apresentado em capas de processo normalizadas. Quando os processos estão prontos, são remetidos à DGEG ou uma das suas delegações regionais (DREN, no caso do Norte), que trata de dar o parecer sobre o projecto. Pode, eventualmente, ser necessário anexar mais que três exemplares, se [30-31]:

- A instalação abranger mais que um concelho (mais um exemplar por concelho);
- Existirem cruzamentos, travessias ou aproximações a outras instalações (mais um exemplar por cada entidade envolvida);
- Se tratar de vias férreas onde existam travessias aéreas entre agulhas de estação, travessias subterrâneas e cruzamentos com via electrificada (mais três exemplares);
- Se tratar de travessia aérea ou subterrânea com condutas principais de distribuição de água ou de gás (mais três exemplares);
- Se tratar de travessia aérea de cursos de água (mais três exemplares);
- Se tratar de estabelecimento de redes eléctricas dentro de áreas protegidas pelos Parques Naturais (mais três exemplares).

No caso do parecer da DGEG não ser positivo, assim como quando as linhas tenham um comprimento superior a 1000 m ou existam travessias de auto-estradas, estradas nacionais e municipais, cursos de água navegáveis, teleféricos e caminhos de ferro, é necessário o concessionário proceder ao pedido de uma licença de estabelecimento junto da mesma entidade, assim como publicar os éditos respectivos em Diário da República e num jornal de grande tiragem.

Por fim, para o processo de licenciamento estar concluído, é necessária a emissão da licença de exploração, também por parte da DGEG, podendo proceder-se à execução da obra.

2.6 - Síntese

Como é óbvio, o processo de transporte e distribuição de energia, dado o seu carácter de bem público essencial, tem associados variadíssimos aspectos, como se demonstrou, não exaustivamente, no capítulo que agora termina.

Sendo o sector energético um dos que exige regulamentação e fiscalização mais apertadas, dados os pormenores técnicos e o rigor necessário para o cumprimento dos pontos mais elementares de segurança, são muitas as disposições regulamentares relevantes, tanto a

nível nacional como internacional, algumas das quais se apresentaram na primeira secção deste capítulo.

Para além disso, exploraram-se, também, outras condicionantes actuais do projecto de redes eléctricas MT, como os impactes ambientais associados ao mesmo ou ainda as questões económicas, tão importantes para a estabilidade dos diversos intervenientes.

Apesar de se tratar de um capítulo que aponta, apenas, pormenores de alguns dos assuntos fundamentais para o tema, acredita-se que o leitor ficará com informação essencial para um melhor entendimento da matéria tratada no próximo capítulo. Por sua vez, este visa a apresentação dos pormenores técnicos que constituem o projecto de redes eléctricas em MT, tomando, pode dizer-se, o formato de um guia técnico.

Capítulo 3

O projecto

Este capítulo versará os principais aspectos directa ou indirectamente relacionados com o projecto e dimensionamento de linhas aéreas de diversos níveis de tensão, com aplicações práticas na média tensão. O dimensionamento estender-se-á aos pormenores teóricos relacionados com o estabelecimento e escolha dos materiais a utilizar, sendo que também se pretende, ao mesmo tempo, executar um paralelismo com a realidade do projectista de linhas de distribuição ou transmissão de energia. Para o efeito recorreu-se a alguns trabalhos de referência, que se encontram indicados ao longo do texto, bem como à experiência do autor adquirida no decorrer do seu percurso académico e da vivência prática dos quatro últimos meses, na EDP Distribuição, S.A., onde desenvolveu diferentes projectos de linhas MT, tal como se descreverá no próximo capítulo deste trabalho.

3.1 - Definições relevantes

Para uma melhor compreensão do projecto de linhas aéreas, é relevante a apresentação, segundo o RSLEAT [32], de alguns conceitos fundamentais. Não se tratando de uma lista exaustiva, as principais definições são, ainda assim, as que se apresentam neste ponto.

- **Anel ou anel de guarda** - anel metálico colocado num ou noutro extremo, ou em ambos, de uma cadeia de isoladores, para assegurar uma protecção contra os arcos de descarga eléctrica e uma melhor repartição do potencial pelos elementos da cadeia;
- **Apoio** - Elemento de uma linha aérea destinado a suportar os condutores, os cabos de guarda, os isoladores e os acessórios;
- **Arco de condutor** - Troço de condutor destinado a assegurar a continuidade eléctrica, sem esforço mecânico, entre dois troços de condutor de uma linha

aérea, entre um condutor de uma linha aérea e um condutor de uma linha subterrânea ou entre um condutor de uma linha aérea e um aparelho;

- **Cadeia de isoladores de cadeia ou, simplesmente, cadeia de isoladores** - Associação de dois ou mais isoladores de cadeia destinada a garantir as condições de isolamento do condutor;
- **Cantão de uma linha aérea** - Porção de uma linha compreendida entre dois apoios, nos quais os condutores são fixados por amarrações;
- **Catenária** - Forma de curva tomada por um condutor, comparável a uma corda infinitamente flexível e inextensível, suspensa entre dois apoios;
- **Comprimento de vão** - Distância, medida na horizontal, entre dois apoios consecutivos de uma linha aérea;
- **Condutor** - Elemento destinado à condução eléctrica, podendo ser constituído por um fio, conjunto de fios devidamente reunidos, ou por perfis adequados;
- **Descarregador de sobretensões** - Aparelho destinado a proteger o equipamento eléctrico contra sobretensões transitórias elevadas e a limitar a duração e amplitude da corrente de seguimento;
- **Filaça** - Dispositivo apropriado para fixar mecanicamente os condutores às cabeças dos isoladores rígidos;
- **Flecha de um condutor ou de um cabo de guarda** - Distância entre o ponto do condutor ou do cabo de guarda onde a tangente é paralela à recta que passa pelos pontos de fixação e a intersecção da vertical que passa por esse ponto com esta recta, supostos o condutor ou o cabo de guarda não desviados pelo vento;
- **Força máxima de tracção ou tracção máxima** - Maior força de tracção que, numa linha aérea, pode existir no condutor, no cabo de guarda ou nos tensores de cabos isolados, na hipótese de cálculo mais desfavorável, e que se verifica no ponto de fixação de cota mais elevada;
- **Força mecânica de colocação ou simplesmente força de colocação** - Força de tracção dada aos condutores, aos cabos de guarda ou aos tensores de cabos isolados de uma linha aérea na ocasião da sua montagem;
- **Haste de descarga ou simplesmente haste** - Peça metálica disposta num ou noutro extremo, ou em ambos, de um isolador ou de uma cadeia de isoladores para assegurar uma protecção contra os arcos de descarga eléctrica;
- **Secção efectiva de um condutor ou de um cabo de guarda** - Área da secção recta do fio ou da soma das áreas das secções rectas dos fios que constituem o condutor ou o cabo de guarda;
- **Secção nominal de um condutor ou de um cabo de guarda** - Valor arredondado da secção efectiva, para efeitos de designação normalizada;

- **Tensão (mecânica) máxima de tracção (específica)** - Quociente entre a força máxima de tracção e a secção efectiva do condutor ou do cabo de guarda ou do tensor dos cabos isolados;
- **Tensão nominal de uma linha** - Tensão pela qual a linha é designada e em relação à qual são referidos as suas características;
- **Tensor de cabos isolados** - Elemento mecanicamente resistente destinado a sustentar cabos isolados;
- **Travessia** - Intersecção, em projecção horizontal, do traçado de uma linha com uma via pública ou particular, com um caminho de ferro não electrificado com teleféricos ou com rios;
- **Vão** - Porção de linha aérea compreendida entre dois apoios consecutivos;
- **Vão desnivelado** - Vão no qual os pontos de fixação dum condutor em dois apoios consecutivos não estão no mesmo plano horizontal;
- **Vão equivalente** - Vão fictício no qual as variações da tensão mecânica, devidas às variações da carga e da temperatura, são sensivelmente iguais às dos vãos reais do cantão.

3.2 - Material e equipamento

Uma linha eléctrica é constituída por uma série de equipamentos que permitem o trânsito de energia de uma forma eficaz e que cumprem normas de segurança adequadas. Segundo o RSLEAT, todas as características desses equipamentos devem cumprir o aí estabelecido assim como nas normas nacionais, do CENELEC, da CEI ou, mesmo, outras aceites pela DGEG [32].

As soluções existentes a este nível encontram-se perfeitamente definidas, sendo que a gama de produtos realmente utilizados está normalizada pela EDP Distribuição, S.A.. Assim, torna-se possível que, durante a execução dos projectos, existam soluções perfeitamente standardizadas, levando a uma redução do tempo total necessário para a sua realização. Por outro lado quando são adquiridos os materiais, a normalização permite que se possam fazer melhores negócios, pois pode comprar-se em maiores quantidades. Além disso, é simplificado o processo de formação das equipas de manutenção sobre os equipamentos, levando a que, em situações de intervenção na rede, esta se faça de forma mais célere [33].

Condutores

Os elementos condutores são os principais responsáveis pelo trânsito de energia eléctrica, sendo construídos com materiais de elevada condutividade eléctrica, como o cobre ou o alumínio. Actualmente, a solução adoptada em redes aéreas MT, AT e MAT passa pelo uso de condutores de alumínio com alma de aço, em detrimento do cobre, sendo que a sua constituição contempla uma alma de fios de aço envolvidos por camadas consecutivas de fios

de alumínio. O número de camadas, tanto dos fios de aço como dos de alumínio, é ainda determinado pela secção do condutor, sendo que, se o primeiro tem apenas função de garantir resistência mecânica ao cabo, o segundo é mesmo o elemento responsável pela condução da corrente eléctrica.

A utilização de condutores de alumínio com alma de aço, relativamente aos de cobre, tendo em conta uma comparação entre condutores com a mesma resistência eléctrica, apresenta as seguintes vantagens:

- Maior diâmetro, que permite reduzir efeito de coroa;
- Maior resistência mecânica, que possibilita utilização de tensões máximas de tracção maiores e, conseqüentemente, uma redução nas flechas;
- Tem um custo mais reduzido.

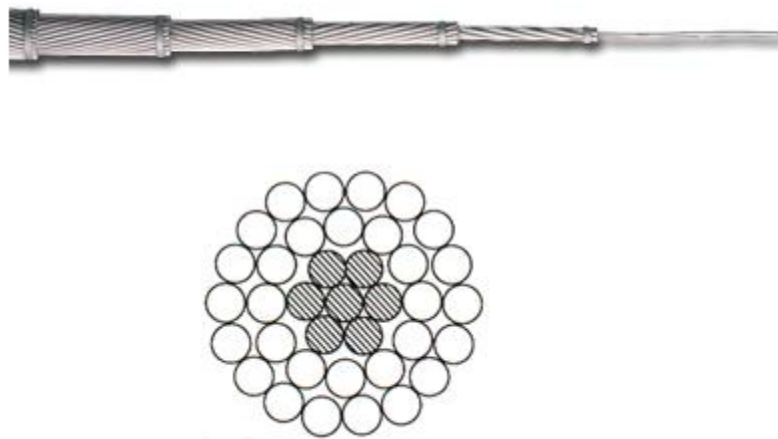


Figura 3.1 - Pormenor de condutor de alumínio com alma de aço [34].

Como se trata de um cabo constituído por condutores multifilares, garante-se uma maior flexibilidade, facilitando assim o seu manuseamento.

Apoios

Um apoio é um elemento de uma linha aérea que tem como função o suporte dos condutores, dos cabos de guarda, dos isoladores e outros acessórios [32]. Os apoios utilizados em Portugal podem ser metálicos ou de betão, sendo que a escolha de cada um deles depende de factores como o local de implantação, os esforços a que vai estar sujeito ou, mesmo, o *stock* existente na empresa. De facto, actualmente é incentivada a utilização de apoios de betão pois são postes mais económicos e, para além disso, a área necessária para as fundações é muito mais reduzida comparativamente aos metálicos. Esta última consideração é ainda apoiada pelo facto de as fundações serem das partes da obra que mais contribuem para o aumento do custo global da mesma, devido, essencialmente, à mão-de-obra que requerem e à utilização de espaço pelo qual o proprietário tem de ser ressarcido. Outra das

vantagens dos apoios de betão é que, como são uma peça maciça, não necessitam de muita mão-de-obra para serem erguidos. Ainda assim, e apesar de constituírem um encargo financeiro mais elevado devido ao trabalho que é necessário para elevá-los, os apoios metálicos podem ser montados por partes, o que constitui uma vantagem quando é impossível transportar um apoio de betão para a zona de implantação (se não existirem acessos, por exemplo). De facto, a apreciação dos acessos ao terreno é das primeiras acções que um fiscal tem de tomar, para o projectista decidir o tipo de apoio a usar.

Um apoio pode, segundo o RSLEAT e com ilustração na figura 3.2, ter diversas funções, entre elas:

- **Alinhamento** - apoio colocado num troço rectilíneo de linha;
- **Ângulo** - Apoio implantado num ângulo;
- **Derivação** - Apoio onde se estabelecem derivações;
- **Fim de linha** - Apoio que suporta a totalidade dos esforços que os acessórios da linha lhe transmitem de um só lado;
- **Reforço** - Apoio que suporta esforços longitudinais para reduzir consequências resultantes da rotura de condutores ou cabos de guarda [32].

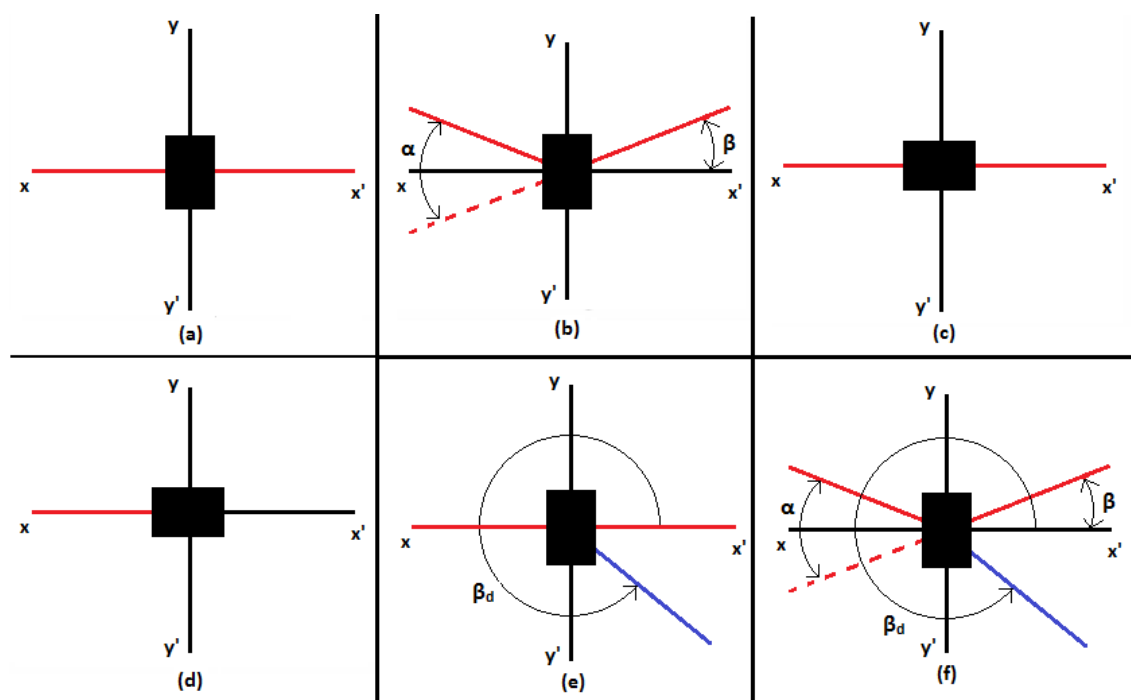


Figura 3.2 - Diversas funções dos apoios. (a) apoio em alinhamento, (b) apoio de ângulo, (c) apoio de reforço em alinhamento, (d) apoio de fim de linha, (e) apoio de derivação em alinhamento, (f) apoio de derivação em ângulo [35].

Durante o desempenho da sua função, cada apoio é sujeito a esforços com origem em diversos factores, como se ilustra nas figuras 3.2 e 3.3. Dado que os apoios são os elementos que suportam os condutores e demais equipamentos, sofrem as solicitações **verticais** (F_z) que correspondem, por um lado, ao peso dos primeiros, e por outro aos possíveis depósitos de

gelo que se formam, em determinadas zonas, sobre os mesmos. Existem ainda solicitações **transversais** (F_y) aplicadas, quando a acção do vento é perpendicular à linha ou quando os condutores formam um ângulo no apoio. Por fim, quando dois vãos adjacentes não têm o mesmo comprimento ou quando se trata de uma situação de fim de linha são aplicados esforços **longitudinais** (F_x) ao apoio [29].

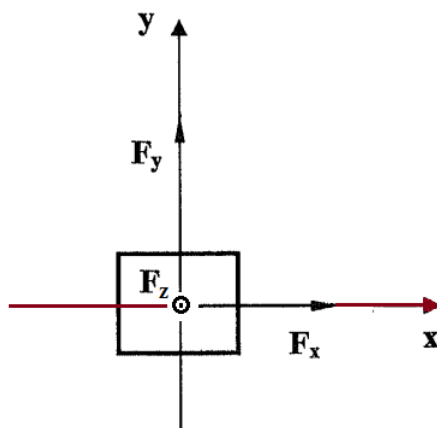


Figura 3.3 - Tipos de solicitações aplicadas a um apoio².

Os apoios de betão permitem que seja escolhida a sua posição ao longo de uma linha aérea. Isto acontece pois, ao contrário da maioria dos apoios metálicos actualmente utilizados, que têm base quadrada e suportam as mesmas solicitações longitudinal ou transversalmente, os apoios de betão têm uma geometria que dependendo da forma em que são estabelecidos podem ou não aguentar os esforços pelos vãos de uma linha provocados.

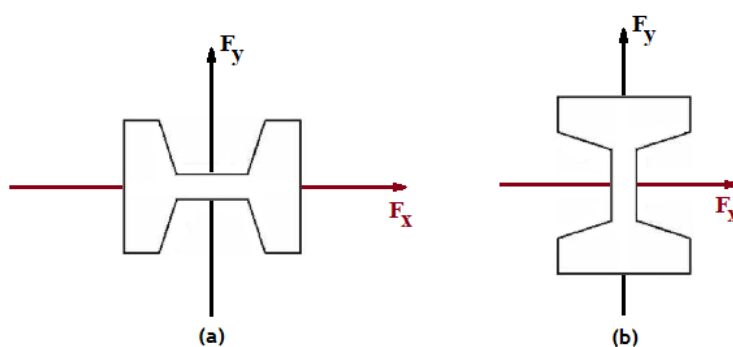


Figura 3.4 - Diferentes aplicações dos apoios de betão².

A figura 3.4 diz respeito às duas alternativas existentes para o estabelecimento de apoios de betão. Facilmente se verifica que a posição (a) aguenta de forma mais eficaz os esforços longitudinais à linha, sendo que (b) tem maior resistência considerando solicitações transversais.

² Vãos de linha representados segundo eixo das abcissas.

É assim possível a escolha da melhor posição dos apoios de betão de acordo com as solicitações de maior amplitude. Considerando que, por exemplo, quando dois vãos adjacentes estão em alinhamento ou mesmo quando fazem um ângulo, os esforços aplicados vão ter uma componente transversal à linha muito elevada, a melhor posição para um apoio de betão será a representada pela figura 3.4 (b). Por outro lado, num caso onde o vão existente é um fim de linha, o maior esforço é segundo uma componente longitudinal, pelo que a posição que melhor suporta as solicitações é presente na figura 3.4 (a).

Quando é necessário estabelecer apoios de reforço em alinhamento, a posição esquematizada pela figura 3.4 (a) é também utilizada, pelas razões mecânicas já referidas.

Armações

As armações são os elementos metálicos que se colocam no topo de um apoio e que permitem a fixação dos condutores a este. Existem diversas formas de armações, mais até do que aquelas que são normalmente utilizadas em Portugal, sendo que também estes elementos foram alvo de normalização pela EDP distribuição, S.A..

As armações normalizadas são:

- Armação em esteira horizontal (HRSFC/HPT4);
- Armação em triângulo, adaptada para ângulo ou alinhamento (TAN/TAL);
- Armação em galhardete, adaptada para ângulo ou alinhamento (GAN/GAL);
- Armação em esteira vertical (VAN);
- Armação em pórtico.

As figuras 3.5, 3.6, 3.7 e 3.8 esquematizam algumas das armações antes descritas.

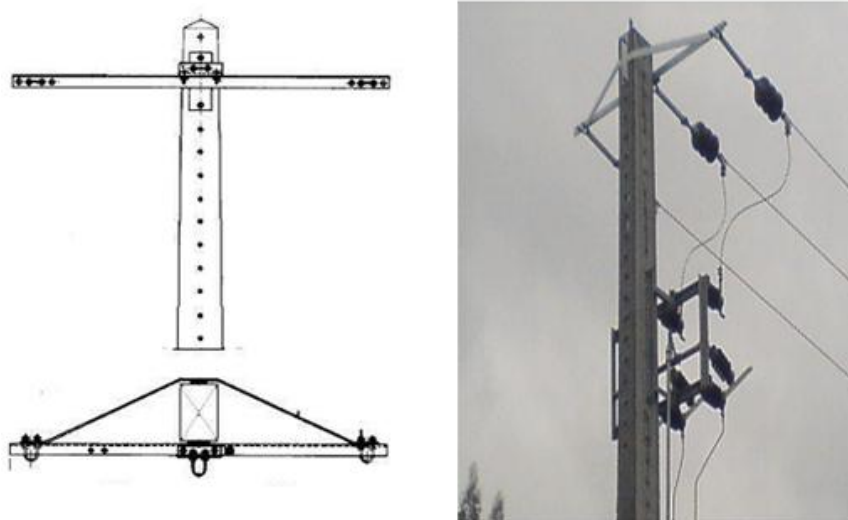


Figura 3.5 - Armação tipo esteira horizontal (HPT4).

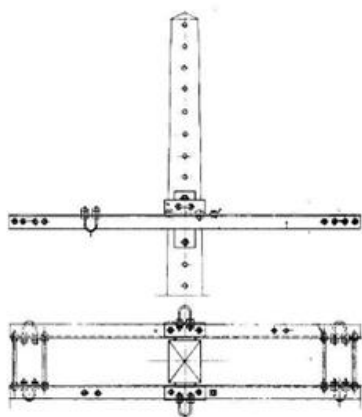


Figura 3.6 - Armação tipo esteira horizontal (HRSFC).

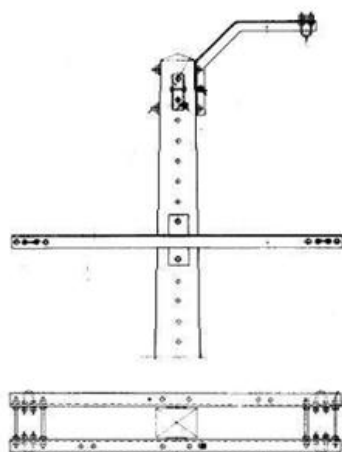


Figura 3.7 - Armação tipo triângulo para alinhamento (TAL).

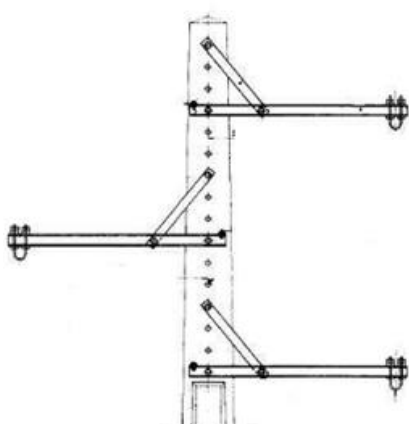


Figura 3.8 - Armação tipo galhardete para alinhamento (GAL).

É de referir que as armações são normalmente constituídas por ligas de ferro, sendo possível fazer com que uma armação suporte uma maior ou menor amplitude das solicitações que lhe são aplicadas aumentando ou reduzindo a espessura dos perfis de ferro [33].

Uma linha aérea parte, normalmente, de um apoio com uma armação em esteira horizontal, mesmo em situações onde se trata de uma derivação. Nesses casos, é colocada uma armação HRSFC cerca de 1 m abaixo da homóloga que nesse mesmo apoio suporta a linha principal, respeitando-se as distâncias mínimas entre condutores. A solução de esteira horizontal permite uma fixação, no mesmo plano, dos condutores, o que leva a que tanto para descidas como subidas a cabo não haja uma aproximação perigosa entre os componentes sob tensão.

No decorrer da linha, e quando esta possui vãos curtos, as armações com melhor desempenho são as estabelecidas em triângulo. Apesar de uma armação em galhardete permitir um maior distanciamento entre condutores, estas têm a vantagem da sua maior elevação no apoio, permitindo assim maiores distâncias dos condutores ao solo e a utilização de apoios mais baixos.

Já quando se está perante um projecto onde, à partida, vão existir vãos longos, é de aproveitar ao máximo a utilização de armações em galhardete. De facto, quanto maior for a distância entre apoios, maior é a possibilidade de os condutores se tocarem a meio vão, pelo que a prioridade é afastá-los o máximo possível.

A armação em esteira vertical não é normalmente muito utilizada, sendo que a sua principal vantagem surge quando dois vãos adjacentes fazem um ângulo muito acentuado num apoio. Evita-se assim que os condutores se aproximem perigosamente deste, dado que se encontram amarrados apenas a uma face do mesmo.

Isoladores e tipos de amarração

Os condutores de uma linha aérea montam-se nos apoios por intermédio de isoladores fabricados em porcelana ou em vidro. Durante muitos anos, a escolha dos isoladores de porcelana foi prática comum. Mais actualmente, com todas as crescentes preocupações económicas das empresas, o vidro passou a ser mais utilizado, conseguindo por um lado satisfazer igualmente as exigências do serviço e constituindo-se, ao mesmo tempo, como uma solução mais barata. A forma como se fabricam os isoladores de vidro tem sofrido uma grande evolução, levando à utilização de materiais escolhidos pelas suas excelentes características e à optimização de processos, garantindo-se uma diminuição da sua fragilidade.

Como os esforços a que os isoladores estão sujeitos, devido ao suporte dos condutores, podem ser consideráveis, é necessário que o seu dimensionamento seja rigorosamente executado, de forma a resistir a essas solicitações sem que o isolamento dos materiais em tensão fique comprometido.

De facto, como o nome indica, a principal função dos isoladores é evitar que se estabeleça uma ligação eléctrica entre os condutores e os apoios. Ainda assim, essa ligação pode ocorrer por diversos motivos:

- **Por condução através da massa:** Na realidade, com o tipo de materiais que são actualmente utilizados na construção dos isoladores, a corrente que pode ser transmitida através da massa é praticamente insignificante;
- **Por condução superficial:** Como os isoladores se encontram sujeitos à humidade, chuva, gelo, é possível que toda a sua área seja coberta, levando a um aumento da condutibilidade da superfície;
- **Por perfuração da massa do isolador:** Em altas tensões são necessários isoladores mais espessos, pelo que se torna difícil garantir, durante o seu fabrico, a conservação das propriedades dieléctricas em toda a massa. Não havendo uniformidade nas propriedades dieléctricas de todo o elemento, um ponto fraco pode permitir a perfuração do isolador, levando ao estabelecimento de uma ligação eléctrica entre condutor e apoio. Para evitar este fenómeno, pode utilizar-se um maior número de isoladores menos espessos para garantir o mesmo nível de isolamento.
- **Por descarga disruptiva:** Por vezes a rigidez dieléctrica do ar diminui, como acontece, por exemplo, em períodos de chuva. Pode, nesses casos, estabelecer-se um arco eléctrico entre condutor e apoio através do ar se a rigidez dieléctrica deste tiver diminuído a ponto de não evitar a descarga. Os isoladores em campânula ajudam a evitar este tipo de condução devido ao seu perfil ondulado, que ajuda a aumentar a tensão necessária para que haja contornamento. [36]

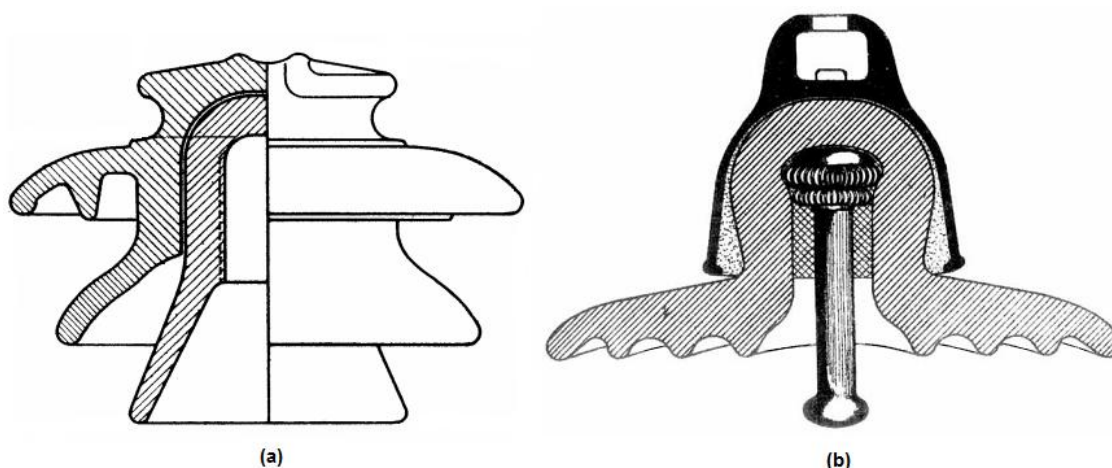


Figura 3.9 - Tipos de isoladores. (a) Isolador rígido, (b) Isolador para acoplamento em cadeia [37].

Os fabricantes de isoladores recomendam os tipos mais convenientes para determinada tensão em que vão ser utilizados, disponibilizando ainda, para cada um, a informação da

tensão de descarga com tempo seco ou com chuva. Ainda assim, não é possível, em rigor, afirmar que uma dada tensão de descarga corresponde a um certo tamanho de isolador, pois a altura da linha em relação ao nível do mar, os depósitos salinos na sua superfície, a frequência de tempestades e as condições climáticas têm influência nesse valor. No fundo, os valores que os fabricantes fornecem referem apenas condições favoráveis de trabalho, sendo que cabe ao projectista a escolha do melhor tipo de isolador consoante a zona em que vai ser aplicado.

Os isoladores podem ser do tipo rígidos ou de cadeia. Relativamente ao custo de ambos, apenas se encontram vantagens na utilização de cadeias de isoladores, a nível de custo inicial, para tensões bastante elevadas. No entanto, a escolha actual de muitas empresas recai neste tipo de isoladores por razões de segurança e manutenção das redes. Como esta solução é na realidade constituída por isoladores soltos que são emparelhados, torna-se por um lado mais fácil substituir uma peça em caso de defeito e por outro consegue-se de forma expedita aumentar o nível de isolamento de uma linha com a simples adição de mais isoladores à cadeia [37].

As cadeias de isoladores podem ser estabelecidas em suspensão ou em amarração. Se a primeira forma de colocação da cadeia apresenta as suas vantagens para apoios em alinhamento, a segunda é mais utilizada para apoios com função de ângulo ou mesmo para criar na rede um ponto que facilite intervenções nesta. Por análise da figura 3.9 (b), entende-se que como uma cadeia em amarração fixa de ambos os lados de um apoio os vãos correspondentes, pode cortar-se o condutor que os liga electricamente, permitindo, se necessário, o isolamento de uma porção de rede. Ainda assim, é possível utilizar cadeias em suspensão em situações de ângulo desde que este não ultrapasse os 20 graus (ângulo medido entre a posição da cadeia e o eixo que a atravessa verticalmente em posição de alinhamento).

Uma chamada de atenção, também, para o facto de as cadeias de isoladores poderem ser aplicadas com suspensão simples ou dupla. No fundo, isto está mais relacionado com uma questão mecânica ou, para elevadas tensões de estabelecimento das linhas, com o número de campânulas a interligar. É sabido que, quanto maior a tensão eficaz da linha, mais elevado é o número de isoladores a utilizar para que não haja contornamento e a consequente ligação eléctrica entre os condutores e os apoios. Assim, de forma a, quando se utiliza uma suspensão, não se baixar demasiado a linha com o comprimento da cadeia de isoladores, utiliza-se uma suspensão dupla, que consiste em dividir o número total de isoladores a utilizar e colocá-los paralelamente. No entanto, pode dizer-se que, a principal vantagem desta topologia é, em caso de acidente e ruptura de uma das cadeias, a linha, em princípio, não cair, porque está segura pela outra cadeia. Trata-se, portanto, de uma óptima solução mecânica quando se executam travessias de vias de comunicação, como cursos de água

navegáveis, auto-estradas, vias férreas, entre outras, evitando assim perigos que poderiam ser causados por acidentes com a linha.

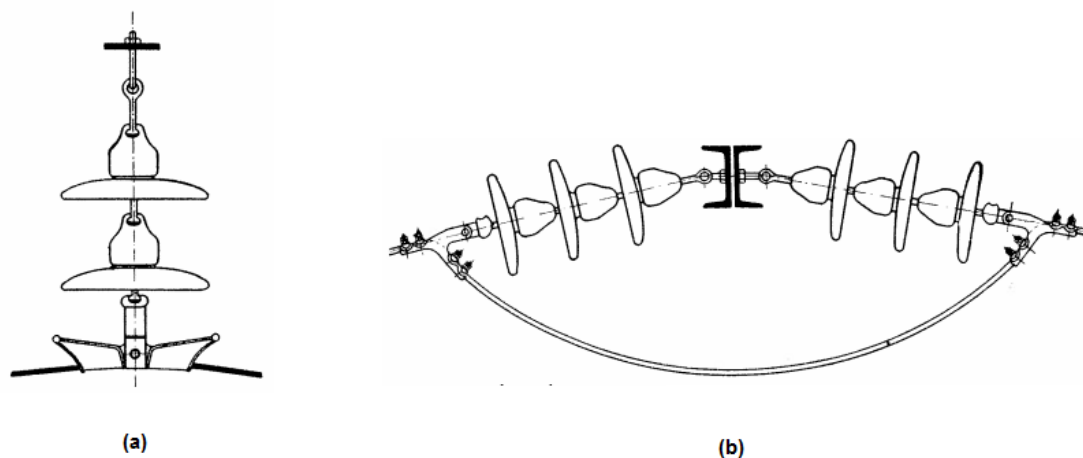


Figura 3.10 - Cadeias de isoladores. (a) Cadeia em suspensão simples, (b) Cadeia em amarração [37].

O RSLEAT exige ainda, no artigo 38º, que em casos de início e fim de linha sejam utilizadas cadeias de amarração. Como uma cadeia de suspensão exige, para se manter numa posição vertical, que existam dois vãos com aproximadamente o mesmo comprimento montados a uma tensão máxima de tracção idêntica, não constitui solução para estes dois casos especiais.

As cadeias de isoladores podem ainda ter um tipo de amarração simples ou reforçada. Como a normalização dos equipamentos é, para cada nível de tensão, usual, pode dizer-se que os tipos de amarração diferem entre si apenas no número de isoladores que se utilizam na cadeia e no comprimento da linha de fuga de cada um. Quando se diz que uma cadeia tem um tipo de amarração simples, normalmente é constituída por um número menor de isoladores que possuem uma linha de fuga mais curta do que se se tratasse de amarração reforçada. Como, segundo o RSLEAT, não é possível ter mais de quatro apoios consecutivos com amarração reforçada, surgem também as cadeias de amarração com hastes, ilustradas na figura 3.11. Torna-se assim possível, se realmente necessário, aplicar um novo apoio de reforço que, com as hastes, garante um ponto fraco na rede por onde as descargas atmosféricas podem escoar para a terra.

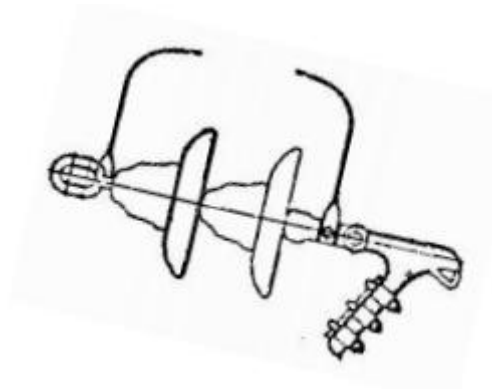


Figura 3.11 - Cadeia de amarração com hastes [33].

3.3 - Estabelecimento do percurso da linha

No início de um projecto, e tendo em consideração que são conhecidos os pontos onde a linha começa e acaba, estabelece-se o traçado completo da mesma. Este processo consiste na definição, em desenho, de um conjunto de segmentos de recta, com o objectivo de simular o percurso possível da linha. O traçado óptimo seria o correspondente a um segmento de recta. Assim, conseguir-se-ia diminuir o número de apoios e outros dispositivos utilizados, não era necessário efectuar ângulos entre vãos adjacentes e existiria uma redução nas perdas de energia durante o transporte, entre outras vantagens. No entanto, e como é, por diversas razões, óbvio, a realização de um traçado com esta descrição é praticamente impossível devido aos obstáculos do terreno. Assim, na escolha do traçado deve procurar-se que este seja constituído pelo máximo de alinhamentos rectos extensos, paralelos às vias de comunicação e, quando necessário, com ângulos pouco pronunciados, o que evita a utilização de apoios mais robustos e, consequentemente, mais dispendiosos. Outra das regras a cumprir está relacionada com o bom-senso e ética do projectista, que tem de ter em atenção todos os elementos culturais, estéticos e científicos da paisagem. Deve afastar-se a linha de edifícios históricos e de valor artístico, assim como ter em atenção a flora, que, segundo recomendações do artigo 28º de [32], não deve sofrer devastação de árvores de fruto e de crescimento lento.

É ainda proibido, segundo o RSLEAT, a passagem da linha sobre recintos escolares e desportivos, instalações destinadas ao armazenamento e manipulação de produtos explosivos, depósitos de combustível líquido ou gasoso e aeródromos [32].

3.4 - Reconhecimento do perfil sobreelevado do terreno

Após a definição do traçado da linha, o passo seguinte é o reconhecimento topográfico do terreno onde se quer executar o trabalho. Na realidade, existem agora programas informáticos com mapas cartografados implementados e onde é possível verificar tanto a

topografia do terreno como os obstáculos que o projecto da linha tem de evitar. Ainda assim, como as cartas não são actualizadas de cada vez que há uma modificação no terreno (como o é o crescimento de uma nova habitação, por exemplo), é necessária uma visita ao terreno antes de se projectar a linha. É frequente a necessidade de fazer o levantamento de inúmeros obstáculos que não se encontram registados nas cartas, como novas linhas, cabos telefónicos ou construções recentes. São ainda retiradas informações como os coeficientes de compressibilidade do terreno ou mesmo o grau de poluição no local, constituindo esta informação necessária para a determinação da linha de fuga dos isoladores.

Um levantamento topográfico deve definir o perfil do terreno no traçado da linha. Faz-se o levantamento dos pontos onde se vão colocar os apoios, dos pontos da armação do apoio de derivação, dos pontos de alinhamento, dos pontos que caracterizam a parte superior de qualquer obstáculo e daqueles que estão associados à passagem de linhas de telecomunicações ou outras. Já para a planta parcelar, assinalam-se os pontos relativos às vias de comunicação, cursos de água, linhas aéreas de energia e telecomunicações e delimitações de terrenos. Por fim, um levantamento topográfico termina com a piquetagem do terreno, ou seja, assinalando, por meio de marcas, os locais de implantação dos apoios e o alinhamento que deverão ter [33].

Ao nível do projecto de linhas aéreas de nível de tensão 15 kV, a EDP Distribuição, S.A., tem o software *SIT-DM*, que é onde os projectistas trabalham. Apesar de ser um programa bastante completo e possuir cartas militares, é necessário em quase todos os projectos seguir o protocolo e fazer-se um levantamento topográfico ou, no mínimo, uma visita ao terreno.

3.5 - Cálculo mecânico de condutores e desenho de curvas

A utilização de cabos enterrados para condução de energia eléctrica oferece uma série de vantagens. Se por um lado, ao estarem no subsolo, não se apresentam como um obstáculo nem à vista nem à passagem física, por outro também não se encontram sujeitos a agressões externas, como o são a chuva, o vento ou mesmo as descargas atmosféricas. Ainda assim, e devido ao custo elevado que acarreta o estabelecimento de canalizações subterrâneas para níveis de média e alta tensões, esta solução é pouco utilizada, sendo substituída por aquela que é economicamente mais atraente - as linhas aéreas.

Para o projecto de uma linha aérea, é importantíssimo o estudo do comportamento dos condutores com a temperatura. Como está sujeita às diferentes condições climáticas, a linha apresenta, durante o verão, uma dilatação, o conseqüente aumento da flecha e diminuição da tensão mecânica longitudinal a que os condutores estão submetidos. Pelo contrário, no inverno, a linha encurta, a flecha diminui e, por conseguinte, o esforço de tracção sobre a linha aumenta [38].

Tendo em conta as considerações iniciais, a importância atribuída ao estudo do comportamento dos condutores com a temperatura reflecte-se nos objectivos do cálculo mecânico relacionado com os mesmos:

- Determinação da tensão mecânica de montagem dos condutores. Durante a montagem da linha, os condutores devem ser sujeitos à tensão calculada de acordo com as condições climáticas que se verifiquem na altura. O valor atingido deve também garantir que não existirá ruptura dos condutores independentemente das condições atmosféricas que se venham a verificar no futuro;
- Escolha da altura dos apoios de modo a que sejam cumpridas as distâncias regulamentares a todos os obstáculos da linha;
- Verificação das distâncias entre condutores, tanto a meio vão como nas extremidades do mesmo, de forma a que sejam cumpridos os valores regulamentares mínimos.

Definição do valor da tracção máxima a aplicar em todos os vãos da linha

A definição deste valor é de extrema importância durante o decorrer do cálculo mecânico dos condutores de uma linha. O que este valor representa não é mais que a tensão máxima de tracção específica a que os condutores vão estar sujeitos quando se verificarem as condições atmosféricas mais desfavoráveis e a máxima pressão dinâmica do vento. A expressão que permite o cálculo da tensão máxima de tracção pelos condutores assenta no quociente entre a tensão de rotura dos mesmos e o coeficiente de segurança para cabos. Este coeficiente é definido pelo artigo 24º do RSLEAT, que, para a hipótese de cálculo mais desfavorável, define a impossibilidade de as tensões máximas de tracção para condutores nus serem superiores ao quociente das suas tensões de rotura por 2,5 [39].

$$T_{seg} = \frac{T_R}{2,5} , \quad (3.1)$$

onde T_{seg} indica a tensão máxima de tracção, em daN, e T_R dá a tensão de rotura do condutor, em daN.

$$t_{seg} = \frac{T_R}{2,5 \cdot \sigma} , \quad (3.2)$$

onde t_{seg} é a tensão máxima de tracção específica, em daN/mm².

Na prática, a definição da tensão máxima de tracção específica a aplicar aos condutores é feita recorrendo a uma série de condicionantes, existindo sempre um valor que só em situações excepcionais é ultrapassado: 9-10 daN/mm². Um dos principais factores para a escolha desse valor prende-se com o tamanho dos vãos. Na realidade, quanto mais pequenos

forem, podem utilizar-se tensões mais baixas, o que leva à utilização de apoios mais económicos. No entanto, é sempre necessário fazer uma avaliação entre o aumento da flecha e as distâncias aos obstáculos, na escolha de t_{seg} . Sintetizando,

- A flecha será maior quanto menor for t_{seg} ;
- Quando maior t_{seg} , maior será a amplitude dos esforços aplicados aos apoios.

De notar, ainda assim, que as considerações anteriores estão mais associadas a condutores de alumínio do que de cobre, por esta ser, actualmente e em Portugal, uma solução descontinuada. De facto, como os condutores de cobre apresentam uma maior tensão de rotura, a tensão máxima de tracção específica que se lhes pode aplicar é superior aos valores descritos para os homólogos de alumínio.

Cálculo dos coeficientes de sobrecarga e valor do vão crítico

Como já foi referido, todos os equipamentos de uma linha, mas em particular os seus condutores, estão sujeitos a solicitações provocadas pela variação da temperatura. Para além disso, existem ainda outras forças às quais estão vulneráveis, como é o caso da acção do vento ou mesmo das camadas de gelo, em certas zonas. Sendo estas as três principais variáveis, e como estão dependentes tanto da região como da estação do ano, o RSLEAT define um mesmo número de estados atmosféricos tipo, para se concluir quais as condições mais desfavoráveis a que a linha estará sujeita. A caracterização desses estados, é:

- **Estado de Inverno:**
 - Menor temperatura previsível;
 - Possibilidade da existência de manga de gelo;
 - Existência de vento reduzido.
- **Estado de Primavera:**
 - Temperatura média previsível;
 - Ausência de manga de gelo;
 - Ventos muito intensos.
- **Estado de Verão:**
 - Temperatura máxima previsível;
 - Ausência de manga de gelo;
 - Ausência de vento.

Tabela 3.1 - Temperatura a considerar, segundo o RSLEAT, para os estados de Inverno e Primavera.

	Inverno	Primavera
Com gelo	-10°C	-
Sem gelo	-5°C	+15C

Tabela 3.2 - Temperatura a considerar, segundo o RSLEAT, para o estado de Verão.

	Verão
Linhas 2ª classe, $U_n < 40 \text{ kV}$	+50°C
Linhas 3ª classe, $40 < U_n < 100 \text{ kV}$	+65°C
Linhas 3ª classe, $U_n > 100 \text{ kV}$	+75°C

Os coeficientes de sobrecarga calculam-se inicialmente para os estados de Primavera e Inverno, pois um deles (o mais desfavorável, como se verá adiante) será comparado com os dados relativos ao estado de flecha máxima (Verão). Na realidade, o que é representado pelo coeficiente de sobrecarga não é mais que um agravamento teórico do peso próprio do condutor devido à acção do vento e do gelo [29].

Ainda assim, é impossível o cálculo de m_1 e m_2 ³, que se introduzirão adiante, sem que antes se determine a acção do vento em cada um desses estados atmosféricos.

Segundo o artigo 10º do RSLEAT, o vento deve considerar-se actuando numa direcção horizontal, a força proveniente da sua acção considerar-se-á paralela àquela direcção e é determinada pela expressão 3.3.

$$F_{vento_i} = \alpha \cdot c \cdot q \cdot s, \quad (3.3)$$

onde F_{vento_i} indica a acção do vento no estado atmosférico i , em daN, α o coeficiente de redução, adimensional, c o coeficiente de forma, adimensional, q a pressão dinâmica do vento, em daN/m² e s a área da superfície batida pelo vento, em m².

Para ser possível a utilização da expressão 3.3, é ainda necessário ter em conta os valores que o RSLEAT define para o coeficiente de redução α , o coeficiente de forma c e a pressão dinâmica do vento q . Analisando as tabelas 3.3, 3.4 e 3.5, extraem-se os dados que completam a expressão 3.3, para de seguida se calcular a acção do vento nos estados de Inverno e Primavera. De notar que, segundo a caracterização dos estados atmosféricos, a pressão dinâmica do vento a considerar para o Inverno é correspondente à condição de vento reduzido e, para a Primavera, de vento máximo.

Tabela 3.3 - Valores da pressão dinâmica do vento em função da altura do elemento sobre o qual se pretende calcular a acção do vento (artigo 13º do RSLEAT).

Altura acima do solo (m)	Pressão dinâmica do vento q (Pa) ⁴	
	Vento máximo habitual	Vento reduzido
Até 30	750	300
De 30 a 50	900	360
Acima de 50	1050	420

³ O índice i assume o valor “1” quando se trata do estado atmosférico de Inverno e “2” quando corresponde à Primavera.

⁴ Notar que 1 Pa = 1 N/m² e 1 daN = 10 N.

Tabela 3.4 - Valores do coeficiente de redução a adoptar (artigo 14º do RSLEAT).

	Coeficiente de redução α
Condutores e cabos de guarda	0,6
Apoios, travessas e isoladores	1

Tabela 3.5 - Valores do coeficiente de forma para condutores, cabos de guarda e isoladores (artigo 15º do RSLEAT).

	Diâmetro (mm)	Coeficiente de forma c
Condutores nus e cabos de guarda	< 12,5	1,2
	> 12,5	1,1
	< 15,8	
	> 15,8	1,0
Cabos isolados em feixe (torçada)		1,3
Cabos auto-suportados e tipo 8		1,8
Isoladores		1,0

Tendo já disponíveis os valores da acção do vento para os estados de Primavera e Inverno, é agora possível o cálculo dos coeficientes de sobrecarga.

$$m_i = \frac{\sqrt{\left\{\omega + \omega_g \cdot \frac{\pi}{4} [(d + 2 \cdot e)^2 - d^2]\right\}^2 + F_{vento}}}{\omega},^5 \quad (3.4)$$

onde m_i é o coeficiente de sobrecarga para do estado atmosférico i , ω é o peso específico do condutor, em daN/m, ω_g é o peso específico do gelo, em kg/mm², d é o diâmetro do condutor, em m, e e é a espessura da manga de gelo, em m.

Posto isto, determina-se o vão crítico, que é o vão para o qual os condutores ficam sujeitos à mesma tensão máxima de tracção nos estados de Inverno e Primavera.

$$L_{cr} = \frac{\sigma \cdot t_{seg}}{\omega} \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha_d \cdot (\theta_2 - \theta_1)}{m_2^2 - m_1^2}}, \quad (3.5)$$

onde L_{cr} é o vão crítico, em m, α_d é o coeficiente de dilatação térmica do condutor, em °C⁻¹, θ_2 é a temperatura associada ao estado de Primavera e θ_1 é a temperatura associada ao estado de Inverno, ambas em °C.

Definição de dois valores de vão médio

A determinação dos valores de vão médio não é simples. De facto, não está relacionada com cálculos nem é igual entre projectos, podendo ser atingida por experiência do projectista ou por análise do perfil sobre-elevado do terreno. Como a primeira não está presente num

⁵ Quando se considera espessura da manga de gelo e , o seu valor não deve ser inferior a 10x10⁻³ m (artigo 16º do RSLEAT).

projectista iniciante, é mais simples a análise do perfil, onde se observa quais serão as distâncias de vãos mais utilizadas aquando do desenho das curvas. [39].

Determinação do estado atmosférico mais desfavorável, para cada vão médio

Antes de se proceder ao cálculo da tensão de montagem da linha através da equação dos estados⁶, é necessário, para os dois valores de vão médio, determinar qual o estado atmosférico mais desfavorável de entre a Primavera e o Inverno. Isso consegue-se através da análise de uma árvore de decisão, apresentada na figura 3.12.

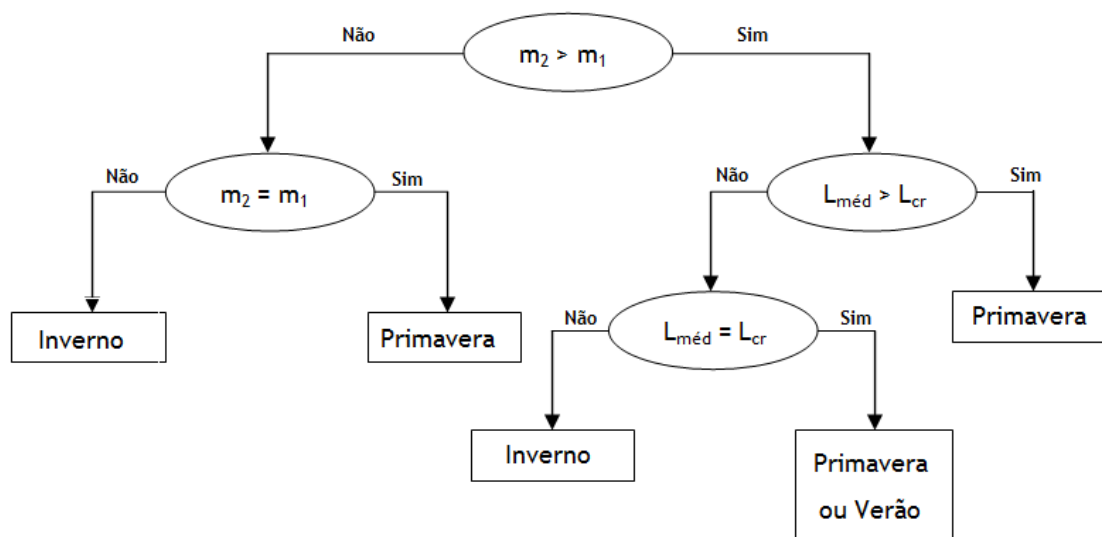


Figura 3.12 - Árvore de decisão para determinação do estado mais desfavorável [40].

A determinação do estado atmosférico mais desfavorável é muito importante para definir as variáveis que, na equação dos estados, vão ser comparadas às do estado de flecha máxima, o Verão. Fala-se, naturalmente, dos valores do coeficiente de sobrecarga e de temperatura.

Determinação da tensão de montagem e cálculo dos parâmetros das curvas associadas a cada vão médio

A conjugação das acções próprias dos condutores com as acções que lhe são impostas pelos agentes externos como o vento, o gelo e a temperatura, que se traduzem em variações do seu comprimento e tracção, permite a obtenção de uma equação de equilíbrio mecânico - a equação dos estados [41].

Na realidade, o que a equação dos estados permite descobrir é, para cada vão médio, a tensão de tracção aplicada nos condutores, num dado estado atmosférico, desde que seja conhecido o seu valor noutra estado, e ambos estejam definidos pelos respectivos coeficiente de sobrecarga e temperatura.

⁶ A equação dos estados é uma equação de equilíbrio mecânico, como se referirá no seguimento.

$$\theta_k + \frac{t_{\theta_k}}{\alpha_d \cdot E} - \frac{m_k^2 \cdot \omega^2 \cdot L_{méd}^2}{24 \cdot \alpha_d \cdot \sigma^2 \cdot t_{\theta_k}^2} = \theta_i + \frac{t_{seg}}{\alpha_d \cdot E} - \frac{m_i^2 \cdot \omega^2 \cdot L_{méd}^2}{24 \cdot \alpha_d \cdot \sigma^2 \cdot t_{seg}^2}, \quad (3.6)$$

onde θ_k é a temperatura associada ao estado de verão, em °C, t_{θ_k} é a tensão de montagem calculada para a temperatura θ_k , em daN/mm², E é o módulo de Young, em daN/mm² e $L_{méd}$ é o vão médio, em m.

Os estado mais desfavorável, definido no ponto anterior, é através da expressão 3.6 comparado com o estado de Verão, devido à condição de flecha máxima a ele associada. Assim, determina-se a tensão de montagem dos condutores, fixando a tensão máxima de tracção a que eles podem ficar sujeitos no estado mais desfavorável.

Para o estado de flecha máxima, como se considera a ausência tanto de manga de gelo como de vento, o coeficiente de sobrecarga m não representa nenhum agravamento teórico do peso do condutor, pelo que assume o valor $m = 1$. Já o valor da temperatura θ_k a considerar deve ser escolhido consoante a classe da linha a projectar e estar de acordo com a tabela 3.2. Como é óbvio, os dados relativos ao estado mais desfavorável a utilizar são os que foram atingidos no decorrer do processo de cálculo mecânico, descrito nos pontos anteriores.

Na prática, esta expressão encontra-se claramente estudada e desenvolvida, tendo levado à criação de tabelas com todos os valores de tensão de montagem, para automatizar e facilitar o projecto mecânico das linhas. Essas tabelas, com um exemplo no anexo B, estão organizadas pela secção do condutor, pressão dinâmica do vento, temperatura e distância dos vãos.

Relativamente à geometria das linhas, admite-se que os condutores são perfeitamente flexíveis e inextensíveis, definindo-se a curva de equilíbrio de um cabo suspenso em dois dos seus pontos como sendo uma catenária homogénea. A sua equação assume a forma da expressão 3.7 [40]:

$$y = P \cdot \cosh \frac{x}{P} - P, \quad (3.7)$$

onde P é o parâmetro da catenária, em m, dado pela expressão 3.8:

$$P = \frac{t_{\theta_k} \cdot \sigma}{\omega} \quad (3.8)$$

A expressão 3.8 representa geometricamente o raio de curvatura no ponto onde a tangente à curva é horizontal, sendo através dela que se faz a representação da curva para cada vão. De facto, como na realidade os condutores não são perfeitamente flexíveis e inextensíveis, a adopção do parâmetro da catenária resulta numa aproximação por excesso. Ainda assim, apesar de não existir um elevado rigor no cálculo mecânico das linhas, o erro associado não é exageradamente grande para que se possa pôr em causa a estabilidade dos resultados atingidos [40].

Neste ponto, determinam-se os parâmetros das curvas associadas a cada vão médio, para de seguida ser possível o seu esboço no perfil sobreelevado. Nas tabelas antes referidas, esta informação também se encontra disponível para cada distância de vãos, tornando desnecessário o seu cálculo em cada projecto que se queira fazer. A EDP Distribuição possui ainda representações transparentes dos parâmetros das catenárias, para com elas proceder ao esboço das curvas, no perfil sobreelevado.



Figura 3.13 - Exemplo de transparente associado a um parâmetro de catenária, para esboço de curva no perfil sobreelevado [33].

Marcação, no perfil sobreelevado, os locais de implantação dos apoios de ângulo e fim de linha

Começa-se por marcar os apoios de ângulo e fim de linha, pois, na realidade, são os que vão estar sujeitos a solicitações mais agressivas. Podem, no perfil, desenhar-se segmentos de recta, na vertical, como indicação de serem os locais de implantação apoios.

Cálculo das distâncias mínimas regulamentares da linha aos obstáculos, desenho das curvas representativas da linha e localização dos restantes apoios

Tendo já disponível, neste ponto, informação sobre todos os obstáculos, vias de comunicação ou outros, que foi garantida com o levantamento topográfico, devem calcular-se as distâncias mínimas a cumprir da linha a esses elementos, através das expressões presentes no RSLEAT, cujo resumo pode ser consultado no apêndice A deste documento. É boa prática marcar cada uma das distâncias mínimas calculadas no perfil sobreelevado, para assim se ter noção que a curva da catenária nunca pode passar abaixo desses pontos.

Para o desenho das curvas, tem-se agora toda a informação necessária, nomeadamente o parâmetro do transparente a utilizar. De notar que, como não existem todos os transparentes possíveis e imaginários⁷, é por vezes necessário aproximar a sua escolha ao parâmetro calculado.

⁷ Isto segundo teoria do cálculo mecânico dos condutores. Actualmente, existem programas computacionais que permitem o traçado das curvas tendo em conta qualquer parâmetro calculado.

Quando se procede ao esboço das curvas, e como se tinham representado apenas, no perfil sobreelevado, apoios de fim de linha e de ângulo, os apoios de alinhamento vão ser colocados quando existirem intersecções entre elas, como acontece na figura 3.14 [39].

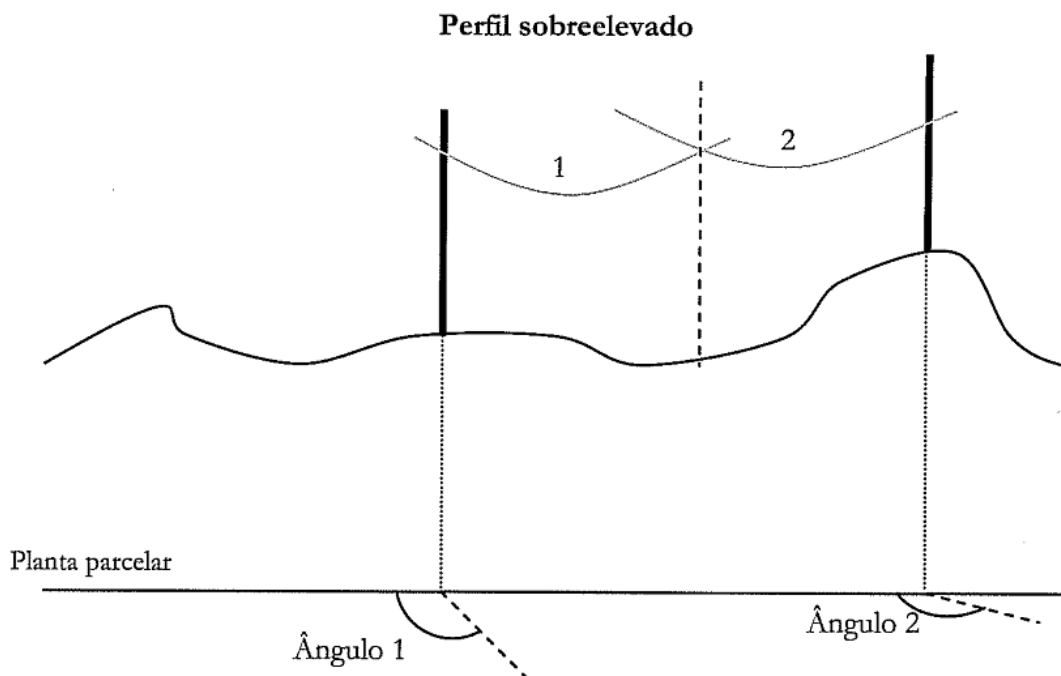


Figura 3.14 - Exemplo de desenho de curvas relativas a dois vãos, através dos transparentes, representadas por 1 e 2 [39].

Definição do tipo de fixação dos condutores

Como já foi dito, os condutores podem ser fixados por amarração ou suspensão. As considerações que devem estar na mente do projectista aquando da escolha da fixação, em cada apoio, são:

- As **amarrações** devem ser utilizadas em situações de ângulo, início e fim de linha, derivações, e em situações de travessia de locais mais delicados, como auto-estradas ou caminhos de ferro, pois conseguem garantir maior estabilidade à linha;
- As **suspensões** têm maior índice de utilização quando os apoios são de alinhamento e os vãos adjacentes equilibrados.

Estas definições não são, por vezes, regra, devido a um problema económico. É que as fixações por amarração são mais dispendiosas, pois, em vez de uma cadeia de isoladores, necessitam de duas, para cada um dos lados do apoio. Fora o investimento inicial, um apoio necessita assim de mais manutenção durante o seu período de vida útil.

Cálculo dos vãos fictícios equivalentes de cada cantão, considerando vãos em patamar

Como, com a determinação do tipo de fixação dos condutores ao longo da linha, os diversões cantões ficam também definidos, deve proceder-se à regulação dos vãos. A expressão 3.9 define o que se designa por vão fictício equivalente.

$$E = \sqrt{\frac{\sum_{x=1}^n X'^3}{\sum_{x=1}^n X'}} \quad (3.9)$$

onde E é o vão fictício equivalente de um cantão, em m, o índice n representa o número de vãos do cantão e X' é o comprimento do vão, em m.

Re-definição dos parâmetros das catenárias, para cada cantão

Neste ponto, é necessário voltar a definir o estado atmosférico mais desfavorável, para de seguida se poder calcular o parâmetro da catenária a utilizar, agora para cada cantão. De notar que as expressões a utilizar são as mesmas que estão descritas nesses pontos, mas os valores de vãos médios são agora substituídos pelos dos vãos fictícios equivalentes E .

Esboço final das curvas representativas das linhas

Sempre com atenção ao cumprimento das distâncias regulamentares aos obstáculos, o procedimento aqui é idêntico ao que já foi anteriormente explicado. De notar que, no ponto que tratou deste assunto anteriormente, se consideravam os parâmetros das curvas de cada vão como os que haviam sido calculados para os vãos médios. Agora, estando os parâmetros da curva de cada cantão definidos, todos os vãos que constituem o cantão correspondente vão assumir essa nova curva, pelo que se deve aplicar novo transparente [39].

Cálculo das flechas dos condutores

O cálculo das flechas pode ser feito tendo por base as expressões 3.7 e 3.8. De facto, com o desenvolvimento da função hiperbólica indicada na expressão 3.7 e análise dos vãos em declive e em patamar, é possível atingir expressões para a determinação das flechas em ambos os casos. É ainda de referir que, para vãos até 500 m, a aproximação parabólica da catenária pelo parâmetro é suficiente para o cálculo da flecha, o que não acontece para distâncias maiores a 800 m, onde é necessário executar um cálculo mais exacto, considerando a equação da catenária [42].

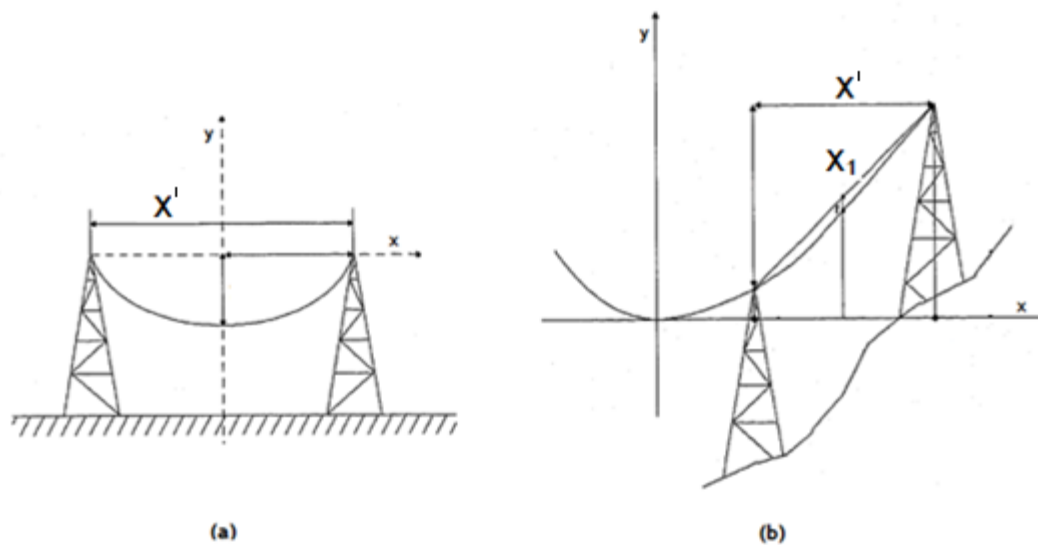


Figura 3.15 - (a) Vão em patamar, (b) Vão em declive [29].

As equações que definem a flecha não são as mesmas para vãos em patamar ou em declive, assumindo para o primeiro caso a forma da expressão 3.10 e para o segundo a de 3.11.

$$f = \frac{X'^2 \cdot \omega \cdot m_k}{8 \cdot \sigma \cdot t_{\theta_k}} \quad (3.10)$$

$$f = \frac{X' \cdot X_1 \cdot \omega \cdot m_k}{8 \cdot \sigma \cdot t_{\theta_k}}, \quad (3.11)$$

onde f é a flecha máxima, em m, X' é o comprimento do vão, em m, e X_1 é a distância entre os topos de dois apoios em declive, em m.

De notar que a flecha é calculada para o estado de Verão, possibilitando a aplicação do valor obtido na determinação das distâncias mínimas regulamentares a cumprir entre condutores, ao longo do vão.

Cálculo de linhas de fuga de isoladores, escolha de armações e verificação de distâncias entre condutores

Relativamente ao cálculo da linha de fuga necessária para a escolha dos isoladores a utilizar, é importante prestar atenção ao quadro 4.1 do RSLEAT. Nesse elemento são definidos diversos níveis de poluição para alguns ambientes típicos e a correspondente linha de fuga nominal específica mínima entre fase e terra. No fundo, a linha de fuga mínima de uma cadeia de isoladores, para que seja cumprido o isolamento entre os condutores e apoios, é dada pela multiplicação entre a tensão nominal da linha e a linha de fuga nominal específica mínima entre fase e terra.

$$lf_T = U_n \cdot lf , \quad (3.12)$$

onde lf_T é a linha de fuga mínima da cadeia de isoladores, em mm, e lf é a linha de fuga nominal específica mínima entre fase e terra, em mm/kV.

O próximo passo é escolher o tipo de isolador a utilizar. Estabelecido o modelo da campânula, procura-se nas suas características a linha de fuga correspondente. Para se determinar o número de campânulas necessárias para perfazer a linha de fuga da cadeia, basta dividir o valor de lf_T , calculado anteriormente, pela linha de fuga de cada campânula.

$$n_{camp} = \frac{lf_T}{lf_{camp}} , \quad (3.13)$$

onde n_{camp} é o número de campânulas necessárias para garantir a linha de fuga mínima da cadeia de isoladores e lf_{camp} é a linha de fuga de cada campânula, em mm.

Como é óbvio, existe a possibilidade de a razão apresentada na expressão 3.13 não resultar num valor inteiro. Quando assim acontecer, deve aproximar-se o número de campânulas para o inteiro imediatamente a seguir ao resultado obtido.

Relativamente à escolha das armações a utilizar em cada apoio, devem seguir-se as considerações apresentadas no subcapítulo 3.2, secção denominada “Armações”. Ainda assim, o cálculo dos esforços a elas aplicadas pode ser feito. No entanto, como é uma prática extremamente incomum no dia-a-dia de um projectista, decidiu-se não fazer uma apresentação exaustiva das expressões correspondentes, remetendo-se o leitor para [43], que trata, de forma clara, essa matéria.

Um ponto bastante importante no cálculo mecânico dos condutores, e também relacionado com as armações, é a verificação das distâncias mínimas regulamentares, entre condutores, a cumprir. De facto, o artigo 31º do RSLEAT define as distâncias mínimas que têm de se verificar entre condutores nus, ao longo das linhas aéreas de 2ª classe, pela expressão 3.14.

$$D_t = 0,75 \cdot k \cdot \sqrt{f + d_t} + \frac{U_n}{200} , \quad (3.14)$$

onde D_t é a distância mínima regulamentar entre condutores, em m, d_t é o comprimento das cadeias de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha, em m, e k é um coeficiente que depende da natureza dos condutores, assumindo os valores:

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

No entanto, a expressão apresentada resulta apenas num valor numérico mínimo, não fornecendo informação relativa à verificação do cumprimento do mesmo. Existe, com esse

fim, um exercício geométrico que pode ser feito, e que envolve as distâncias entre os pontos de fixação dos condutores, para as armações normalizadas escolhidas. Este método permite, para a pior situação (ou seja, a meio vão), verificar se os condutores se encontram, ou não, à distância mínima regulamentar. Como se pode imaginar, existem algumas combinações de armações (colocadas nas extremidades de um vão) em que a verificação é meramente formal, pois se a distância for a mesma no início e fim do vão, também o será a meio. Assim, como exemplo, toma-se a passagem de uma armação galhardete em ângulo (GAN) para uma esteira vertical em ângulo (VAN).

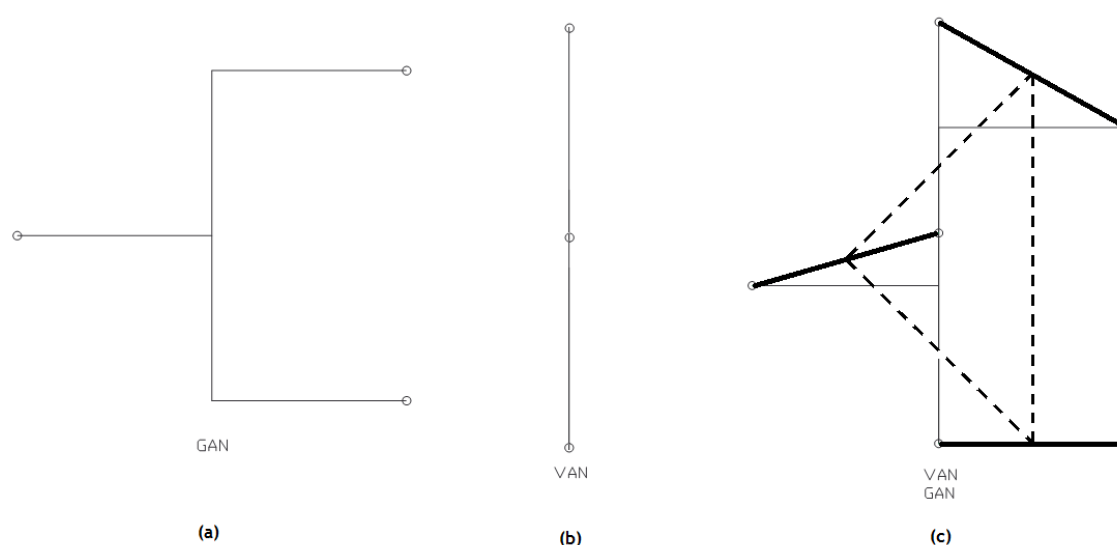


Figura 3.16 - Esquemas de armações. (a) Armação GAN, (b) Armação VAN, (c) Sobreposição de armações GAN e VAN, para determinação de distância a meio vão [33].

As figuras 3.16 (a) e (b) representam as duas armações para as quais se vai exemplificar o método. Os pontos de fixação dos condutores são representados pelas circunferências, sendo que todas as distâncias estão disponíveis para consulta, junto do fabricante das armações. No fundo, o método consiste na sobreposição das duas armações e união dos pontos de fixação dos condutores, como se demonstra, através dos segmentos de recta mais escuros, na figura 3.16 (c). Os pontos médios desses segmentos indicam, visualmente, a posição dos condutores a meio vão. Por sua vez, a união entre os pontos médios, a tracejado, indica a distância entre condutores na pior situação.

Por fim, comparam-se essas distâncias com as mínimas regulamentares, dadas pelo artigo 31º do RSLEAT, confirmando-se, ou não, se são cumpridas. Caso não se verifiquem, é sempre possível trocar uma das armações por outra com maiores distâncias, ou pedir uma, por encomenda, ao fabricante.

3.6 - Cálculo mecânico de apoios e esforços aplicados⁸

Esta parte do cálculo mecânico diz respeito ao dimensionamento dos apoios a utilizar. Depois de estarem definidas as posições e as alturas dos apoios, é necessário verificar a estabilidade dos mesmos através da determinação da sua resistência mecânica com base nas hipóteses de cálculo presentes no RSLEAT.

No fundo, a verificação da estabilidade dos apoios não é mais que calcular as solicitações mecânicas a que eles são sujeitos, tendo como finalidade a escolha de um apoio de qualquer fabricante, ou, caso seja necessário, encomendar um por projecto.

As solicitações aplicadas podem ser de variados tipos, como já foi explicado no subcapítulo 3.2, secção relativa aos apoios. Tanto o RSLEAT como as Recomendações para as Linhas Aéreas de Alta Tensão até 30 kV estabelecem, consoante a função do apoio e características dos vãos adjacentes, um conjunto de hipóteses de cálculo que permitem determinar os esforços aplicados ao apoio segundo todos os tipos de solicitações. De facto, estão regulamentadas três hipóteses de cálculo, dependentes da direcção do vento incidente na linha [29]. Ainda assim, e apesar de a terceira hipótese existir para alguns tipo de apoios, o RSLEAT dispensa o seu cálculo quando as linhas sejam de 2ª classe, ou ainda de 3ª, no caso dos apoios disporem de braços articulados.

Antes da apresentação da aplicação das expressões correspondentes, deve ter-se presente que, quando se trata do cálculo dos esforços aplicados em apoios de ângulo, é necessária atenção à forma como se inserem os valores dos ângulos na expressão, que é o que a figura 3.17 ilustra.

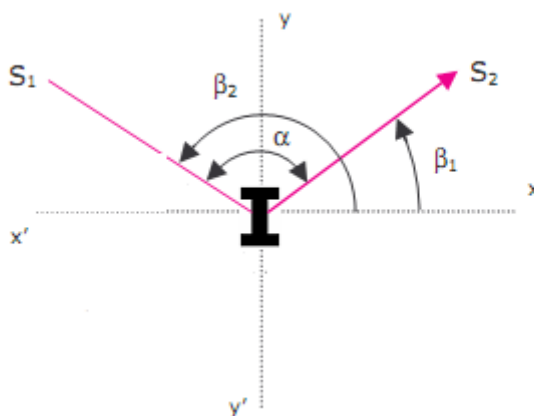


Figura 3.17 - Exemplo de referencial considerado para determinação dos ângulos β_1 , β_2 e α [33].

⁸ Pode, durante a leitura deste subcapítulo, surgir alguma confusão no leitor com os símbolos α e β utilizados. Informa-se que, durante esta secção, esses símbolos dizem respeito a ângulos e nunca à definição deles feita na secção das abreviaturas e símbolos. Também o símbolo 'S' aqui tem uma designação diferente, dizendo respeito à distância dos vãos, em metros. Os ângulos são normalmente medidos em graus.

É muito importante começar por definir um referencial, a partir de onde vão ser medidos todos os ângulos. A figura 3.17 é suficientemente clara nesta questão. Tomando por referencial o eixo xx' , iniciou-se a medição dos ângulos associados aos vãos S_1 e S_2 no 1º quadrante, sendo que lhes correspondem, respectivamente, β_2 e β_1 .

É também bom princípio definir um eixo no qual se representam as forças actuantes no apoio. Admita-se para os esforços longitudinais à linha o eixo xx' , para os transversais o yy' e para os verticais o zz' .

Apoios de alinhamento

Considere-se uma situação de alinhamento, presente na figura 3.18. Como é óbvio, os vãos S_1 e S_2 encontram-se alinhados com o eixo xx' .

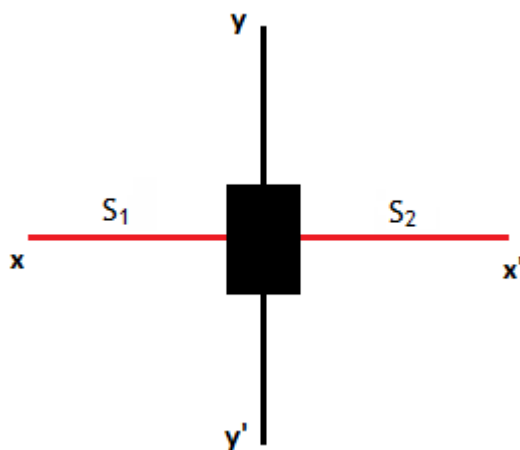


Figura 3.18 - Apoio de alinhamento.

Consideram-se, segundo [43], duas hipóteses de cálculo:

- **Hipótese 1:** Vento actua perpendicularmente à linha.
 - O esforço no sentido normal à linha, ou seja, segundo o eixo yy' .

$$F_y = 3 \cdot F_{vento} \cdot (S_1 + S_2) , \quad (3.15)$$

onde F_y é a solicitação mecânica longitudinal à linha, em daN, F_{vento} representa a acção do vento, segundo a expressão 3.3, em daN, S_1 é o comprimento do vão 1, e S_2 o do vão 2, ambos em m.

- O esforço vertical à linha, segundo eixo zz' .

$$F_z = 3 \cdot W' \cdot (S_1 + S_2) , \quad (3.16)$$

onde F_z é a solicitação vertical à linha, em daN e W' representa metade do peso unitário do condutor, em daN/m.

- **Hipótese 2:** Não se considera existência de vento.
 - Esforço no sentido da linha, segundo eixo xx' .

$$F_x = \frac{1}{5} \cdot F_y , \quad (3.17)$$

onde F_x é Solicitação mecânica longitudinal à linha, em daN.

- Esforço vertical à linha, segundo eixo zz' .

$$F_z = 3 \cdot W' \cdot (S_1 + S_2) \quad (3.18)$$

De notar que é desnecessário o cálculo do esforço vertical quando se trata de avaliações de estabilidade de apoios de betão. Nesses casos, não é também necessária a verificação da hipótese 2, assim como para apoios metálicos de base quadrada [43].

Apoios de ângulo

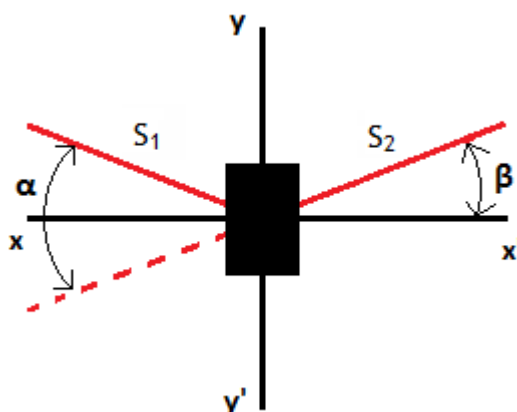


Figura 3.19 - Apoio de ângulo.

- **Hipótese 1:** Vento actua paralelamente à bissetriz do ângulo.
 - Esforço no sentido da bissetriz do ângulo, segundo eixo yy' .

$$F_y = 3 \times [F_{vento} \cdot \cos^2 \beta \cdot (S_1 + S_2) + 2 \cdot T_{seg} \cdot \sin \beta] , \quad (3.19)$$

onde β é o ângulo entre o eixo xx' e o vão S_2 , em graus.

- Esforço vertical, segundo eixo zz' .

$$F_z = 3 \cdot W' \cdot (S_1 + S_2) \quad (3.20)$$

- **Hipótese 2:** Não se considera acção do vento.
 - Esforço no sentido normal à bissetriz do ângulo, segundo eixo xx' .

$$F_x = \frac{1}{5} \times 3 \cdot F_{vento} \cdot \cos^2 \beta \cdot (S_1 + S_2) \quad (3.21)$$

- Esforço vertical, segundo eixo zz' .

$$F_z = 3 \cdot W' \cdot (S_1 + S_2) \quad (3.22)$$

De notar que é desnecessário o cálculo do esforço vertical quando se trata de avaliações de estabilidade de apoios de betão. Nesses casos, não é também necessária a verificação da hipótese 2, assim como para apoios metálicos de base quadrada [43].

Apoios de reforço em alinhamento

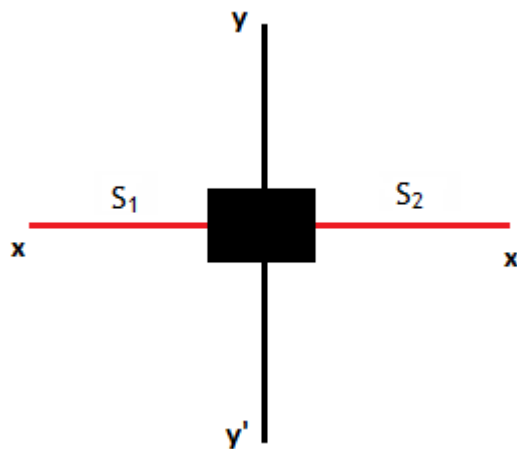


Figura 3.20 - Apoio de reforço em alinhamento.

Também ao nível da hipótese 1 de cálculo se considera o vento a actuar perpendicularmente à linha e as expressões a utilizar são a 3.15 e 3.16.

Relativamente à hipótese 2, não se considera actuação do vento e, apesar de para o esforço vertical a expressão ser igual à definida por 3.18, para o esforço no sentido da linha assim não acontece. A expressão 3.23 define esse cálculo.

$$F_x = 2 \cdot T_{seg} \quad (3.23)$$

É ainda desnecessário o cálculo do esforço vertical quando a verificação se faça para apoios de betão [43].

Apoios de reforço em ângulo

Os apoios de reforço em ângulo podem ser, esquematicamente, representados pela figura 3.19. Acontece, ainda, exactamente o mesmo que o descrito para os apoios de reforço em alinhamento, mas agora com respeito às expressões 3.19, 3.20 e 3.22. Na hipótese 2 de cálculo considera-se que não há actuação de vento, e a expressão para o esforço no sentido normal à bissetriz do ângulo, segundo eixo xx' , é igual à 3.23.

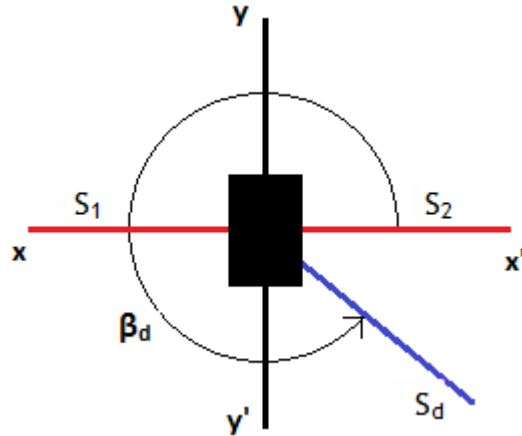
Apoios de derivação em alinhamento

Figura 3.21 - Apoio de derivação em alinhamento.

- **Hipótese 1:** Vento actua perpendicularmente à linha principal.
 - O esforço no sentido normal à linha principal, ou seja, segundo o eixo yy'.

$$F_y = 3 \cdot \left[F_{vento} \cdot (S_1 + S_2) + F_{vento_d} \cdot \cos^2 \beta_d \cdot S_d + |T_{seg_d} \cdot \beta_d| \right] \quad (3.24)$$

onde F_{vento_d} é a acção do vento aplicada ao vão S_d , em daN, T_{seg_d} é a tensão máxima de tracção aplicada ao vão S_d , em daN, e β_d é o ângulo entre o eixo xx' e o vão S_d , representado na figura XXXX, em graus.

- Esforço no sentido da linha principal, segundo eixo xx' .

$$F_x = 3 \cdot |T_{seg_d} \cdot \cos \beta_d| \quad (3.25)$$

- O esforço vertical, segundo eixo zz' .

$$F_z = 3 \cdot [W' \cdot (S_1 + S_2) + W'_d \cdot S_d] , \quad (3.26)$$

onde W'_d representa metade do peso unitário do condutor do vão de derivação, em daN/m.

- **Hipótese 2:** Vento actua paralelamente à linha principal.
 - O esforço no sentido normal à linha principal, ou seja, segundo o eixo yy'.

$$F_y = 3 \cdot |T_{seg_d} \cdot \beta_d| \quad (3.27)$$

- Esforço no sentido da linha principal, segundo eixo xx' .

$$F_x = 3 \cdot \left[F_{vento_d} \cdot \sin^2 \beta_d \cdot S_d + |T_{seg_d} \cdot \cos \beta_d| \right] \quad (3.28)$$

- O esforço vertical, segundo eixo zz' .

A expressão, para este cálculo, é igual à 3.26, apresentada para a hipótese 1

É, para o cálculo dos esforços aplicados aos apoios de derivação em alinhamento de betão, desnecessária a determinação das solicitações verticais [43].

Apoios de derivação em ângulo

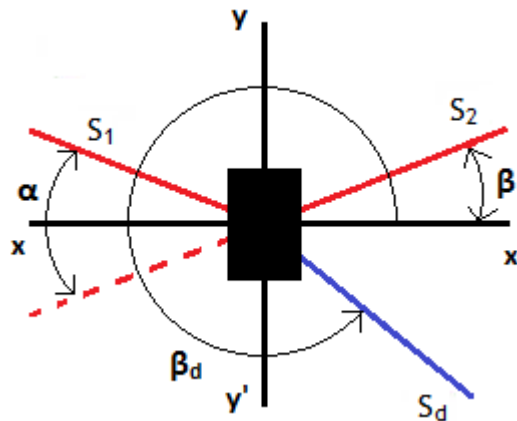


Figura 3.22 - Apoio de derivação em ângulo

- **Hipótese 1:** Vento actua paralelamente à bissetriz do ângulo da linha principal.
 - Esforço no sentido da bissetriz do ângulo da linha principal, segundo eixo yy' .

$$F_y = 3 \times \left[F_{vento} \cdot \cos^2 \beta \cdot (S_1 + S_2) + F_{vento_d} \cdot \cos^2 \beta_d \cdot S_d + \left| 2 \cdot T_{seg} \cdot \sin \beta + T_{seg_d} \cdot \sin \beta_d \right| \right] \quad (3.29)$$

- Esforço no sentido normal à bissetriz do ângulo da linha principal, segundo eixo xx' .

$$F_x = 3 \cdot \left| T_{seg_d} \cdot \beta_d \right| \quad (3.30)$$

- Esforço vertical, segundo eixo zz' .

O esforço vertical pode ser calculado com recurso à expressão 3.26.

- **Hipótese 2:** Vento perpendicular à bissetriz do ângulo da linha principal.
 - Esforço no sentido da bissetriz do ângulo da linha principal, segundo eixo yy' .

$$F_y = 3 \cdot \left(\left| 2 \cdot T_{seg} \cdot \sin \beta + T_{seg_d} \cdot \sin \beta_d \right| \right) \quad (3.31)$$

- Esforço no sentido normal à bissetriz do ângulo da linha principal, segundo eixo xx' .

$$F_x = 3 \cdot \left[F_{vento} \cdot \sin^2 \beta \cdot (S_1 + S_2) + F_{vento_d} \cdot \sin^2 \beta_d \cdot S_d + |T_{seg_d} \cdot \cos \beta_d| \right] \quad (3.32)$$

- Esforço vertical, segundo eixo zz' .

Mais uma vez, o esforço vertical pode ser calculado com recurso à expressão 3.26.

É, para o cálculo dos esforços aplicados aos apoios de derivação em ângulo de betão, desnecessária a determinação das solicitações verticais [43].

Apoios de reforço em derivação (alinhamento)

Os apoios de reforço em derivação (alinhamento) podem ser, esquematicamente, representados pela figura 3.21. Relativamente à **hipótese 1**, todas as considerações são as mesmas que foram feitas para a situação dos apoios de derivação em ângulo, e as expressões a utilizar são a 3.24, 3.25 e 3.26.

- **Hipótese 2:** Não se considera acção do vento.
 - Esforço no sentido normal à linha principal, segundo eixo yy' .
O esforço F_y pode ser calculado com recurso à expressão 3.27.
 - Esforço no sentido da linha principal, segundo eixo xx' .

$$F_x = 2 \cdot T_{seg} + 3 \cdot |T_{seg_d} \cdot \cos \beta_d| \quad (3.33)$$

- Esforço vertical, segundo eixo zz' .

O esforço vertical pode ser calculado com recurso à expressão 3.26.

É, para o cálculo dos esforços aplicados aos apoios de derivação em ângulo de betão, desnecessária a determinação das solicitações verticais [43].

Apoios de reforço em derivação (ângulo)

Os apoios de reforço em derivação (ângulo) podem ser, esquematicamente, representados pela figura 3.22. Relativamente à **hipótese 1**, todas as considerações são as mesmas que foram feitas para a situação dos apoios de derivação em alinhamento, e as expressões a utilizar são a 3.29, 3.30 e 3.26.

- **Hipótese 2:** Não se considera acção do vento.

- Esforço no sentido da bissectriz do ângulo da linha principal, segundo eixo yy' .
O esforço F_y pode ser calculado com recurso à expressão 3.27.
- Esforço no sentido normal à bissectriz do ângulo da linha principal, segundo eixo xx' .
O esforço F_x pode ser calculado com recurso à expressão 3.27.
- Esforço vertical, segundo eixo zz' .
O esforço vertical pode ser calculado com recurso à expressão 3.26.

Novamente, é desnecessário o cálculo do esforço vertical em apoios de betão [43].

Apoios de fim de linha

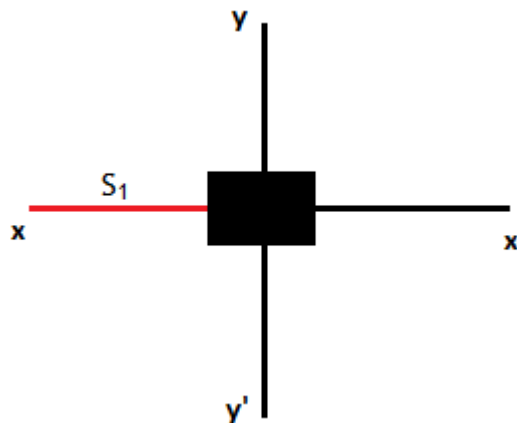


Figura 3.23 - Apoio de fim de linha.

- **Hipótese 1:** Vento actua perpendicularmente à linha
 - Esforço no sentido normal à linha, segundo eixo yy' .

$$F_y = 3 \cdot F_{vento} \cdot S_1 \quad (3.34)$$

- Esforço no sentido da linha, segundo eixo xx' .

$$F_x = 3 \cdot T_{seg} \quad (3.35)$$

- Esforço vertical, segundo eixo zz' .

$$F_z = 3 \cdot W' \cdot S_1 \quad (3.36)$$

O cálculo do esforço vertical, para apoios de fim de linha de betão, é desnecessário [43].

De notar que a exposição exaustiva de expressões que foi feita podia ainda continuar, dado que, num projecto de uma linha, é possível que num apoio se encontrem mais de três vãos. Assim, para a determinação, nesses casos, das solicitações aplicadas aos apoios, é possível consultar a referência [43], e encontrar as expressões gerais de aplicação.

Encontrados, para cada apoio, os valores das solicitações, é agora possível proceder à escolha dos mesmos. Mais uma vez, e devido à normalização dos materiais, a EDP Distribuição, S.A., não utiliza todos os modelos de apoios existentes para cada altura, sendo natural que, por vezes, se utilize um apoio que suporta solicitações mais elevadas que o necessário, pois esse não se encontra normalizado. Ainda assim, a escolha pode ser feita de duas formas. Alguns fabricantes de apoios distribuem diagramas de carga dos seus produtos, com as solicitações, por eixos, perfeitamente definidas. Com os valores atingidos pelas expressões respectivas, é possível, visualmente, analisar o diagrama de carga de um apoio e verificar se os esforços máximos que lhe permitem o equilíbrio não são ultrapassados pelos obtidos. Se assim for, garante-se que o apoio aguenta as solicitações e pode ser escolhido.

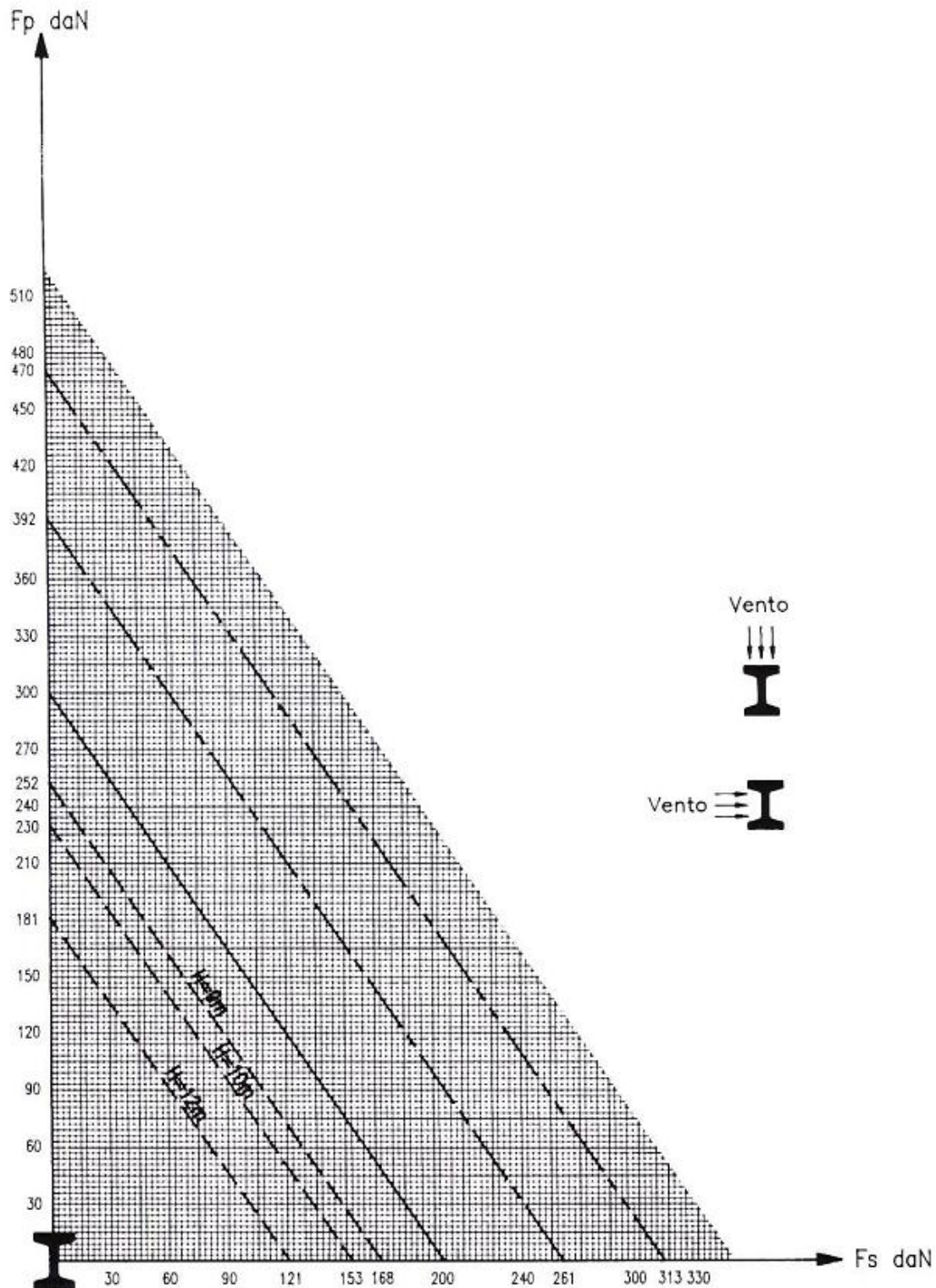


Figura 3.24 - Exemplo de diagrama de esforços suportados por um apoio de betão [44].

A outra forma é através de um pequeno cálculo matemático, e confirmação simultânea de duas condições. Essas são, para os apoios de betão:

- $$\frac{F_x}{F_{\text{máx_apoio_x}}} + \frac{F_y}{F_{\text{máx_apoio_y}}} \leq 1$$

- $F_z \leq F_{m\acute{a}x_apoio_z}$

onde $F_{m\acute{a}x_apoio_x}$ é a solicitação mecânica máxima, longitudinal à linha, suportada por um apoio, em daN, $F_{m\acute{a}x_apoio_y}$ é a solicitação mecânica máxima, transversal à linha, suportada por um apoio, em daN, e $F_{m\acute{a}x_apoio_z}$ é a solicitação mecânica máxima, vertical à linha, suportada por um apoio, em daN.

Relativamente aos apoios metálicos, é necessário que,

- $F_x + F_y \leq F_{m\acute{a}x_apoio_h}$
- $F_z \leq F_{m\acute{a}x_apoio_z}$

onde $F_{m\acute{a}x_apoio_h}$ é a solicitação mecânica máxima, no plano horizontal, suportada por um apoio, em daN.

A última consideração para a escolha, é que, para cada função do apoio, **todas** as hipóteses de cálculo têm de ser cumpridas por qualquer método utilizado, ou análise gráfica ou matemática.

3.7 - Dimensionamento de maciços (método de Sulzberger)

Os maciços de fundação dos apoios são essenciais para a fixação e estabilidade dos mesmos e, apesar de assumir um papel preponderante, o dimensionamento desses elementos torna-se uma tarefa bastante repetitiva que pode ser alvo de um tratamento normalizado.

Segundo as Recomendações para linhas aéreas de alta tensão, até 30 kV, o cálculo dos maciços deve ser feito com base no método de Sulzberger, também ele proposto pelo RSLEAT. As bases em que se suporta, são:

- O terreno onde está encastrado o maciço de fundação comporta-se elasticamente quando há pequenos deslocamentos do maciço, e a reacção do terreno é proporcional ao produto dos deslocamentos do maciço pelos módulos de elasticidade correspondentes. O coeficiente de compressibilidade do terreno, traduz o esforço necessário para enterrar 1 cm de uma placa com 1 cm² de superfície.
- 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. A resistência à compressão

do solo sob o maciço é pelo menos igual à das paredes verticais à mesma profundidade [43]⁹.

De notar que o dimensionamento dos maciços, segundo o método de Sulzberger, faz-se para construções sem cofragem e com enchimento total da cova aberta no solo, que assume uma forma paralelepipedica. A figura 3.25 ajuda na representação esquemática inicial para um maciço, onde h representa a altura, fora do solo, de um apoio, em m, h_0 a profundidade de enterramento, em m, F a resultante das forças aplicadas reduzida a 0,25 m do topo do apoio, em daN, a o comprimento do maciço e b a largura do mesmo, ambos em m. É ainda definido, segundo o RSLEAT, que a fundação pode rodar de um ângulo α tal que $\tan \alpha \leq 1$, ou seja, até 45°.

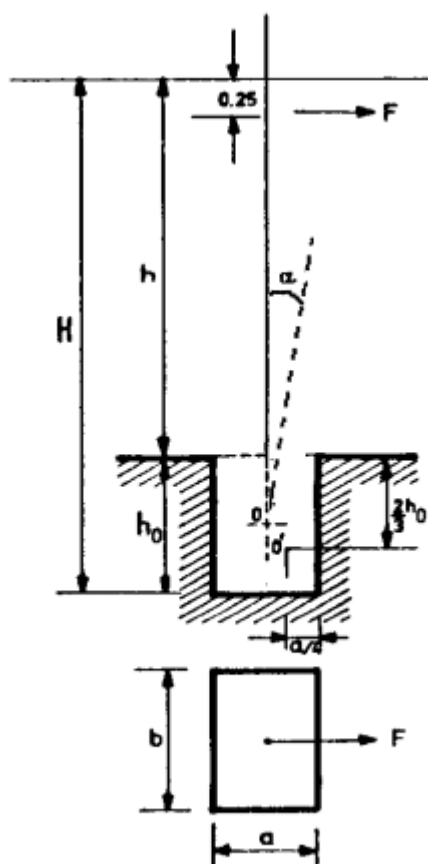


Figura 3.25 - Esquema auxiliar para dimensionamento de maciços segundo método de Sulzberger [43].

Garantindo que $\frac{H}{h_0} > 5$, é possível enunciar as principais expressões com as quais se pode proceder ao dimensionamento dos maciços. Assim, e sempre com base na figura 3.25, o momento derrubante M_d da força F em relação a um eixo de rotação situado em O' , é dado pela expressão 3.37.

⁹ Uma tabela com indicação dos valores habituais do coeficiente de compressibilidade, para diferentes tipos de solo, a 2 m de profundidade, pode encontrar-se no anexo A.

$$M_d = F \cdot \left(h - 0,25 + \frac{2}{3} \cdot h_o \right) , \quad (3.37)$$

onde M_d é o momento derrubante, em daN.m.

Já o momento estabilizante tem duas componentes principais, sendo uma das quais devida ao encastramento do maciço no solo, dada pela expressão 3.38.

$$M_{e1} = \frac{b \cdot h_o^3}{36} \cdot C_o \cdot \tan \alpha , \quad (3.38)$$

onde M_{e1} é a componente do momento estabilizante devida ao encastramento do maciço no solo, em daN.cm, e C_o é o valor do coeficiente de compressibilidade do terreno à profundidade h_o , dado pela expressão 3.39, em daN/cm³.

$$C_o = \frac{C_{2m}}{2} \cdot h_o , \quad (3.39)$$

onde C_{2m} representa o coeficiente de compressibilidade à profundidade de 2 m, em daN/cm³.

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

$$M_{e2} = P_t \cdot \left(\frac{a}{2} - 0,47 \cdot \sqrt{\frac{P_t}{b \cdot C_o \cdot \tan \alpha}} \right) , \quad (3.40)$$

onde M_{e2} é a componente do momento estabilizante devida à reacção do terreno, em daN.cm, e P_t é o peso total do apoio e do maciço, em daN, dado pela expressão 3.41.

$$P_t = P_{ep} \cdot \left(a \cdot b \cdot h_o - \frac{P_{pe}}{2500} \right) , \quad (3.41)$$

onde P_{ep} é o peso específico do material do apoio, em daN/m, e P_{pe} é o peso da parte enterrada do apoio, em daN.

Quando as fundações são relativamente profundas, o efeito do encastramento é preponderante, sendo M_{e1} a componente que define o momento estabilizante. Pelo contrário, quando se trata de fundações pouco fundas, é M_{e2} que domina. Como a inclinação do apoio deixa de estar limitada a partir de $\tan \alpha \leq 0,01$, deve ser adoptado um coeficiente de segurança de 1,5 sempre que o momento derrubante ultrapassar o estabilizante. Por outro lado, é esse valor que deve ser multiplicado pelo momento derrubante quando M_{e1} for desprezável, comparativamente a M_{e2} [43].

3.8 - Cálculo eléctrico dos condutores

Os objectivos do cálculo eléctrico dos condutores são, por um lado, definir a tensão nominal de uma linha de transmissão de energia eléctrica, e por outro encontrar a secção

transversal dos condutores que a constituem de forma a não exceder as intensidades máximas admissíveis, intensidades de corrente de curto-circuito máximas admissíveis, quedas de tensão e perdas de energia [35].

Definição da tensão nominal da linha

Em Portugal, os valores nominais das tensões a adoptar para o transporte e distribuição de energia eléctrica encontram-se já definidos pelo artigo nº 83 do DL 43335, de 19 de Novembro de 1960, e são: 6.000 V, 15.000 V, 30.000 V, 60.000 V, 100.000 V, 150.000 V e 220.000 V [28].

Ainda assim, apesar da normalização dos valores, é interessante fazer algum estudo teórico para um caso onde seja necessária a utilização de uma outra tensão nominal. De facto, o aumento da tensão de transporte, para a mesma potência, garante a diminuição do peso e custo dos condutores. Por outro lado, é necessário um maior nível de isolamento, que faz aumentar novamente o custo global. A tensão de transporte mais económica pode ser calculada através de expressões baseadas na experiência garantida pelo projecto de um grande número de linhas, sendo uma delas, a equação de equilíbrio (expressão 3.42) de Still [42].

$$U_n = 5,5 \cdot \sqrt{\frac{L}{1,6} + \frac{3 \cdot P_n}{100}} , \quad (3.42)$$

onde L é o comprimento de uma linha aérea, em km, e P_n é a potência nominal de cada fase, em kW.

Secção dos condutores

A escolha da secção dos condutores é influenciada por diversos factores.

- **Efeito de coroa:** É necessário prevenir a existência deste fenómeno, pelo que a secção deve ser suficiente para o evitar. O efeito de coroa dá-se quando os condutores da linha eléctrica atingem um potencial suficientemente grande que ultrapassa a rigidez dieléctrica do ar, produzindo-se perdas de energia. No fundo, o ar passa a funcionar como condutor, permitindo a existência de uma corrente de fuga. A tensão para a qual começam as perdas através do ar denomina-se “tensão crítica disruptiva”, sendo que para o valor dela o fenómeno ainda não é visível. De facto, as perdas por efeito de coroa começam apenas a produzir-se quando a tensão crítica disruptiva é menor que a tensão da linha.

Na prática, apenas nas linhas com tensão nominal igual ou superior a 100 kV é possível que a tensão nominal da linha ultrapasse o valor da tensão crítica

disruptiva, pelo que, o cálculo dessa tensão, geralmente, só se efectua para tensões superiores a esse valor [45];

- **Perdas:** As perdas por efeito de Joule não devem ultrapassar um valor pré-determinado, pelo que a secção dos condutores deve ser escolhida tendo em atenção esse valor;
- **Queda de tensão:** As quedas de tensão máximas não devem ultrapassar os 10% de U_n , pelo que a secção deve ser escolhida para que ao longo da linha esse valor não seja ultrapassado;
- **Aquecimento:** A intensidade de corrente de serviço não deve produzir, nos condutores, um aquecimento tal que lhes faça perder as suas características e os leve à rotura precoce;
- **Materiais e constituição dos condutores:** Como está descrito no subcapítulo 3.2, secção relativa aos condutores, a sua constituição deve ser cobre, alumínio-aço ou até liga de alumínio [45];

Relativamente ao cálculo da secção mais económica dos condutores, não será abordada neste texto, sendo que, no entanto, pode ser obtida por aplicação da Lei de Kelvin para linhas curtas ou através do método de Frey quando se trata de linhas longas¹⁰ [35].

Determinação da intensidade de corrente de serviço

A expressão 3.43 permite o cálculo da intensidade de corrente de serviço numa linha aérea.

$$I_S = \frac{S_n}{\sqrt{3} \cdot U_C} , \quad (3.43)$$

onde I_S é a intensidade de corrente de serviço, em A, U_C é a tensão composta da linha, em kV, e S_n é a potência aparente da linha, em kVA.

Já a densidade de corrente ε , em A/mm², é determinada pela expressão 3.44.

$$\varepsilon = \frac{I_S}{S} , \quad (3.44)$$

Determinação das perdas de energia

As linhas são afectadas, em termos de perdas, pelo efeito de Joule. Para se proceder ao cálculo destas é necessário determinar a resistência eléctrica do condutor utilizado, dada pela expressão 3.45.

¹⁰ As linhas longas têm um comprimento superior a 100 km e tensão nominal igual ou superior a 100 kV. Já as linhas curtas têm uma tensão nominal inferior a esse valor, e o seu comprimento não ultrapassa os 100 km [45].

$$R = \rho \cdot \frac{L}{S}, \quad (3.45)$$

onde R é a resistência eléctrica, em Ω , e ρ é a resistividade, em $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$.

O valor da resistividade do condutor ρ é conhecido para uma temperatura de 20°C , assumindo os valores da tabela 3.6. Pode, dependendo do local de implantação da linha, ser necessário efectuar uma correcção ao valor da resistividade para a temperatura da zona. Com esse fim, utiliza-se a expressão 3.46,

$$\rho_\theta = \rho \cdot [1 + \beta \cdot (\theta - 20)] , \quad (3.46)$$

onde β é o coeficiente de termoresistividade do material condutor, a 20°C , em $^\circ\text{C}^{-1}$.

Recorde-se que também o valor de β depende do tipo de material do condutor utilizado, como se verifica na tabela 3.6.

Tabela 3.6 - Coeficientes de termoresistividade e valores de resistividade para condutores de cobre e alumínio

Material condutor	Coeficiente de termoresistividade β [$^\circ\text{C}^{-1}$]	Resistividade do condutor ρ [$\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{km}$]
Cobre	$3,95 \times 10^{-3}$	0,0175
Alumínio	$3,80 \times 10^{-3}$	0,0287

Torna-se, a este ponto, possível descobrir o valor das perdas de energia, em W, atendendo à expressão 3.47 [29, 45].

$$p = 3 \times R \times I_s^2 \quad (3.47)$$

Determinação da intensidade de corrente de curto-circuito máxima admissível

Para este cálculo admite-se, por um lado, que os efeitos ocorrem em pontos da rede afastados das centrais geradoras e por outro que a duração do curto-circuito é baixa [29]. Esta simplificação é admissível para linhas aéreas de distribuição com condutores de secções não muito elevadas, permitindo que se possa tomar o valor eficaz da corrente permanente de curto-circuito em vez do valor eficaz médio da corrente total de curto-circuito.

A expressão 3.48 permite o cálculo da intensidade de corrente de curto-circuito máxima admissível e pressupõe uma duração do curto-circuito baixa, de forma a que o aquecimento dos condutores seja adiabático, desprezando as variações, com a temperatura, do calor específico e da massa do material do condutor.

$$I_{cc}^{máx} = \frac{1}{K_1 \cdot K_2} \cdot \frac{S}{\sqrt{t}}, \quad (3.48)$$

onde $I_{cc}^{máx}$ é o valor eficaz máximo admissível da corrente permanente de curto-circuito, em kA, K_1 é a constante do material condutor, em $\text{mm}^2/\text{kA}\cdot\text{s}^{1/2}$, K_2 é a constante de temperatura, adimensional, e t é a duração do curto-circuito, em s.

Segundo [46], os valores a considerar para K_1 e K_2 estão apresentados na tabela 3.6.

Tabela 3.7 - Valores de K_1 e K_2 para aplicação na expressão 3.48.

Material do condutor	K_1	K_2
Cobre	4,419	1,685
Alumínio-aço	6,902	1,732
Ligas de alumínio	6,902	1,809

Coeficiente de auto-indução

A expressão que permite obter o coeficiente de auto-indução para um condutor de uma linha aérea é conhecida e dada por 3.49.

$$L' = \left[\frac{\mu}{2 \cdot n} + 4,6 \cdot \log \left(\frac{D}{r'} \right) \right] \times 10^{-4}, \quad (3.49)$$

onde L' é o coeficiente de auto-indução, em H/km, μ é a permeabilidade magnética, em H/m, n é o número de condutores por fase, D é a distância equivalente entre condutores, em mm, e r' é o raio fictício do condutor, em mm, dado pela expressão 3.50.

$$r' = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot R'^{n-1}}, \quad (3.50)$$

onde r é o raio do condutor, em mm, e R' é o raio de circunferência que passa pelos condutores constituintes de uma fase, em mm.

De notar que a distância equivalente entre condutores depende da disposição destes no apoio. Na realidade, quanto maior o afastamento, maior será o coeficiente de auto-indução [40].

Capacidade

A capacidade linear de um condutor de uma linha é a relação entre a carga capacitiva electrostática desse condutor, sobre um comprimento unitário e a diferença de potencial existente, em cada instante, entre o condutor e o seu invólucro¹¹, quando os condutores respectivos estão sujeitos a um sistema polifásico simétrico de diferenças de potencial em relação a esse invólucro [40]. Se a linha é simétrica, todos os condutores têm a mesma capacidade linear, valor comum esse assumido também pela linha.

Em linhas aéreas, a capacidade, por fase, em F/km, é dada pela expressão 3.51.

¹¹ Que, no caso das linhas aéreas, é a terra.

$$C = \frac{24,2}{\log\left(\frac{D}{r'}\right)} \times 10^{-9} \quad (3.51)$$

Reactância

A reactância de um condutor de uma linha aérea é dada pela expressão 3.52, que relaciona, no fundo, a frequência angular com o coeficiente de auto-indução do mesmo.

$$X = 2 \cdot \pi \cdot f' \cdot L', \quad (3.52)$$

onde X é a reactância, em Ω , e f' a frequência do sistema de tensões na rede, em Hz.

Condutância

A condutância de uma linha (g) não é mais que a condutância do meio dieléctrico que envolve os condutores. A expressão 3.53 assume, por fase, o seu valor.

$$g = \frac{p}{U_S} \times 10^{-3}, \quad (3.53)$$

onde g é a condutância específica, por fase, de uma linha, em Ω^{-1}/km , e U_S é a tensão eficaz simples, em kV.

A existência de uma corrente de perditância pode resultar, por exemplo, de depósitos salinos nos isoladores das linhas situadas à beira-mar, ou outros depósitos que tenham propriedades condutoras e que se alojem na superfície dos isoladores. Há também a hipótese de, devido ao efeito coroa, se formarem correntes de perditância. Porém, o seu valor é praticamente desprezável, dado que a tensão de serviço da linha já é escolhida de forma a minimizar as hipóteses de ocorrência desse mesmo efeito [45].

Susceptância

A susceptância de uma linha, ou seja, a parte imaginária da sua admitância, é dada pela expressão 3.54.

$$b = 2 \cdot \pi \cdot f' \cdot C, \quad (3.54)$$

onde b é a susceptância da linha, em S.

Determinação da queda de tensão ao longo da linha

Existem, neste ponto, todos os dados necessários para o cálculo da queda de tensão numa linha, dada pela expressão 3.55. Para linhas curtas, são ainda consideradas algumas simplificações:

- Admitância da linha nula;
- 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 na reactância indutiva provocada pela componente reactiva da mesma;
- Tensão no início da linha é a nominal [47].

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I_S \cdot (R \cdot \cos \varphi + X \cdot \sin \varphi) , \quad (3.55)$$

onde ΔU é a queda de tensão, em V, e φ é positivo para situações indutivas.

3.9 - Síntese

Relatados que estão todos os passos que permitem o projecto de linhas aéreas de média tensão, é tempo de fazer uma síntese dos mesmos. Assim, consegue-se, de uma forma sequencial, dar uma visão global das componentes do projecto, abordando os principais tópicos.

Trabalho prévio

- Estabelecimento do percurso da linha, tentando contornar as condicionantes iniciais;
- Reconhecimento do perfil sobreelevado do terreno e levantamento topográfico.

Cálculo mecânico

- Definição do valor da tensão máxima de tracção específica a aplicar a todos os vãos da linha;
- Cálculo dos coeficientes de sobrecarga e valor do vão crítico;
- Definição de dois valores de vão médio;
- Determinação da tensão de montagem, através da equação dos estados, e cálculo dos parâmetros das curvas associadas a cada vão médio;
- Marcação, no perfil sobreelevado, os locais de implantação dos apoios de ângulo e fim de linha;
- Cálculo das distâncias mínimas regulamentares, desenho das curvas representativas das catenárias e localização dos restantes apoios;
- Definição do tipo de fixação dos condutores;
- Cálculo dos vãos fictícios equivalentes de cada cantão, considerando vãos em patamar;
- Re-definição dos parâmetros das catenárias, para cada cantão;
- Esboço final das curvas representativas das catenárias;
- Cálculo das flechas ao longo da linha;

- Cálculo de linhas de fuga de isoladores, escolha de armações e verificação de distâncias mínimas regulamentares entre condutores;
- Cálculo dos esforços aplicados aos apoios, por efeito das tracções e peso dos cabos e força do vento sobre isoladores e condutores;
- Escolha dos apoios, segundo análise dos esforços aplicados, calculados no ponto anterior.

Cálculo eléctrico

- Definição da tensão nominal da linha;
- Escolha da secção mais económica para os condutores;
- Determinação da intensidade de corrente de serviço
- Cálculo das perdas de energia ao longo da linha;
- Determinação da intensidade de corrente de curto-circuito máxima admissível;
- Determinação do coeficiente de auto-indução, capacidade e reactância dos condutores;
- Cálculo da queda de tensão ao longo da linha.

Como se vai poder ver, com uma análise entre o capítulo 3 e os projectos de linhas de 15 kV executados no capítulo 4, os métodos descritos não são, na realidade, seguidos passo a passo. Isto acontece pois, como se trata de situações onde algumas das características já estão perfeitamente definidas e normalizadas, não é necessário, na maior parte das vezes, ter todo o trabalho de projectar a linha desde o início. Apesar disso, os algoritmos apresentados devem funcionar como salvaguarda e instrumento de projecto em circunstâncias especiais. São ainda uma ferramenta essencial à compreensão das variáveis em jogo e das suas interdepêndencias, fundamental para a aquisição da capacidade de percepção crítica do projectista.

Capítulo 4

Experiências de dimensionamento concluídas e contribuições

Neste capítulo serão apresentados todos os trabalhos, pelo autor executados, durante o período em que esteve inserido na empresa EDP Distribuição, S.A.. Todos eles reflectem o processo que é normalmente seguido, assim como todas as soluções atingidas foram da responsabilidade do autor.

Por forma a complementar o documento, podem ainda ser indicadas algumas obras como referência, que abordam o projecto prático tanto de redes eléctricas de MT como de BT, entre elas [48-51].

4.1 - Modificação da linha Rebordosa-Paredes II, com criação de ramal para PT em Mouriz (Escola)

4.1.1 - Motivação e justificação

O presente relato diz respeito a uma obra de modificação de uma rede eléctrica de Média Tensão (MT) situada na zona de Mouriz-Paredes, tendo em vista a alimentação de um novo PT designado de PT Mouriz (Escola). A linha a ser intervencionada é designada como LN Rebordosa-Paredes II, sendo que a modificação estava projectada entre os apoios nº 12 e 13 da mesma.

Os objectivos desta obra consistiam em:

- Derivar um novo ramal do apoio nº 13 para alimentação do PT Mouriz (Escola);
- Eliminar o troço de linha entre os apoios nº 12 e 13;
- Eliminar derivação entre o apoio nº12 da LN Rebordosa-Paredes II e o PT Município de Paredes, Nova Cidade Desportiva;
- Criação de duas saídas a cabo subterrâneo desde o PT Mouriz (Escola), uma para ligação ao apoio nº12 e outra ao PT Município de Paredes, Nova Cidade Desportiva.

Apesar desta modificação ser motivada pela construção de um novo Centro Escolar e pela consequente necessidade de reforço da potência da zona, era de bom senso aproveitar para melhorar a disposição da rede nas imediações, até porque também se encontra em construção um parque desportivo que, de futuro, será um forte centro de consumo de energia. A fiabilidade da rede aumenta significativamente quando é enterrada, visto que, por exemplo, não suporta directamente as descargas atmosféricas. Por outro lado, o comando da rede torna-se mais simples e menos dispendioso quando feito apenas por manobras de interruptores (ou outros dispositivos com características idênticas), do que quando é necessário executar trabalhos em tensão, nos apoios. Levando estes dois factos em consideração, explica-se então a ligação subterrânea entre o PT Mouriz (Escola) e o PT Município de Paredes, Nova Cidade Desportiva. Um requisito para esta intervenção é a abertura de uma vala entre os dois postos de transformação, e visto que um dos principais entraves ao estabelecimento de troços subterrâneos são os encargos financeiros com a abertura deste tipo de elementos, tornar-se-ia viável enterrar um outro cabo ligando o PT Mouriz (Escola) ao apoio nº12, com vista ao fecho do ramal de MT.

Assim, a rede ficaria novamente explorada em anel, sendo que a fiabilidade deste troço aumenta.

Estando a zona de trabalhos em desenvolvimento, é também de crer que no futuro sejam melhorados os acessos, o que vai certamente impulsionar o crescimento de novas infraestruturas. Como tal, eram ainda mais justificáveis as alterações propostas, visto que toda a rede aérea de MT na área em questão pode vir a sofrer novas modificações. Todas as propostas de alteração na rede se encontram esquematizadas nas figuras 4.1 e 4.2, correspondentes às perspectivas antes e após as intervenções na rede.

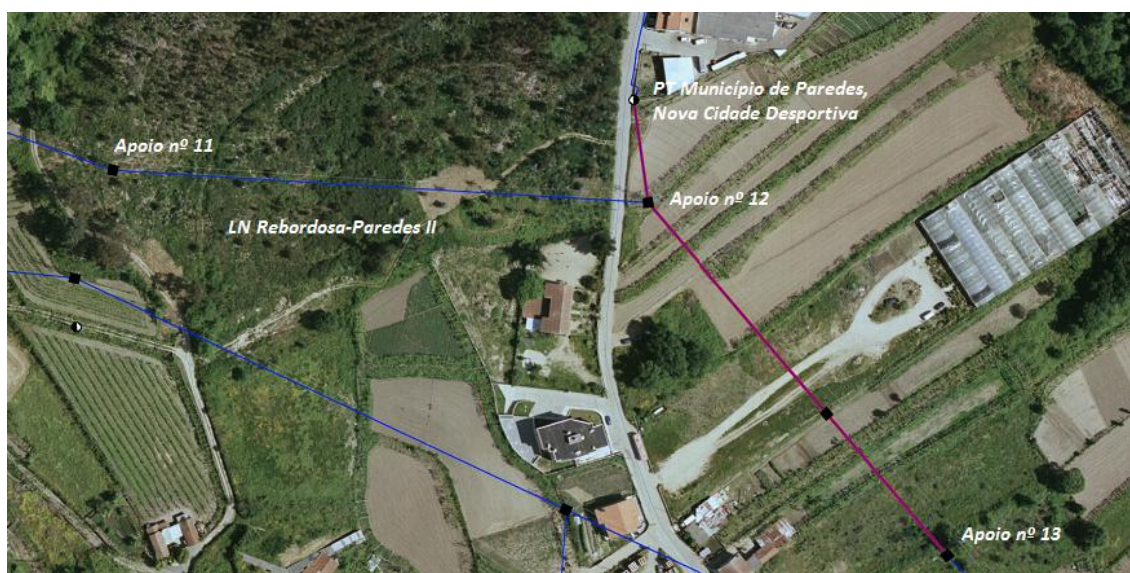


Figura 4.1 - Perspectiva da rede MT antes da intervenção (Fonte:SIT-DM)



Figura 4.2 - Perspectiva da rede MT após a intervenção (Fonte: SIT-DM)

4.1.2 - Condicionantes do projecto

Dadas as características técnicas e de localização associadas a esta modificação, os problemas existentes têm também origens diversas. O segundo vão (desde apoio nº1 até PT Mouriz (Escola)) do novo ramal vai ser construído longitudinalmente à vedação do centro escolar, pelo que surgiu logo um problema com as distâncias mínimas da linha ao solo. Ou seja, qualquer criança que faça uso da vedação para se elevar no terreno não pode nunca conseguir atingir a linha, o que exigiu a consideração da altura da vedação para além da distância mínima regulamentar ao solo.

Por outro lado, as linhas que se encontram no apoio nº1 do ramal para o PT Mouriz (Escola) são afectadas de um ângulo de aproximadamente 80 graus, o que no fundo leva a que os esforços sejam aplicados praticamente na mesma direcção. Também relacionado com a estabilidade dos apoios, teve-se em atenção que com a retirada de serviço do troço de linha entre os apoios nº 12 e 13, os esforços nestes aplicados são diferentes dos calculados no projecto da LN Rebordosa-Paredes II, pelo que se tornou necessário verificar se os mesmos aguentam com a nova carga mecânica.

Outra das particularidades deste projecto prendeu-se com a escolha da armação a utilizar no apoio nº 1, sendo que a amplitude do ângulo já referida pode ter grande influência no processo. Por fim, como se trata de um projecto onde é, à partida, difícil definir o tipo de

armação a utilizar, foi ainda necessário ter em conta a distância mínima entre os condutores que, dependendo das escolhas, podia ficar comprometida.

4.1.3 - Desenvolvimento do projecto e soluções

Antes de mais, foi necessário encontrar o processo relativo ao projecto da LN Rebordosa-Paredes II, constante no arquivo EDP, para assim verificar as características com que foi montada essa linha. Constatou-se que a referida é constituída por 3 condutores de Alumínio-aço de secção 160 mm^2 , tendo sido considerada uma tensão máxima de tracção de 8 daN/mm^2 .

Dimensionamento do ramal para PT Mouriz (Escola)

Tendo em atenção que a tensão máxima de tracção da linha antiga é de 8 daN/mm^2 e os apoios presentes foram dimensionados para tal valor, é facilmente compreensível que de forma a não ser necessário substituir o apoio nº 13 se deva procurar uma solução que mantenha o maior equilíbrio possível relativamente aos novos esforços aplicados. Assim, o primeiro passo foi definir que a tensão máxima de tracção a aplicar, pelo menos, ao primeiro vão do ramal, deveria manter-se nos 8 daN/mm^2 .¹²

Considerando também o conhecimento topográfico da zona, sabe-se que a altura acima do solo dos apoios não ultrapassará os 30 m, pelo que a pressão dinâmica do vento (em situação de vento máximo) tomou um valor de 750 Pa. Assim, e para definir os parâmetros das catenárias a utilizar, consultaram-se os valores da tensão de montagem para uma tensão máxima de tracção de 8 daN/mm^2 e escalão de vento 1.

Como o primeiro vão tem um comprimento de 78 m e o segundo de 52 m, as catenárias a utilizar foram as de parâmetros 700 e 600, respectivamente.

Antes de proceder ao esboço das curvas, atendeu-se às condicionantes do projecto relativamente a distâncias ao solo, que se apresentaram acima. Como se sabia que o segundo vão do ramal segue um percurso longitudinal a uma vedação, para além dos 7 m regulamentares adicionaram-se cerca de 2 m (tamanho possível da vedação), perfazendo assim uma distância mínima ao solo, em condições de flecha máxima, de 9 m.

Relativamente ao tipo de armação a utilizar, a linha vem até ao apoio nº 13 em galhardete, sendo que como no apoio nº1 existe um ângulo muito acentuado a melhor opção afigurava-se como uma armação em esteira vertical (VAN), de modo a minimizar a possibilidade dos condutores ficarem muito próximos do apoio. Já o apoio de fim de linha seria em esteira horizontal com amarração, como é prática corrente nestas situações.

Tendo todas as considerações efectuadas em mente, foi agora possível o esboço das catenárias, presente na figura 4.3.

¹² De notar que ao se considerar uma tensão máxima de tracção mais baixa, o apoio nº 13 ficará sujeito a um maior esforço do lado da linha principal. No fundo, o que acontece é que no vão onde maior for a tensão, maior será a força aplicada ao apoio nesse sentido.

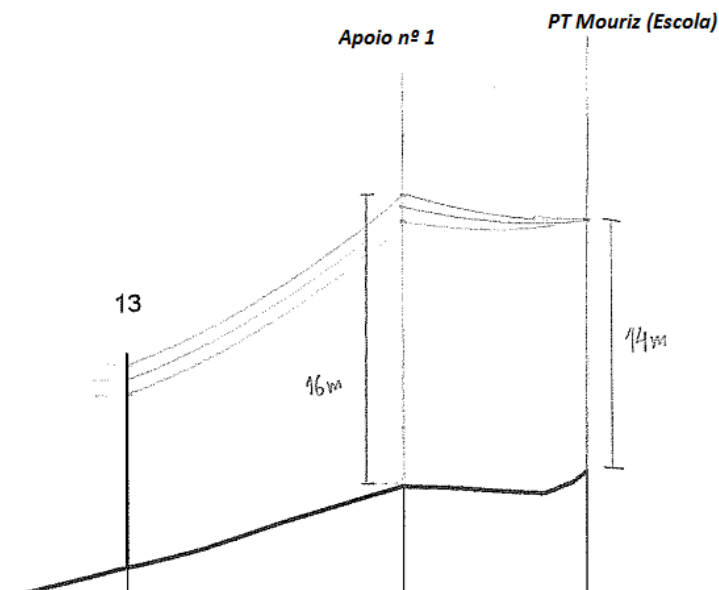


Figura 4.3 - Esboço de catenárias para ramal PT Mouriz (Escola)

A solução atingida passou por dois apoios de alturas totais¹³ 18 m (apoio nº 1) e 16 m (apoio de descida a cabo para PT Mouriz (Escola)). Na realidade, dois apoios de 16 m permitiriam o cumprimento das distâncias regulamentares, no entanto, para manter o vão entre o apoio nº 1 e o PT Mouriz (Escola) nivelado, optou-se por subir o apoio no qual a cota do terreno é mais baixa.

Para o cálculo dos esforços nos apoios, sabia-se que o apoio nº 1 é de ângulo e o seguinte de fim de linha. Aplicando-se as expressões matemáticas afectas a este tipo de aplicações, presentes no subcapítulo 3.6, atingiram-se os resultados presentes na tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Esforços aplicados nos apoios¹⁴

Apoio nº	Função	Hipótese 1			
		Esforços horizontais			Esforço vertical Fz (daN)
		Transversal Fy (daN)	Longitudinal Fx (daN)	Total (daN)	
1	Ângulo	4571	0	4571	107,84
2 (PT Mouriz Escola)	Fim de linha	68	3790	3858	43,13
12	Fim de linha	96	3790	3886	64,70
13	Ângulo	743	0	743	187,47

Tomando em atenção as diferentes disposições dos apoios de betão nos casos de ângulo ou de fim de linha, verificaram-se as curvas do fabricante para os esforços suportados

¹³ A altura dos apoios representados na figura 4.3 não é total, mas sim a altura fora do solo.

¹⁴ É desnecessário o cálculo da hipótese 2 para apoios de betão ou metálicos de base quadrada, para estas expressões.

correspondentes à disposição pretendida e altura do apoio. No caso, as soluções atingidas foram:

- Apoio nº 1 - K10/75-18m;
- Apoio nº 2 - K10/75-16m;
- Apoio nº 12 - K10/75-24m;
- Apoio nº 13 - RS15-13,7m.

Tendo-se tomado em conta todas as condicionantes apresentadas, foram atingidas as soluções que cumprem as normas regulamentares para o estudo desta modificação, pelo que se deu por concluído o processo de dimensionamento.

4.2 - Modificação da linha Baião-Amarante, com criação de ramal para PT em Lomba

4.2.1 - Motivação e justificação

Esta obra tratou de uma modificação na linha situada na zona de Lomba-Amarante, tendo como finalidade a alimentação de um novo PT para um condomínio fechado. A linha principal liga Baião a Amarante, estando a modificação prevista entre os apoios nº 11 e 12 da mesma.

Os objectivos eram:

- Criar um novo ramal entre os apoios nº11 e 12 da linha Baião-Amarante para alimentação do PT Lomba;
- Retirar os apoios nº 11 e 12 da linha Baião-Amarante;
- Modificação da fixação dos condutores no apoio nº 10, de isoladores rígidos para amarração.

Existem poucas considerações iniciais sobre este projecto. Ainda assim, apesar da motivação para o mesmo ser a construção de um condomínio fechado e a consequente necessidade da sua alimentação, deviam ser retirados os apoios nº 11 e 12 da linha principal, sendo que por um lado não faz sentido ter três apoios num tão curto espaço e por outro foi um modo de equilibrar as distâncias dos vãos na zona.

Ainda assim, o primeiro objectivo a ser cumprido foi a passagem da fixação dos condutores no apoio nº 10 de isoladores rígidos para amarração. Isto tornou-se imprescindível pois, para se executar o trabalho proposto, é necessário retirar de serviço um troço de linha, e, ao contrário dos isoladores rígidos, a fixação por amarração permite o “corte de arcos”¹⁵. De forma mais clara, uma fixação por isoladores rígidos não consente que de entre dois vãos adjacentes se tenha um em serviço e outro fora de tensão, pelo que com a passagem a amarração este torna-se um processo possível.

¹⁵ Esta expressão designa o procedimento de, em tensão, fazer cortes no arco que liga dois vãos quando a fixação no apoio é feita por amarração, eliminando assim a continuidade eléctrica entre eles.

Permitiu-se assim colocar fora de tensão o troço entre o apoio nº 10 e o mais próximo deste que também viabilizasse o “corte de arcos”, que no caso foi o apoio nº 15¹⁶. Por outro lado, este método evitou o corte na alimentação da LN Padronelo, que se faz através de uma derivação no apoio nº 10.

Todas as propostas de alteração na rede se encontram esquematizadas nas figuras 4.4 e 4.5, correspondentes às perspectivas antes e após as intervenções na rede.



Figura 4.4 - Perspectiva da rede MT antes da intervenção (Fonte:SIT-DM)

¹⁶ Apoio não presente nas figuras 4.4 e 4.5, mas que no entanto se encontra na direcção da numeração crescente dos apoios da LN Baião-Amarante.



Figura 4.5 - Perspectiva da rede MT após intervenção (Fonte:SIT-DM)

4.2.2 - Condicionantes do projecto

As principais considerações que foram tomadas em conta na realização deste projecto estão relacionadas com esforços que os apoios têm de suportar. Primeiro, foi necessário verificar se com a eliminação dos apoios nº 11 e 12 da linha Baião-Amarante a estabilidade dos apoios nº 10 e 13 não ficava comprometida. Por outro lado, o novo apoio a intercalar, com a identificação 11A, é de derivação (novo ramal para PT Lomba parte dele), pelo que também devia ser cuidada a verificação dos esforços nele aplicados.

Ao nível das alturas regulamentares a garantir, não existiam condicionantes especiais, sendo que a principal preocupação centrou-se na distância ao solo.

4.2.3 - Desenvolvimento do projecto e soluções

O primeiro passo a cumprir neste projecto foi o dimensionamento do ramal para o PT Lomba, sendo que dados daí resultantes eram necessários para definir qual o apoio a intercalar na linha Baião-Amarante.

Relativamente ao projecto de dimensionamento do novo apoio na linha principal, e tendo a informação relativa à linha em questão no arquivo EDP, constatou-se que a mesma é constituída por 3 condutores de alumínio-aço de 50 mm² montados a uma tensão máxima de tracção de 8 daN/mm². Sabia-se ainda que a porção de linha a modificar estava estabelecida em alinhamento, o que é um benefício tanto para a redução dos desequilíbrios mecânicos nos apoios como para a própria escolha de armações.

Dimensionamento do ramal MT para PT Lomba

A tensão máxima de tracção a adoptar para este dimensionamento foi 7 daN/mm^2 . O valor da pressão dinâmica do vento foi 750 Pa , pelo que como os comprimentos dos vãos constituintes são 60 m e 78 m (apoio 11A até apoio nº 1 e deste até apoio nº 2, respectivamente) as curvas necessárias para esboço das catenárias foram a 500 e 600. Apontando-se os pontos de distâncias mínimas ao solo do desenho foi possível traçar o esboço das catenárias.

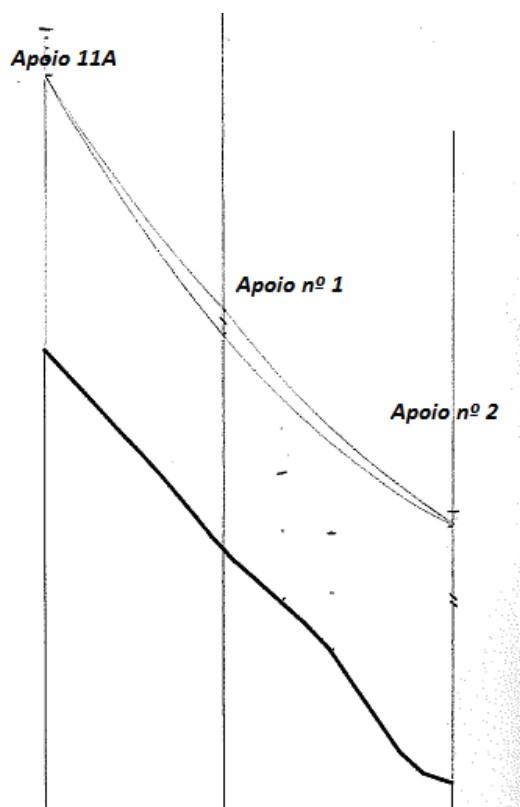


Figura 4.6 - Esboço de catenárias para ramal PT Lomba

Após o desenho, concluiu-se que as alturas mínimas dos apoios nº 1 e 2, de forma a que se cumprisse a distância regulamentar ao solo, eram respectivamente 18 m e 20 m . Já as armações escolhidas foram, na mesma ordem, uma em triângulo e outra em esteira horizontal, justificando-se a escolha da primeira por se tratar de um vão pequeno, garantindo-se assim uma melhor distância entre condutores, e da segunda à função de fim de linha do apoio.

Devido às características de ângulo e de fim de linha dos apoios nº 1 e 2, a condição de estabilidade assentou nas expressões do subcapítulo 3.6 correspondentes, conduzindo aos resultados da tabela 4.2.

Tabela 4.2 - Esforços aplicados nos apoios

		Hipótese 1			
		Esforços horizontais			Esforço vertical
Apoio nº	Função	Transversal Fy (daN)	Longitudinal Fx (daN)	Total (daN)	Fz (daN)
1	Ângulo	366	0	366	35,81
2	Fim de linha	68	1039	1107	20,24

Com a análise dos resultados da tabela 4.2, os apoios escolhidos foram:

- Apoio nº 1 - **MP01-800/320-18m**;
- Apoio nº 2 - **MM04-2250/740-20m**.

Com o conhecimento destes dados, é possível o dimensionamento do apoio a intercalar na linha principal, assim como a verificação da estabilidade dos apoios nº 10 e 13 com o novo perfil da linha.

Intercalação do novo apoio na linha Baião-Amarante

Visto que a tensão máxima de tracção a que a linha já estava sujeita é 8 daN/mm², faz sentido que este valor fosse adoptado para o dimensionamento do novo apoio, conseguindo assim manter-se algum equilíbrio na linha e nas solicitações mecânicas ao apoio. Por outro lado, a topografia da zona permitiu admitir que o apoio não seria elevado a mais de 30 m do solo, pelo que a pressão dinâmica do vento foi 750 Pa. Assim, estando a localização do apoio 11A perfeitamente definida pela ida do fiscal ao terreno, usaram-se os valores anteriores e o comprimento dos novos vãos para fixar os parâmetros das catenárias. Sendo que o comprimento do vão que liga o apoio nº 10 ao novo e deste ao nº 13 são, respectivamente, 101,63 m e 92,86 m, vem que o parâmetro a utilizar é o mesmo para ambos, o 700.

A cota mais elevada de terreno aparece no primeiro vão, sendo que, em princípio, seria este a definir a altura do novo apoio. Isto acontece pois, ao cumprir-se a distância mínima ao solo (7 m) no ponto mais alto do terreno, está a fazer-se o mesmo para pontos mais baixos.

Ao nível da armação a adoptar, a linha vem já desde o apoio nº 10 em galhardete, pelo que não existiu razão aparente para se trocar de disposição no novo apoio.

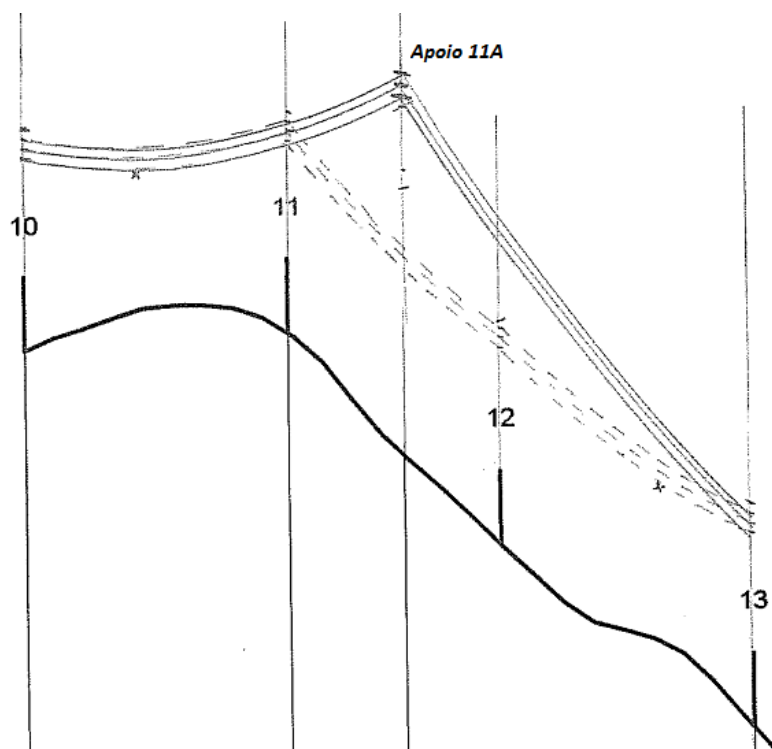


Figura 4.7 - Esboço de catenárias para intercalação de apoio 11A na linha Baião-Amarante (solução representada pela linha contínua, sendo que a tracejado estão as antigas catenárias).

Depois do esboço das curvas, determinou-se que a melhor solução passava por um apoio de 24 m, ficando a distância ao solo salvaguardada.

Relativamente à estabilidade dos apoios, este caso é particular visto que dois deles têm função de alinhamento com derivação (apoio nº 10 e 11A). Assim, foi necessária informação acerca das derivações presentes em cada um. Por outro lado, aqui a hipótese 2 teve de ser calculada para apoios tanto de betão como metálicos de base quadrada.

Sabia-se, por observação do processo correspondente, que o primeiro vão da derivação presente no apoio nº 10 tem um comprimento de 94 m e é constituído por três condutores de cobre com secção 16mm^2 , a uma tensão máxima de tracção de 8 daN/mm^2 . Por outro lado, através do dimensionamento do ramal para o PT Lomba definiu-se uma tensão de 7 daN/mm^2 para três condutores de alumínio-aço com 50 mm^2 de secção, com o primeiro vão a medir 60m.

Com esta informação e considerando as expressões do subcapítulo 3.6 afectas ao tipo de função dos apoios, atingiram-se os resultados presentes nas tabelas 4.3 e 4.4.

Tabela 4.3 - Esforços aplicados nos apoios, segundo hipótese 1

Apoio nº	Função	Hipótese 1			
		Esforços horizontais			Esforço vertical
		Transversal Fy (daN)	Longitudinal Fx (daN)	Total (daN)	Fz (daN)
10	Alinhamento c/ derivação	534	112	646	67,53
11A	Alinhamento com derivaç	1109	472	1581	65,91
13	Alinhamento	159	0	159	49,05

Tabela 4.4 - Esforços aplicados nos apoios, segundo hipótese 2

Apoio nº	Função	Hipótese 2			
		Esforços horizontais			Esforço vertical
		Transversal Fy (daN)	Longitudinal Fx (daN)	Total (daN)	Fz (daN)
10	Alinhamento c/ derivação	365	147	511	67,53
11A	Alinhamento c/ derivação	926	506	1432	65,91
13	Alinhamento	0	27	27	49,05

Analisando agora as curvas relativas aos esforços suportados pelos apoios, verificou-se se os apoios nº 10 e 13 continuavam a aguentar as novas solicitações e encontrou-se um que pudesse ser intercalado na linha (11A) cumprindo tanto a hipótese 1 como a hipótese 2.

As designações que os apoios nº 10 e 13 têm no processo da linha Baião-Amarante estão já descontinuadas, sendo que, no entanto, se tratam de apoios RII e Elástico, respectivamente. Assim, não existindo informação disponível sobre as solicitações suportadas por esses apoios, verificou-se para o apoio nº 10 que as alterações efectuadas nesta modificação só melhoram a sua resposta aos esforços, dado que os vãos se encontram agora mais equilibrados e, portanto, se o apoio já suportava os esforços antigos também suportará os novos. Relativamente ao apoio nº 13 a situação é a mesma, dado que com a intercalação de 11A o equilíbrio dos vãos foi também melhorado.

A escolha do apoio 11A é finalmente possível, levando os valores calculados nas tabelas 4.3 e 4.4 a um:

- Apoio 11A - **MM08-3500/1260-24m.**

A verificação das distâncias mínimas entre condutores não foi aqui necessária visto que a fixação destes é em galhardete em todos os apoios, o que implica um afastamento constante ao longo da linha.

4.3 - Criação de ramal para PT Vila Caiz-Francos, nº366/AMT

4.3.1 - Motivação e justificação

Esta obra teve lugar na zona de Vila Caiz, Amarante, e tratou da criação de um ramal MT para alimentação do posto de transformação Vila Caiz-Francos nº366/AMT. Com o projecto de novas habitações para a zona foi necessário o reforço da potência, sendo esta a motivação para a construção do novo ramal. Os objectivos eram:

- Derivar, da LN Vila Caiz-Batalha nº 41/AMT, um ramal para alimentação do PT Al Vila Caiz-Francos nº366/AMT.



Figura 4.8 - Perspectiva da rede MT após intervenção (Fonte:SIT-DM)

4.3.2 - Condicionantes do projecto

Este projecto apresentava poucas condicionantes, mas que, no entanto, requeriam toda a atenção. O apoio de onde vai surgir o novo ramal já tem associada uma derivação, sendo que foi necessário verificar com cuidado se a estabilidade do mesmo não fica comprometida. Por outro lado, a nova linha aérea tem por baixo uma estrada municipal, sendo que foi também necessário cumprir a distância regulamentar à mesma.

4.3.3 - Desenvolvimento do projecto e soluções

Como o ramal a projectar vai alimentar um PT AI, a primeira solução atingida é definida pela EDP distribuição, que determina que o apoio associado a todos os PT's aéreos com interruptor ou seccionador é um **TP4-14m**, sendo a armação do tipo HTP4 e a fixação dos condutores em amarração reforçada.

Dimensionamento do ramal para PT Vila Caiz-Francos nº366/AMT

A ideia inicial para este projecto seria de projectar um ramal constituído apenas por um vão que ligaria o apoio nº 32 da linha principal ao PT Vila Caiz-Francos. No entanto, os esforços que seriam aplicados pela derivação no apoio nº 32 podiam levar a que este tivesse de ser substituído, não sendo esta uma possibilidade se existir outra solução. Assim, a solução passou pelo dimensionamento de um apoio próximo do nº 32 que permite deslocar os esforços para si em detrimento de os aplicar na linha principal, ficando o novo ramal com dois vãos.

Verificado no terreno que é possível colocar o apoio nº 1 a 11 m do nº 32 da linha principal, concluiu-se que a contribuição deste primeiro vão para o dimensionamento é praticamente desprezável, sendo que para os cálculos dos esforços aplicados se vai considerar que o apoio nº 1 tem função de fim de linha.

O ramal foi estabelecido com três condutores de alumínio-aço com secção 50 mm^2 , a uma tensão máxima de tracção de 8 daN/mm^2 . Este valor apareceu considerando que, como se ia fazer uma travessia de estrada, a distância mínima regulamentar são 7 m e convém diminuir à flecha máxima dos condutores. Tomando a pressão dinâmica do vento um valor de 750 Pa e sendo o comprimento do segundo vão do ramal 60 m, o parâmetro da catenária para este dimensionamento foi o 600.

Pode, antes de se esboçar as catenárias, definir-se a armação do apoio como uma esteira horizontal (HRFSC), já que é a solução padrão para funções de fim de linha. Como tanto a derivação do apoio nº 32 como a armação do PT AI são em esteira horizontal, esta solução permitiu ainda que não existissem problemas com o cumprimento das distâncias mínimas regulamentares entre condutores, não sendo assim necessária a sua verificação.

Relativamente ao primeiro vão do ramal, dado o pequeno comprimento, definiu-se uma tensão máxima de tracção de 2 daN/mm^2 , que levou ao desenho de uma curva sem grandes preocupações técnicas, como já foi explicado.

Analisando o esboço presente na figura 4.9, que cumpre todas as condicionantes relativas a distâncias ao solo e estradas (tendo ainda alguma folga), chegou-se à conclusão que um apoio de 18 m é o indicado para a função pretendida. Já ao nível dos esforços aplicados, a utilização das expressões relativas à função de fim de linha resultou nos valores apresentados na tabela 4.5.

32

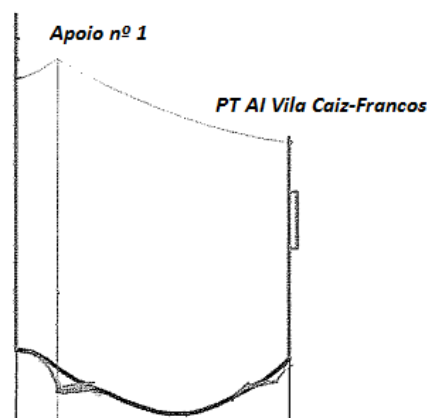


Figura 4.9 - Esboço de catenárias para ramal PT Al Vila Caiz-Francos

Tabela 4.5 - Esforços aplicados nos apoios, segundo hipótese 1

Apoio nº	Função	Hipótese 1			
		Esforços horizontais			Esforço vertical
		Transversal Fy (daN)	Longitudinal Fx (daN)	Total (daN)	Fz (daN)
1	Fim de linha	55	1188	1242	15,57

Assim, a solução encontrada tendo como base os esforços atingidos foi:

- Apoio nº 1 - **MM04-2250/740-18m**;
- PT Al - **TP4-14m**.

Relativamente à estabilidade do apoio nº 32 da linha principal, que tem a denominação de **RS15-19,4m**, pode afirmar-se que o efeito de um vão tão curto como o primeiro do novo ramal não é significativo, ainda para mais depois de o primeiro apoio desse ramal ser dimensionado com função de fim de linha. Assim, determinou-se que se o apoio já existente assegurava as condições de funcionamento e segurança da linha, o que também acontece com esta alteração.

4.4 - Modificação do ramal de alimentação do PT Mouriz-Zé do Telhado

4.4.1 - Motivação e justificação

Este projecto está relacionado com uma infraestrutura na freguesia de Mouriz. concelho de Paredes, sendo que a linha onde se processaram as alterações é o ramal de alimentação do PT Mouriz-Zé do Telhado. Foi pedida a intervenção nessa porção de rede devido à existência

de um apoio no local onde se pretendiam executar obras de ampliação e alteração da fachada de um Hotel. Os objectivos eram:

- Alterar a localização do apoio nº 2 do ramal de alimentação do PT Mouriz-Zé do Telhado;
- Intercalar, entre os apoios nº 1 e 2 um novo apoio 2A.

No terreno, foi verificado pelo fiscal da obra que o apoio nº 2 podia, na mesma direcção, ser deslocado para uma posição a cerca de 50 m da antiga, tendo-se executado o projecto com base neste pressuposto.

Como, com a deslocalização do apoio nº 2, o vão entre este e o apoio nº 1 ia aumentar, tornou-se necessária a intercalação, entre eles, de um novo apoio 2A. Isto permitiu eliminar um vão muito comprido, que iria causar problemas relacionados com o cumprimento das distâncias mínimas regulamentares aos diferentes obstáculos ou ao solo.



Figura 4.10 - Perspectiva da rede MT antes da intervenção (Fonte:SIT-DM).



Figura 4.11 - Perspectiva da rede MT após intervenção (Fonte:SIT-DM).

4.4.2 - Condicionantes do projecto

A zona onde decorreram as obras apresentava algumas condições a que foi necessário prestar toda a atenção. Por um lado, mesmo junto ao PT, existe uma linha aérea de distribuição em BT, pelo que se afigurava necessária uma grande inclinação do vão MT nesse ponto, de forma a cumprir as distâncias regulamentares. Além disso, entre os apoios nº 2 e nº 1, existia uma porção de terreno que ia ser aterrado, para assim se obter mais espaço para as modificações pretendidas pelo proprietário do Hotel. Esta situação levou a uma preocupante subida na cota do terreno, diminuindo assim a altura entre este e o vão existente. Foi necessário ter atenção à distância mínima regulamentar nesse ponto, principalmente para o estabelecimento do novo vão compreendido entre os apoios 2A e nº 2.

4.4.3 - Desenvolvimento do projecto e soluções

O primeiro passo para o desenvolvimento deste projecto foi a consulta, nos arquivos EDP, do processo relativo à LN Mouriz-Zé do Telhado. Soube-se então que a linha era constituída por três condutores de alumínio-aço, de secção 50 mm^2 , estabelecida a uma tensão máxima de tracção de 10 daN/mm^2 . Conhecendo já o novo local onde era possível estabelecer os apoios nº 2 e 2A, ficou-se com a informação que ambos suportavam vãos ligeiramente em ângulo.

Visto que as antigas catenárias já estavam estabelecidas a 10 daN/mm^2 , este foi o primeiro dado definido para o novo dimensionamento, mantendo-se nesse mesmo valor.

Assim, procedeu-se a uma minimização das diferenças do antigo projecto para este, com efeitos reais na manutenção dos esforços aplicados em valores próximos dos presentes na linha anterior. Considerando que os apoios nesta zona só muito dificilmente subiriam acima dos 30 m fora do solo, tomou a pressão dinâmica do vento o valor 750 Pa; atendendo que as distâncias dos três vãos entre o PT Mouriz-Zé do Telhado e o apoio nº 1 do mesmo ramal eram, respectivamente, 57, 127 e 218 m, verificou-se que as catenárias a utilizar seriam para o primeiro caso a 700 e para os restantes 900.

Ao nível das armações a utilizar, e como se trata de uma linha não muito extensa, escolheu-se, para ambos os apoios, uma disposição triangular para vãos em ângulo (TAN), com as vantagens já demonstradas no subcapítulo 3.2.

Tendo em atenção as condicionantes já apresentadas do projecto, considerou-se uma estimativa do aumento da cota do terreno na zona que ia ser aterrada, podendo assinalar-se na planta a distância mínima a cumprir a esse ponto. Também este processo foi feito para distâncias da linha MT à linha BT e aos postes de telecomunicações. O esboço das catenárias para o dimensionamento do ramal de alimentação do PT Mouriz-Zé do Telhado encontra-se na figura 4.12.

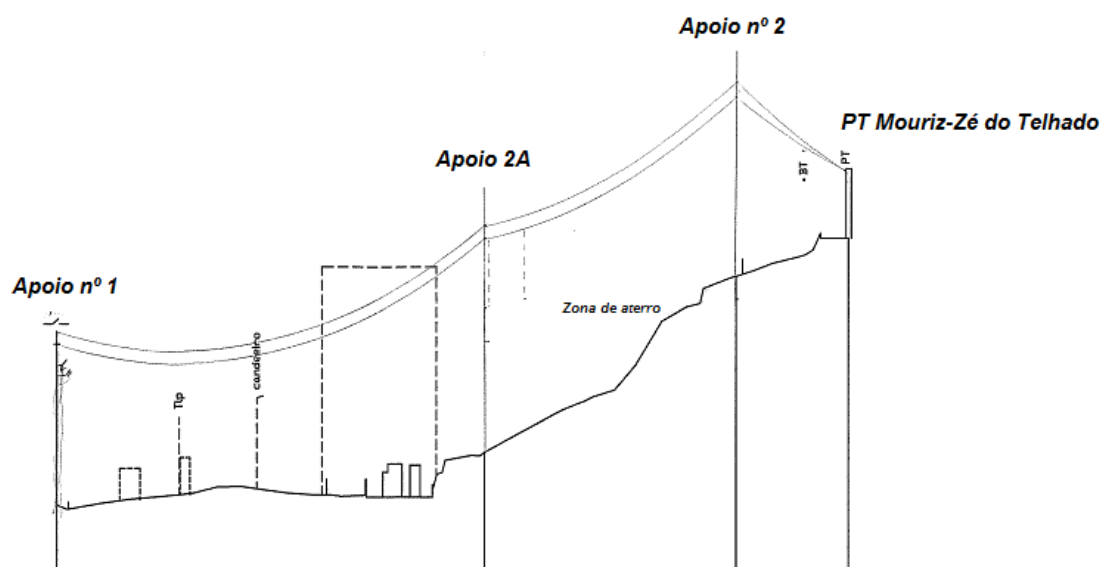


Figura 4.12 - Esboço de catenárias para ramal PT Mouriz-Zé do Telhado.

Como, apesar de se ter feito uma estimativa, não existiam dados concretos de como ficaria o terreno depois do aterro, decidiu-se dar alguma folga na distância mínima à catenária, no vão entre o apoio nº 2 e 2A. Para além disso, na figura 4.12, a linha passa, aparentemente, por cima de um edifício. Na realidade isso não acontece, sendo que a linha passa, suficientemente afastada, nas traseiras do mesmo, não constituindo problema para o cumprimento de distâncias laterais.

Por análise do esboço das catenárias, chegou-se à conclusão que as alturas dos apoios a dimensionar seriam de 22 m para o nº 2 e de 26 para o 2A.

Ao nível dos esforços aplicados aos apoios, a utilização das respectivas expressões para vãos adjacentes em ângulo resultou nos valores da tabela 4.6.

Tabela 4.6 - Esforços aplicados nos apoios, segundo hipótese 1

Apoio nº	Função	Hipótese 1			
		Esforços horizontais			Esforço vertical
		Transversal Fy (daN)	Longitudinal Fx (daN)	Total (daN)	Fz (daN)
2	Ângulo	480	0	480	48,01
2A	Ângulo	480	0	480	89,79

Analisando os resultados da tabela 4.6 e as curvas dos fabricantes para os esforços suportados pelos apoios, as soluções atingidas foram:

- Apoio nº 2 - **MP01-800/320-22m**;
- Apoio 2A - **MP02-1200/410-26m**¹⁷.

4.5 - Análise a rede BT em Aguiar de Sousa-Paredes

4.5.1 - Contextualização

A exploração e manutenção de redes BT é uma das actividades desenvolvidas pelas Áreas Operacionais da EDP Distribuição, S.A.. Na realidade, a exploração de uma rede BT contempla todas as análises, estudos, decisões e medidas implementadas que sirvam para elevar a qualidade de serviço com que a energia é fornecida. Como é óbvio, quando se estabelece uma rede eléctrica, não se espera que a mesma se mantenha inalterável, caso contrário não faria sentido o termo “exploração de rede”. De facto, e sendo que devido a diversos factores socio-económicos as redes BT estão constantemente sob alvo de modificações, os estudos técnicos executados têm como objectivo suprir, a curto, médio e longo prazo, as necessidades emergentes.

Existem três origens para as acções de manutenção de uma rede BT: os pedidos de viabilidade, as reclamações por parte dos clientes e as propostas de melhoria das condições técnicas da rede. Os pedidos de viabilidade, também conhecidos por PVA, são processos cujo aparecimento está relacionado com a necessidade de se alimentar uma nova carga em determinada zona (por exemplo, um proprietário emite um PVA se tiver uma infra-estrutura licenciada a ser construída e esta necessitar de um novo ramal de alimentação). Por outro

¹⁷ Apesar de, pela apreciação da tabela 4.6, os valores dos esforços horizontais serem os mesmos para ambos os apoios, a solução atingida é diferente. Isto acontece devido à normalização que é feita pela EDP Distribuição. Para apoios de 26m (apoio 2A), a solução normalizada mais baixa que garante a estabilidade dos mesmos é a apresentada.

lado existem as reclamações por parte dos clientes, que estão normalmente associadas a tensões baixas ou outras questões da qualidade de serviço prestada, sendo esta uma situação que tem origem, a maior parte das vezes, em redes já muito extensas.

De certa forma relacionada com esta última questão, aparecem, por iniciativa e investimento da própria empresa, as acções tomadas com objectivo de melhorar as condições técnicas da rede, um pouco por previsão do que a zona a intervir se pode tornar em termos de encargo energético e já para evitar problemas de qualidade e serviço futuros [52].

Os estudos e análises às redes de BT são, na EDP Distribuição, S.A., executados com recurso a duas ferramentas informáticas: o software Dplan e a ferramenta de cálculo REBATE. O primeiro é um programa computacional que permite a inserção dos elementos da rede, desde todas as canalizações que dela fazem parte, comprimentos das mesmas até aos ramais e potência a eles associada. Após esta etapa, o REBATE, que não é mais que uma folha de cálculo construída em Microsoft® Office Excel, faz a análise da rede introduzida em Dplan e indica um resumo da mesma, contemplando informação sobre quedas de tensão ou até sobre o cumprimento das intensidades máximas admissíveis em cada canalização.

O processo relativo à análise de uma rede BT pode então ter início numa das três formas já apresentadas. Posto isto, procede-se à recolha de dados da rede a analisar, começando-se por, no terreno, identificar qual o PT a si associado. A partir desse ponto de origem, segue-se o circuito para o qual se querem tirar conclusões, e apontam-se todos os dados associados, como o tipo de canalização (ou tipos, se houver mais que um dentro do mesmo circuito), distâncias dos vãos¹⁸, cargas (potência dos ramais) e até caixas de seccionamento.

Depois do levantamento dos elementos necessários, faz-se a sua introdução em Dplan, a partir do qual a folha de excel REBATE vai tirar as informações relevantes para poder executar a análise da rede em questão.

Analisados os dados obtidos pelo REBATE, são tiradas conclusões acerca de como se vai actuar na rede tendo em vista o melhoramento das condições, dependentes do assunto que determinou a necessidade do estudo.

4.5.2 - Motivação e justificação

A análise, que nesta secção se descreve, está associada a uma rede de BT na freguesia de Aguiar de Sousa, concelho de Paredes. Trata-se de um pedido de viabilidade, provocado pela necessidade de um proprietário alimentar, com uma potência aparente de 48,30 kVA, uma instalação já licenciada, que no entanto ainda vai ser construída. A rede de BT mais próxima da localização dessa infra-estrutura é perfeitamente conhecida, tendo o circuito correspondente origem no PT nº 360/PRD.

¹⁸ Isto no caso de redes aéreas. No entanto, o processo é o mesmo para redes subterrâneas.

Na figura 4.13 apresenta-se claramente a localização do pedido de viabilidade, assim como o PT nº 360/PRD, que comporta a saída em BT que alimenta electricamente toda a zona identificada.

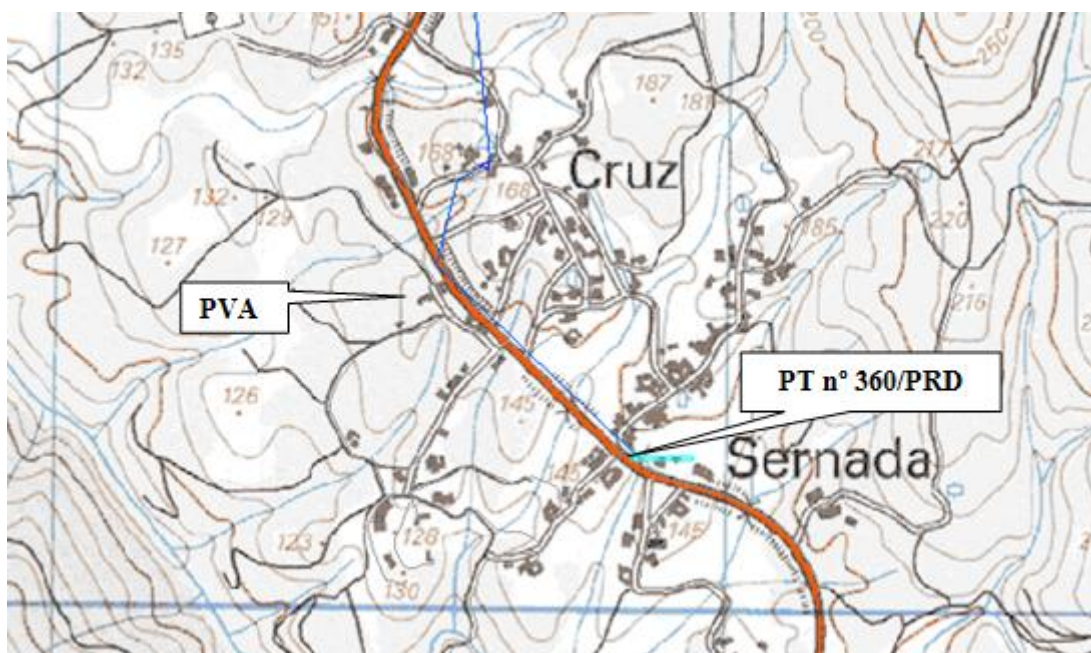


Figura 4.13 - Mapa identificativo da zona da análise à rede BT

4.5.3 - Desenvolvimento da análise e soluções

O primeiro passo tomado para o desenvolvimento do estudo em questão foi fazer uma visita ao local, para se identificar o posto de transformação cuja saída se encontrava sob pedido de viabilidade e ser feito todo o levantamento da rede a si associada.

Tratando-se de uma rede em BT aérea, percorreu-se toda a extensão da saída do PT nº 360/PRD em estudo, anotando as distâncias dos vãos, os tipos de canalizações envolvidas e as potências associadas a cada ramal existente.

Já com todos os dados necessários, utilizou-se o programa DPlan para a sua inserção, ficando a rede com o aspecto apresentado na figura 4.14. De notar que, apesar de não ser visível na figura mencionada, também são introduzidos no programa os restantes dados.

O passo seguinte foi, aproveitando as potencialidades do DPlan, extrair a folha de cálculo REBATE, para assim tirar conclusões acerca da situação actual da saída em estudo, com particular relevância para a queda de tensão ao longo da mesma.

Como se pode observar pela tabela 4.7, mesmo com a disposição actual da rede, a queda de tensão ascende a uma percentagem de 7,77 %, já muito próxima do máximo regulamentar, 8 %. Podia, desde já, especular-se, com alguma certeza, que dada a carga a alimentar pelo

pedido de viabilidade, a queda de tensão ao longo do circuito em estudo, com inserção dessa potência, iria ultrapassar o valor máximo regulamentar¹⁹.

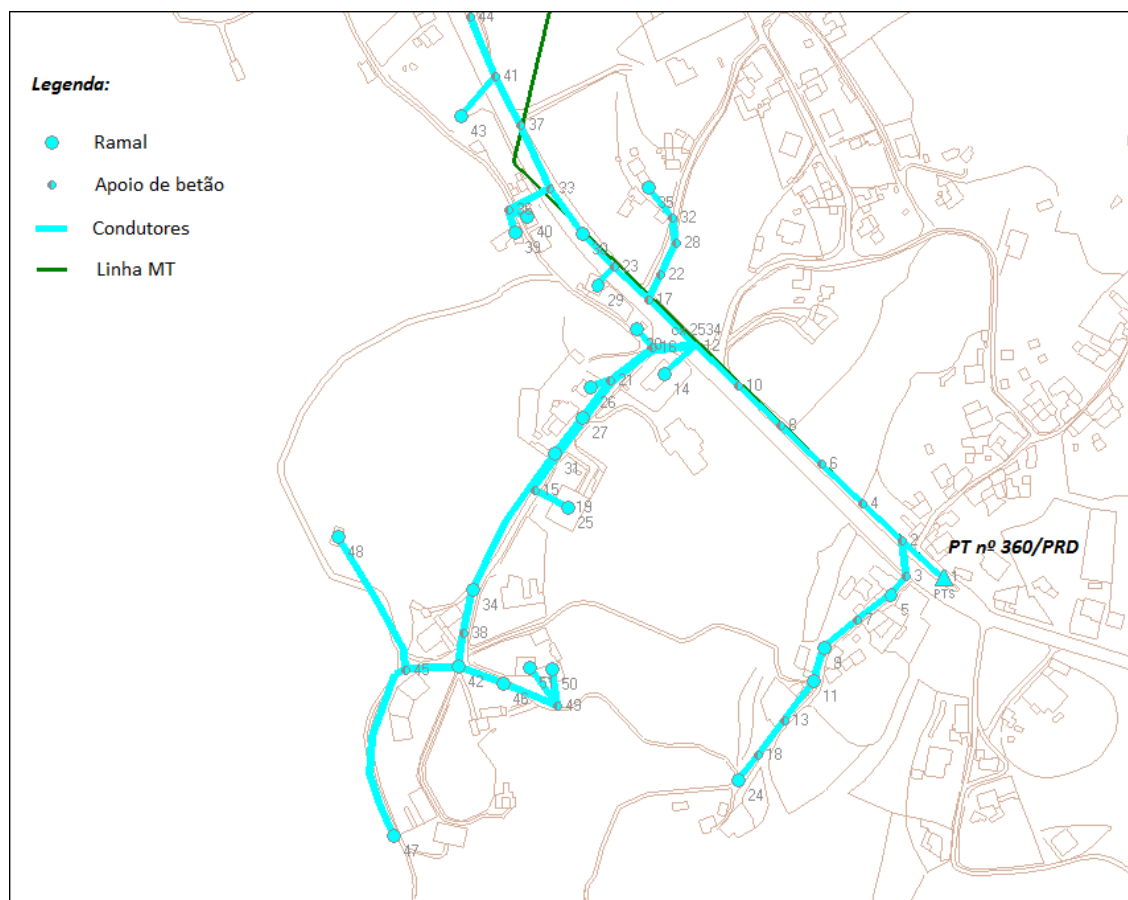


Figura 4.14 - Pormenor da saída do PT nº 360/PRD em DPlan.

Tabela 4.7 - Dados obtidos pelo REBATE para análise da rede.

Ponta na saída (BT)	40,50 kW
Queda de tensão máxima (BT)	7,77 %
Potência de Perdas (BT)	2,52 kW
Energia Anual de Perdas (BT)	1,59 MWh

Simulou-se, ainda assim, a inserção do pedido de viabilidade no circuito em estudo, como se apresenta na figura 4.15. Como era de esperar, a queda de tensão aumentou drasticamente, atingindo uma percentagem in comportável de 11,16 %, descrita na tabela 4.8.

¹⁹ No apêndice B apresentam-se, de forma mais pormenorizada, tabelas com o resumo das cargas alimentadas pelo circuito em estudo, assim como o trânsito de potência na rede.

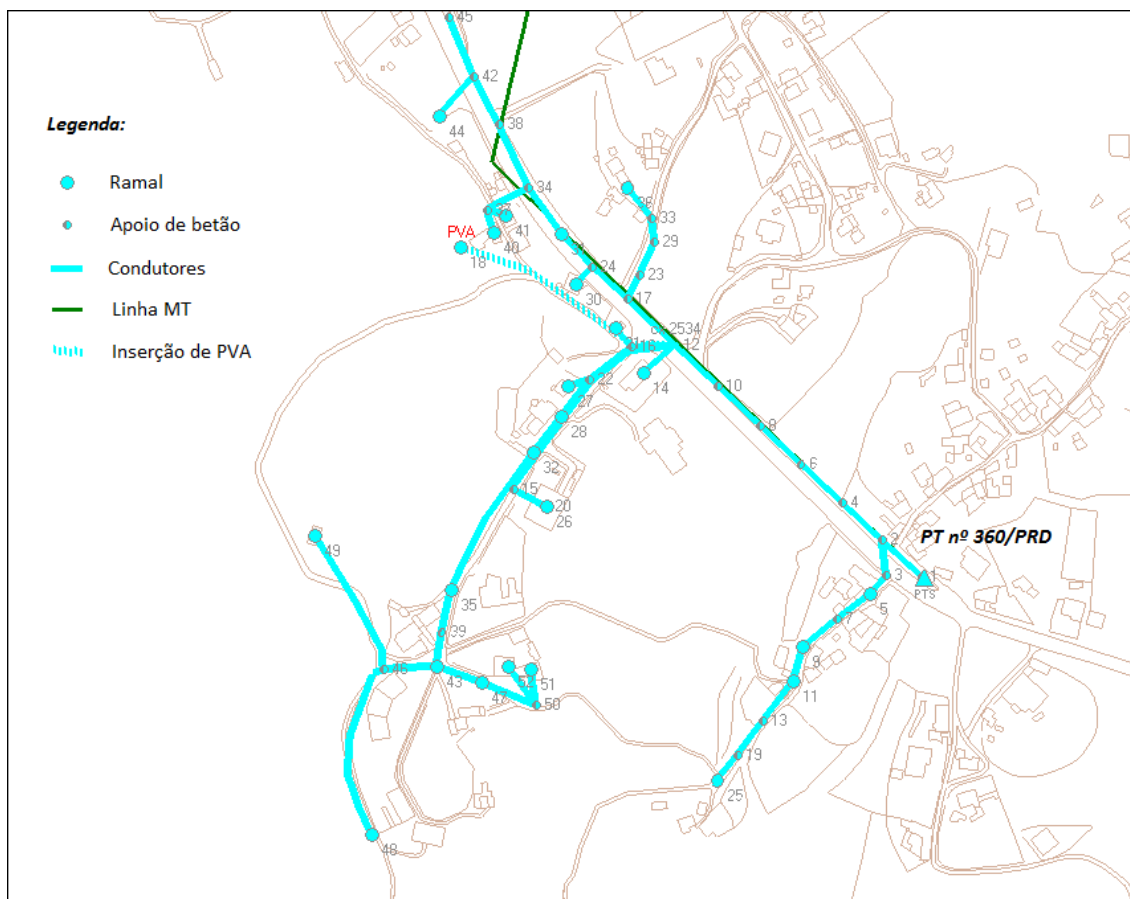


Figura 4.15 - Pormenor da saída do PT nº 360/PRD em DPlan, com inserção de PVA.

Tabela 4.8 - Dados obtidos pelo REBATE para análise da rede, com inserção de PVA.

Ponta na saída (BT)	77,30 kW
Queda de tensão máxima (BT)	11,16 %
Potência de Perdas (BT)	7,98 kW
Energia Anual de Perdas (BT)	5,03 MWh

Como se verificou, a inserção da nova carga no circuito estudado, nas condições actuais da rede, conduziria a uma queda de tensão muito acima dos 8 % regulamentares. Surge, ainda assim, como possível solução, a substituição de uma série de troços do circuito por condutores de maior secção, que permitiriam um melhoramento ao nível das quedas de tensão. No entanto, dado que seria um procedimento complicado e de grande investimento financeiro, a procura de outras soluções é encorajada, havendo a possibilidade de, para alimentar a carga do pedido de viabilidade, utilizar uma saída de reserva do PT nº 360/PRD e estabelecer um novo circuito.

O passo seguinte consistiu, portanto, na avaliação da última solução apresentada, simulando em DPlan a existência de uma nova saída do PT nº 360/PRD para alimentação directa do pedido de viabilidade, como se encontra esquematizado na figura 4.16.

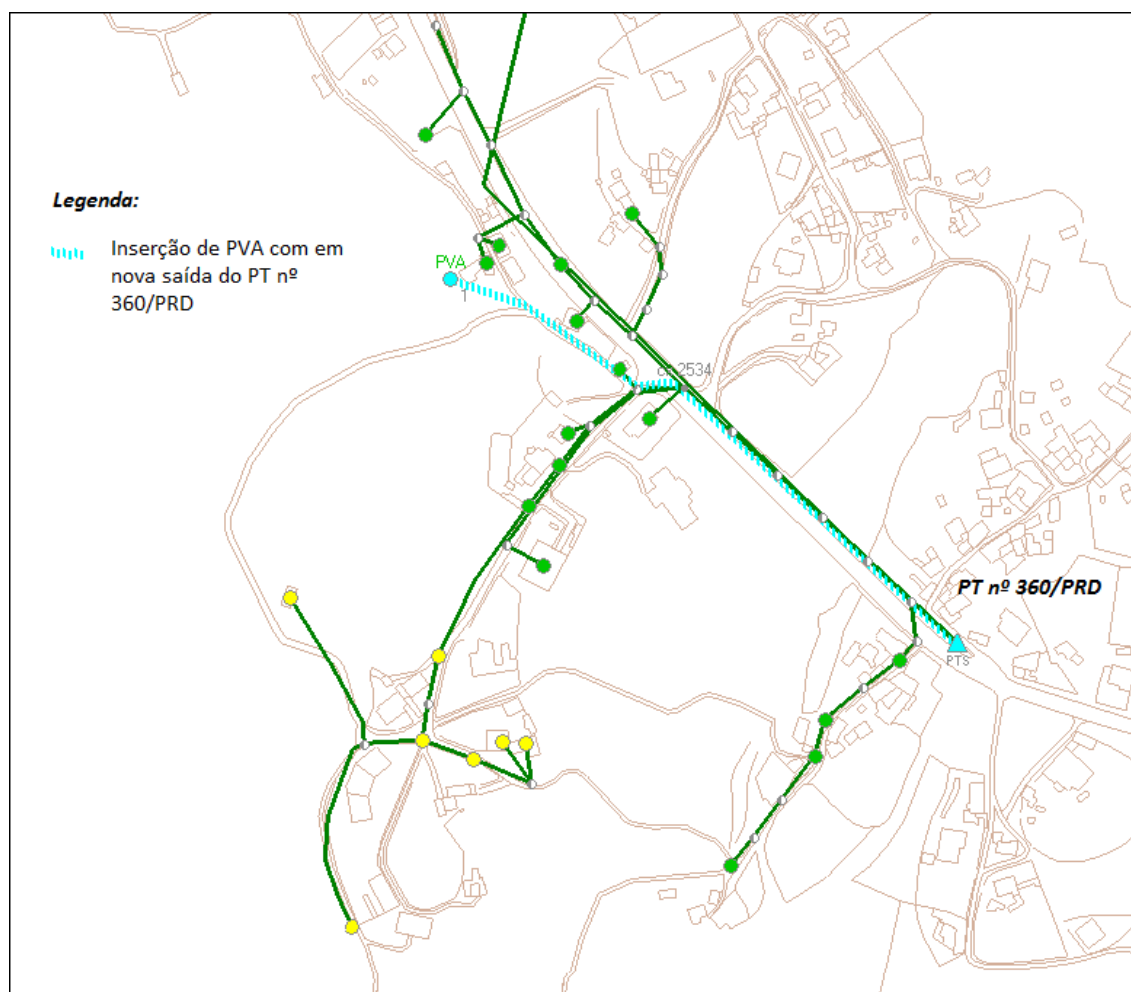


Figura 4.16 - Pormenor de nova saída em estudo, do PT nº 360/PRD, para estabelecimento do pedido de viabilidade.

Tabela 4.9 - Dados obtidos pelo REBATE para análise da nova saída do PT nº 360/PRD.

Ponta na saída (BT)	47,50 kW
Queda de tensão máxima (BT)	5,20 %
Potência de Perdas (BT)	2,60 kW
Energia Anual de Perdas (BT)	1,64 MWh

Os dados obtidos na análise efectuada, presentes na tabela 4.9, indicam que a utilização da saída de reserva do PT nº 360/PRD permite, por um lado, que a rede antiga se mantenha com os mesmos níveis de quedas de tensão, e por outro que a alimentação do pedido de viabilidade seja possível, com quedas de tensão na ordem dos 5,20 %. Esta solução permite,

ainda, a distribuição de um novo circuito cuja corrente máxima admissível não vai ser atingida, possibilitando, no futuro, que lhe sejam ligadas novas cargas. De notar que os dados reportados na tabela 4.9 dizem respeito a uma canalização composta por condutores LXS 4x95 mm².

Concluiu-se, portanto, que a solução mais viável para o estudo apresentado seria a utilização de uma saída de reserva do PT nº 360/PRD, dado que a primeira saída analisada não tinha capacidade para cumprir os limites técnicos exigidos após a inserção da carga associada ao pedido de viabilidade. No apêndice B são, de resto, apresentados mais alguns dados relevantes para a análise executada, de forma a possibilitar ao leitor um melhor enquadramento com o problema.

4.6 - Síntese

Neste capítulo fez-se uma descrição dos projectos e experiências em que o autor esteve envolvido durante os quatro meses de trabalho de preparação desta dissertação, na EDP Distribuição, S.A., Área Operacional de Penafiel, como antes mencionado.

É um relato de projectos de diferente natureza que diversificou a experiência do autor, quer no projecto de linhas aéreas MT quer em redes BT, e que, assim, permitiu a aplicação e aprofundamento dos conhecimentos adquiridos na sua formação académica. Pensa-se, ainda, que se contribuiu positivamente para a produtividade da empresa de acolhimento.

Capítulo 5

Conclusões

5.1 - Conclusões e trabalho futuro

Após análise do trabalho apresentado, entende-se que os objectivos propostos foram atingidos de forma inequívoca.

Conseguiu-se, com o capítulo relativo ao enquadramento do tema, a organização de temas imprescindíveis para o aprofundamento de conhecimento, tanto do autor como do leitor, em áreas onde os projectistas de redes eléctricas MT, todos os dias, têm de estar plenamente actualizados. Particular relevância, dada a conjuntura actual, para os impactes ambientais que o projecto de redes eléctricas pode provocar, assim como os investimentos associados ou, ainda, o licenciamento das mesmas. Conclui-se que, apesar de nem sempre serem necessárias avaliações de impacto ambiental, o projectista necessita de cumprir as mais elementares regras de bom senso e tentar, ao máximo, atingir uma solução que mitigue os efeitos nefastos para um desenvolvimento sustentável. Para além disso, ficou patente a burocracia que ainda reside no processo de licenciamento, tratando-se de um assunto que, apesar de indispensável para a construção das infra-estruturas projectadas, pode estender-se durante um longo período de tempo.

A sistematização do projecto técnico de redes eléctricas MT apresentada, no capítulo três, através de modelos matemáticos e outras questões regulamentares de base, contempla diversas áreas e é fundamental para atingir o conhecimento teórico necessário para execução/desenvolvimento ou ainda apreciação de projectos do género. Conclui-se que, através da matéria apresentada, o objectivo inicialmente proposto foi atingido, permitindo ao leitor um bom entendimento dos pormenores associados ao projecto de redes eléctricas MT. O cálculo mecânico dos condutores e apoios é uma das fases mais importantes do projecto devido à sua relação com a estabilidade de uma linha aérea. É um assunto que se inicia com a definição da tensão máxima de tracção, valor ao qual os condutores estarão sujeitos quando se verificarem as condições atmosféricas mais desfavoráveis e máxima pressão dinâmica do

vento. Posteriormente, definem-se os coeficientes de sobrecarga, que indicam um agravamento teórico do peso próprio do condutor dada a acção do vento e gelo, assim como se determina o comprimento do vão crítico, distância para a qual os condutores ficam sujeitos à mesma tensão máxima de tracção nos estados de Inverno e Primavera. Após determinação dos valores de vão médio e do estado atmosférico mais desfavorável, procede-se ao cálculo da tensão de montagem, que não é mais do que o valor máximo a que os condutores podem estar sujeitos no estado mais desfavorável. Por fim, torna-se viável a marcação, no perfil sobreelevado, dos locais de implantação dos apoios e posterior desenho das curvas de catenária, ficando o cálculo mecânico concluído com a verificação das distâncias mínimas entre condutores, definição do tipo de fixação de condutores e regulação final das soluções.

Quanto ao cálculo mecânico dos apoios, pode dizer-se que é um ponto fulcral para o estabelecimento físico do projecto, dado que, sem ele, não existiriam garantias da estabilidade do mesmo.

Outro dos pontos explorados foi o cálculo eléctrico dos condutores, tendo-se concluído que se trata de um processo que pode ser associado, também, a pormenores económicos. De facto, os métodos existentes para definição da secção mais económica ou ainda da tensão nominal de uma linha eléctrica, são processos baseados em conclusões obtidas após realização e normalização de um grande número de projectos do género, pelo que podem conduzir a valores com algum erro associado. Ainda assim, conclui-se que a sistematização do projecto eléctrico é muito útil, dado que permite que se conheçam os pormenores e que o autor adquira capacidade crítica quando deparado com a análise dos aspectos de qualquer projecto de redes eléctricas.

Durante a realização do trabalho, o autor, confrontado com as perspectivas teórica e prática do projecto de redes MT, identificou algumas condicionantes que permitiram a criação de algumas teorias e obtenção de conclusões. Dada a forma de actuação actual dos concessionários ou ainda dos responsáveis pelos projectos em questão, o projecto realizado na vertente prática não segue todos os passos apresentados na sistematização explorada neste documento. Isto acontece por diversas razões, surgindo desde logo as regras de normalização de materiais, a necessidade de agilização dos processos ou ainda o facto de o tipo mais usual de projecto estar standardizado. Não obstante, a importância do projecto teórico é indubitável, garantindo ao leitor o conhecimento necessário sobre os pormenores do assunto para possibilitar uma apreciação crítica de projectos de redes eléctricas MT.

O projecto prático, cujas experiências pelo autor realizadas se encontram no capítulo quatro, baseia-se, como o teórico, na definição inicial da tensão máxima de tracção. Posteriormente, dada a normalização dos materiais utilizados e a existência de tabelas com valores para as tensões de montagem²⁰, todos os passos até à utilização dos transparentes

²⁰ Já apresentadas, com um exemplo, no anexo B.

para esboço das catenárias são passíveis de sofrer sistematização. A partir daí, e dependendo também do tipo de projecto que se executa, podem ser essenciais, na prática, mais ou menos passos, devido, por exemplo, aos tipos de armações em jogo, que no caso condicionam a necessidade, ou não, de se efectuar um cálculo para averiguar as distâncias entre condutores.

Uma fase essencial durante o projecto prático, e que segue, sempre, as expressões teóricas apresentadas, é a verificação da estabilidade dos apoios.

Conclui-se, portanto, que a sistematização teórica do projecto de redes MT é, apesar de não muito utilizada, extremamente útil para se entenderem todos os pormenores do processo prático. Para além disso, a sequência de cálculo é essencial para casos especiais de estabelecimento de linhas, dado que define todas as regras técnicas que se devem seguir.

Acredita-se que este trabalho acaba por acrescentar algo de novo ao tema das redes eléctricas MT, estabelecendo um paralelismo entre os processos teóricos e o que é feito, na prática, no dia-a-dia de um projectista. Adquiriram-se ainda competências ao nível do desenvolvimento de soluções em contexto operacional, tendo o autor contribuído com o desenvolvimento e conclusão de todas as experiências descritas no Capítulo 4.

Relativamente às redes eléctricas em BT, estudou-se o processo de análise das mesmas, como demonstrado em 4.5 - Análise a rede BT em Aguiar de Sousa-Paredes. Mais uma vez, conseguiu-se executar todo um projecto de análise, ficando a contribuição para a empresa, e tendo o autor conseguido reunir conhecimentos técnicos sobre o assunto. Constitui ainda, a secção respectiva à análise, uma sistematização do processo que é seguido pela EDP Distribuição, S.A., tendo sido estudadas mais que uma solução para o problema com conjugação de diversos factores (económicos e técnicos).

Futuramente, existem alguns trabalhos que podem seguir, ou estudar em pormenor, alguns aspectos que neste se encontram. Executam-se, por exemplo, na EDP Distribuição, S.A., projectos de redes eléctricas MT onde são largamente utilizados condutores de alumínio-aço com secção 50 mm². Tratando-se de uma secção utilizada principalmente devido ao processo de normalização de materiais pela empresa conduzido, pode, por vezes, não ser a mais económica. Assim, entende-se que a temática do estudo económico de redes eléctricas poderia ter algum interesse.

Por outro lado, verificou-se que nem sempre as acções promovidas em termos de projecto e implementação de novas soluções são feitas tomando em conta critérios de exploração e manutenção das redes. O autor acredita que um estudo nessa área seria interessante, dado que poderiam ser detectadas algumas inconformidades e melhorada a articulação entre actividades de projecto/construção e exploração/manutenção.

Referências bibliográficas

- [1] M. A. Laughton and D. J. Warne, *Electrical Engineer`s Reference Book*. Oxford: Elsevier Science, 2003.
- [2] G. Orawski, "Overhead lines - the state of the art," *Power Engineering Journal*, 1993.
- [3] *Decreto-Lei nº 180/91*, Ministério da Indústria e Energia 180, 1991.
- [4] *Decreto Regulamentar nº 14/77*, Ministério da Indústria e Tecnologia 14, 1977.
- [5] *Decreto Regulamentar nº 85/84*, Ministério da Indústria e Energia 85, 1984.
- [6] *Decreto Regulamentar nº 1/92*, Ministério da Indústria e Energia 1, 1992.
- [7] *Decreto-Lei nº 446/76*, Ministério da Indústria e Tecnologia 446, 1976.
- [8] *Decreto-Lei nº 517/80*, Ministério da Indústria e Energia 517, 1980.
- [9] *Decreto-Lei nº 272/92*, Ministério da Indústria e Energia 4, 1992.
- [10] *Decreto-Lei nº 4/93*, Ministério da Indústria e Energia 4, 1993.
- [11] *Lei nº 30/2006*, Assembleia da República 30, 2006.
- [12] *Decreto-Lei nº 101/2007*, Ministério da economia e da Inovação 101, 2007.
- [13] *Decreto Regulamentar nº 31/83*, I. Ministérios do Trabalho, Energia e Exportação 31, 1983.
- [14] *Decreto-Lei nº 229/2006*, Ministério da Economia e da Inovação 229, 2006.
- [15] *Portaria nº1421/2004*, Presidência do conselho de ministros 1421, 2004.
- [16] F. Kiessling, *Overhead power lines planning, design, construction*. Berlin [etc.]: Springer, 2003.
- [17] D. V. Sá, *Estudos de impacto ambiental no caso de linhas aéreas de AT e MAT*. Porto: FEUP, 2002.
- [18] *Decreto-Lei nº 147/2008*, Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Desenvolvimento Regional 147, 2008.

- [19] *Resolução do Conselho de Ministros nº 115-A/2008*, Presidência do Conselho de Ministros 115-A, 2008.
- [20] Instituto da Conservação da Natureza, "Estudo sobre dispersão de aves de rapina," Instituto da Conservação da Natureza, , Lisboa2006.
- [21] Instituto da Conservação da Natureza, "Relatório final relativo ao protocolo celebrado entre a Rede Eléctrica Nacional S.A. e o Instituto da Conservação da Natureza," Instituto da Conservação da Natureza2005.
- [22] Sociedade Portuguesa para o Estudo das Aves and QUERCUS A.N.C.N. - Associação Nacional de Conservação da Natureza, "Estudo sobre o Impacto das Linhas Eléctricas de Média e Alta Tensão na Avifauna em Portugal," 2005.
- [23] EDP - Energias de Portugal, "Protocolo Avifauna - Integração de Linhas," 2005.
- [24] *Decreto-Lei nº 69/2000*, Ministério do Ambiente e do Ordenamento do Território 69, 2000.
- [25] P. Elliot and D. Wadley, "The impact of transmission lines on property values: coming to terms with stigma," *Emerald*, vol. 20, pp. 137-152, Agosto de 2002 2002.
- [26] J. L. Pinto de Sá, "Campos electromagnéticos de extremamente baixa frequência, saúde pública e linhas de alta tensão," Lisboa2008.
- [27] International Commission on Non-Ionizing Radiation Protection, "Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz)," *ICNIRP Guidelines*, vol. 74, 1998.
- [28] *Decreto-Lei nº 43335*, Secretaria de Estado da Indústria 43335, 1960.
- [29] J. M. Carreira Nunes, *Projecto linhas de média tensão de 15 KV redes de distribuição em baixa tensão redes de iluminação pública postos de transformação*. Porto: [s.n.], 2005.
- [30] *Portaria nº 401/76*, Ministério da Indústria e Tecnologia 401, 1976.
- [31] *Portaria nº 344/89*, Ministério da Indústria e Energia 344, 1989.
- [32] Portugal, *Edição DGE do Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão*. Lisboa: Direcção Geral de Energia, 1993.
- [33] J. M. Forte, *Projecto e construção de redes MT/PT/BT/IP - relatório final de estágio*. Porto: FEUP, 2006.
- [34] Quintas & Quintas S.A. (2010, 14/04/2010). *Cabos eléctricos nus*. Available: http://www.quintascondutores.pt/port/produtos/cn/cond_aluminio_acsr.htm
- [35] H. Leite, *Elaboração de projectos de linhas aéreas de distribuição de energia*. Porto: FEUP, 2008.
- [36] J. Ramírez Vázquez, *Instalaciones electricas generales enciclopedia Ceac de electricidad*. Barcelona: CEAC, 1973.
- [37] G. Zoppetti Júdez, *Redes eléctricas de alta y baja tensión para conducir y distribuir la energía eléctrica*, 5ª ed ed. Barcelona: Gustavo Gili, 1972.

- [38] T. Buchhold and H. Appoldt, *Centrales y redes eléctricas*. Barcelona: Editorial Labor, 1971.
- [39] R. J. Fernandes, *Projectos de linhas aéreas de alta tensão - caso de estudo e elaboração de guia técnico*. Porto: FEUP, 2006.
- [40] N. J. Falcão Sequeira, *Projecto de linha aérea de alta tensão conforme a norma EN50341*. Porto: [s. n.], 2009.
- [41] I. Ferreira, *Projecto de linha de alta tensão e estudo do campo electromagnético produzido pela linha*. Porto: FEUP, 2007.
- [42] A. Almeida do Vale, *Sebenta de Produção e Transporte de Energia I*: FEUP, 1998.
- [43] *Recomendações para linhas aéreas de alta tensão, até 30 kV*. [Lisboa]: Direcção Geral de Energia, 1996.
- [44] S. Sociedade Portuguesa Cavan, *Catálogo de postes Cavan*. Lisboa: Sociedade Portuguesa Cavan, SA, 1998.
- [45] J. da Silva Ramires, *Projecto de linha de alta tensão estudo do comportamento eléctrico*. Porto: [s. n.], 2009.
- [46] H. Moras Paiva, *Projecto de redes eléctricas de média tensão e baixa tensão, postos de transformação e iluminação pública*. Porto: [s. n.], 2004.
- [47] R. M. Moreira, *Operações em redes de distribuição*. Porto: FEUP, 2009.
- [48] D. Soares Pinto, *Estudo e concepção de projectos de redes eléctricas de distribuição*. Porto: FEUP, 2001.
- [49] B. Guimarães Ferreira, *Projecto de redes de MT e BT*. Porto: [s. n.], 2004.
- [50] M. Bilber, *Projecto de redes eléctricas de MT e BT - relatório final de estágio*. Porto: FEUP, 2002.
- [51] R. Cabral, *REBATE final - programa de cálculo de redes de baixa tensão*. Porto: FEUP, 2004.
- [52] V. M. Gonçalves Vaz, *Projecto, construção e exploração de redes em Baixa Tensão*. Porto: FEUP, 2004.

Anexo A

**Coeficientes de compressibilidade do
solo, a 2 m de profundidade**

A tabela A.1 identifica, segundo [43], valores habituais do coeficiente de compressibilidade a 2 m de profundidade para terrenos de diferentes natureza e composição. A consideração destes valores é indispensável para o cálculo dos maciços de fundação para os apoios, tema desenvolvido na secção 3.7.

Tabela A.1 - Coeficientes de compressibilidade, a 2 m de profundidade.

Tipo de terreno		Coeficiente de compressibilidade a 2 m de profundidade (daN/cm ³)
Lodo, turfa e terreno pantanoso em geral		0
Areia fina e média, até 1 mm de Ø de grão		6 a 8
Areia grossa até 3 mm de Ø de grão e areão com pelo menos 1/3 do volume de calhau rolado com 70 mm de diâmetro		8 a 10
Terreno coerente (barro, argila)	muito mole	0
	mole facilmente amassável	2 a 4
	consistente dificilmente amassável	5 a 7
	médio	8
	rijo	9

Anexo B

Valores de tensão mecânica de montagem tabelados

A figura B.1 representa uma tabela com valores de tensão mecânica de montagem dos condutores. Trata-se de uma tabela para condutores de Alumínio-aço de 50 mm² estabelecidos a uma tensão máxima de tracção de 7 daN/mm² para o primeiro escalão de vento.

AL-ACO	50 MM2	T.MAX. = 7.0 KG/MM2																ESCALAO 1																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
S =	49.40 MM2	V2 = 22.5 KG/MM2																M2 = 1.54																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
D =	9.00 MM	V1 = 54.0 KG/MM2																M1 = 2.98																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
P0 = 0.0035 KG/CM3																		M2=0.2663 KG/M																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
																		W1=0.5159 KG/M																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
																		* VAO CRITICO = 74.9 M *																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																												
VAO	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30	35	40	50	60	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170	180	190	200	220	240	260	280	300	350	400	450	500	550	600	700	800																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																																						
		6.95	6.19	5.44	4.69	3.95	3.23	2.56	1.96	1.50	1.18	0.83	0.50	0.73	1.859	223	133	1854	309	195	254	310	362	412	466	517	566	614	662	708	754	798	842	885	927	968	1008	1047	1084	1120	1155	1189	1222	1254	1285	1315	1344	1372	1400	1427	1453	1478	1502	1525	1547	1568	1588	1607	1625	1642	1658	1674	1689	1703	1717	1730	1743	1755	1767	1778	1789	1800	1810	1819	1828	1836	1843	1850	1856	1861	1866	1871	1876	1881	1886	1890	1894	1898	1902	1906	1910	1914	1918	1922	1926	1930	1934	1938	1942	1946	1950	1954	1958	1962	1966	1970	1974	1978	1982	1986	1990	1994	1998	2002	2006	2010	2014	2018	2022	2026	2030	2034	2038	2042	2046	2050	2054	2058	2062	2066	2070	2074	2078	2082	2086	2090	2094	2098	2102	2106	2110	2114	2118	2122	2126	2130	2134	2138	2142	2146	2150	2154	2158	2162	2166	2170	2174	2178	2182	2186	2190	2194	2198	2202	2206	2210	2214	2218	2222	2226	2230	2234	2238	2242	2246	2250	2254	2258	2262	2266	2270	2274	2278	2282	2286	2290	2294	2298	2302	2306	2310	2314	2318	2322	2326	2330	2334	2338	2342	2346	2350	2354	2358	2362	2366	2370	2374	2378	2382	2386	2390	2394	2398	2402	2406	2410	2414	2418	2422	2426	2430	2434	2438	2442	2446	2450	2454	2458	2462	2466	2470	2474	2478	2482	2486	2490	2494	2498	2502	2506	2510	2514	2518	2522	2526	2530	2534	2538	2542	2546	2550	2554	2558	2562	2566	2570	2574	2578	2582	2586	2590	2594	2598	2602	2606	2610	2614	2618	2622	2626	2630	2634	2638	2642	2646	2650	2654	2658	2662	2666	2670	2674	2678	2682	2686	2690	2694	2698	2702	2706	2710	2714	2718	2722	2726	2730	2734	2738	2742	2746	2750	2754	2758	2762	2766	2770	2774	2778	2782	2786	2790	2794	2798	2802	2806	2810	2814	2818	2822	2826	2830	2834	2838	2842	2846	2850	2854	2858	2862	2866	2870	2874	2878	2882	2886	2890	2894	2898	2902	2906	2910	2914	2918	2922	2926	2930	2934	2938	2942	2946	2950	2954	2958	2962	2966	2970	2974	2978	2982	2986	2990	2994	2998	3002	3006	3010	3014	3018	3022	3026	3030	3034	3038	3042	3046	3050	3054	3058	3062	3066	3070	3074	3078	3082	3086	3090	3094	3098	3102	3106	3110	3114	3118	3122	3126	3130	3134	3138	3142	3146	3150	3154	3158	3162	3166	3170	3174	3178	3182	3186	3190	3194	3198	3202	3206	3210	3214	3218	3222	3226	3230	3234	3238	3242	3246	3250	3254	3258	3262	3266	3270	3274	3278	3282	3286	3290	3294	3298	3302	3306	3310	3314	3318	3322	3326	3330	3334	3338	3342	3346	3350	3354	3358	3362	3366	3370	3374	3378	3382	3386	3390	3394	3398	3402	3406	3410	3414	3418	3422	3426	3430	3434	3438	3442	3446	3450	3454	3458	3462	3466	3470	3474	3478	3482	3486	3490	3494	3498	3502	3506	3510	3514	3518	3522	3526	3530	3534	3538	3542	3546	3550	3554	3558	3562	3566	3570	3574	3578	3582	3586	3590	3594	3598	3602	3606	3610	3614	3618	3622	3626	3630	3634	3638	3642	3646	3650	3654	3658	3662	3666	3670	3674	3678	3682	3686	3690	3694	3698	3702	3706	3710	3714	3718	3722	3726	3730	3734	3738	3742	3746	3750	3754	3758	3762	3766	3770	3774	3778	3782	3786	3790	3794	3798	3802	3806	3810	3814	3818	3822	3826	3830	3834	3838	3842	3846	3850	3854	3858	3862	3866	3870	3874	3878	3882	3886	3890	3894	3898	3902	3906	3910	3914	3918	3922	3926	3930	3934	3938	3942	3946	3950	3954	3958	3962	3966	3970	3974	3978	3982	3986	3990	3994	3998	4002	4006	4010	4014	4018	4022	4026	4030	4034	4038	4042	4046	4050	4054	4058	4062	4066	4070	4074	4078	4082	4086	4090	4094	4098	4102	4106	4110	4114	4118	4122	4126	4130	4134	4138	4142	4146	4150	4154	4158	4162	4166	4170	4174	4178	4182	4186	4190	4194	4198	4202	4206	4210	4214	4218	4222	4226	4230	4234	4238	4242	4246	4250	4254	4258	4262	4266	4270	4274	4278	4282	4286	4290	4294	4298	4302	4306	4310	4314	4318	4322	4326	4330	4334	4338	4342	4346	4350	4354	4358	4362	4366	4370	4374	4378	4382	4386	4390	4394	4398	4402	4406	4410	4414	4418	4422	4426	4430	4434	4438	4442	4446	4450	4454	4458	4462	4466	4470	4474	4478	4482	4486	4490	4494	4498	4502	4506	4510	4514	4518	4522	4526	4530	4534	4538	4542	4546	4550	4554	4558	4562	4566	4570	4574	4578	4582	4586	4590	4594	4598	4602	4606	4610	4614	4618	4622	4626	4630	4634	4638	4642	4646	4650	4654	4658	4662	4666	4670	4674	4678	4682	4686	4690	4694	4698	4702	4706	4710	4714	4718	4722	4726	4730	4734	4738	4742	4746	4750	4754	4758	4762	4766	4770	4774	4778	4782	4786	4790	4794	4798	4802	4806	4810	4814	4818	4822	4826	4830	4834	4838	4842	4846	4850	4854	4858	4862	4866	4870	4874	4878	4882	4886	4890	4894	4898	4902	4906	4910	4914	4918	4922	4926	4930	4934	4938	4942	4946	4950	4954	4958	4962	4966	4970	4974	4978	4982	4986	4990	4994	4998	5002	5006	5010	5014	5018	5022	5026	5030	5034	5038	5042	5046	5050	5054	5058	5062	5066	5070	5074	5078	5082	5086	5090	5094	5098	5102	5106	5110	5114	5118	5122	5126	5130	5134	5138	5142	5146	5150	5154	5158	5162	5166	5170	5174	5178	5182	5186	5190	5194	5198	5202	5206	5210	5214	5218	5222	5226	5230	5234	5238	5242	5246	5250	5254	5258	5262	5266	5270	5274	5278	5282	5286	5290	5294	5298	5302	5306	5310	5314	5318	5322	5326	5330	5334	5338	5342	5346	5350	5354	5358	5362	5366	5370	5374	5378	5382	5386	5390	5394	5398	5402	5406	5410	5414	5418	5422	5426	5430	5434	5438	5442	5446	5450	5454	5458	5462	5466	5470	5474	5478	5482	5486	5490	5494	5498	5502	5506	5510	5514	5518	5522	5526	5530	5534	5538	5542	5546	5550	5554	5558	5562	5566	5570	5574	5578	5582	5586	5590	5594	5598	5602	5606	5610	5614	5618	5622	5626	5630	5634	5638	5642	5646	5650	5654	5658	5662	5666	5670	5674	5678	5682	5686	5690	5694	5698	5702	5706	5710	5714	5718	5722	5726	5730	5734	5738	5742	5746	5750	5754	5758	5762	5766	5770	5774	5778	5782	5786	5790	5794	5798	5802	5806	5810	5814	5818	5822	5826	5830	5834	5838	5842	5846	5850	5854	5858	5862	5866	5870	5874	5878	5882	5886	5890	5894	5898	5902	5906	5910	5914	5918	5922	5926	5930	5934	5938	5942	5946	5950	5954	5958	5962	5966	5970	5974	5978	5982	5986	5990	5994	5998	6002	6006	6010	6014	6018	6022	6026	6030	6034	6038	6042	6046	6050	6054	6058	6062	6066	6070	6074	6078	6082	6086	6090	6094	6098	6102	6106	6110	6114	6118	6122	6126	6130	6134	6138	6142	6146	6150	6154	6158	6162	6166	6170	6174	6178	6182	6186	6190	6194	6198	6202	6206	6210	6214	6218	6222	6226	6230	6234	6238	6242	6246	6250	6254	6258	6262	6266	6270	6274	6278	6282	6286	6290	6294	6298	6302	6306	6310	6314	6318	6322	6326	6330	6334	6338	6342	6346	6350	6354	6358	6362	6366	6370	6374	6378	6382	6386	6390	6394	6398	6402	6406	6410	6414	6418	6422	6426	6430	6434	6438	6442	6446	6450	6454	6458	6462	6466	6470	6474	6478	6482	6486	6490	6494	6498	6502	6506	6510	6514	6518	6522	6526	6530	6534	6538	6542	6546	6550	6554	6558	6562	6566	6570	6574	6578	6582	6586	6590	6594	6598	6602	6606	6610	6614	6618	6622	6626	6630	6634	6638	6642	6646	6650	6654	6658	6662	6666	6670	6674	6678	6682	6686	6690	6694	6698	6702	6706	6710	6714	6718	6722	6726	6730	6734	6738	6742	6746	6750	6754	6758	6762	6766	6770	6774	6778	6782	6786

Figura B.1 - Pormenor de tabela com valores para tensões de montagem.

Apêndice A

Distâncias mínimas entre condutores, segundo RSLEAT

Na tabela A.1 encontram-se agrupadas as distâncias mínimas regulamentares entre condutores, identificando-se tanto o respectivo artigo do RSLEAT como a expressão correspondente.

Tabela A.1 - Distâncias mínimas regulamentares entre condutores.

Definição		Artigo RSLEAT	Expressão	Observações
Distância dos condutores ao solo		27º	$D' = 6 + 0,005 \cdot U_n$	$D' \nlessgtr 6 \text{ m}$
Distância dos condutores às árvores		28º	$D' = 2 + 0,0075 \cdot U_n$	$D' \nlessgtr 2,5 \text{ m}$
Distância dos condutores aos edifícios		29º	$D' = 3 + 0,0075 \cdot U_n$	$D' \nlessgtr 4 \text{ m}$
Distância dos condutores a obstáculos diversos		30º	$D' = 2 + 0,0075 \cdot U_n$	$D' \nlessgtr 3 \text{ m}$
Distância entre condutores	Linhas de 2ª classe	31º	$D' = 0,75k + \sqrt{f + d'} + \frac{U_n}{200}$	$D' \nlessgtr 0,45 \text{ m}$
	Linhas de 3ª classe		$D' = k + \sqrt{f + d'} + \frac{U_n}{150}$	$D' \nlessgtr 1 \frac{\text{cm}}{\text{kV}} [\text{m}]$
Distância entre condutores e os apoios	Condutores nus em repouso	33º	$D' = 0,10 + 0,0065 \cdot U_n$	$D' \nlessgtr 0,15 \text{ m}$
	Condutores nus desviados pelo vento		$D' = 0,0065 \cdot U_n$	
Distância dos condutores às auto-estradas e às estradas nacionais e municipais		91º	$D' = 6,3 + 0,01 \cdot U_n$	$D' \nlessgtr 7 \text{ m}$
Distância dos condutores aos cursos de água navegáveis		94º	$D' = 1,5 + 0,01 \cdot U_n + h$	$D' \nlessgtr 2 + h [\text{m}]$
Distância dos condutores aos carris, nas travessias de caminhos de ferro cuja electrificação exista ou esteja prevista		101º	$D' = 11 + 0,01 \cdot U_n + 0,005 \cdot L$	$D' \nlessgtr 13,5 \text{ m}$
Distância entre duas linhas		109º	$D' = 1,5 + 0,01 \cdot U_n + 0,005 \cdot L$	$D' \nlessgtr 2 \text{ m}$
Distância entre os condutores da linha inferior e os apoios da linha superior		110º	$D' = 2 + 0,0075 \cdot U_n$	

Apêndice B

Suplementos para análise da rede BT em Aguiar de Sousa-Paredes

As tabelas neste apêndice apresentadas funcionam como informação suplementar para um melhor entendimento da secção 4.5. Encontram-se divididas em três partes, como foi explicado, contemplando a situação antes da inserção do pedido de viabilidade, a situação após inserção do mesmo e o estudo acerca da nova saída projectada.

Situação antes da inserção do pedido de viabilidade

Tabela B.1 - Estatística das cargas na rede.

Tipo	Número de clientes / Potência contratada [kVA]						Total	
	Residencial		Comercial		Industrial		Clientes	Potência
	Clientes	Potência	Clientes	Potência	Clientes	Potência		
Monofásicos								
1,15	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
3,45	8	27,60	0	0,00	0	0,00	8	27,60
6,9	15	103,50	0	0,00	0	0,00	15	103,50
10,35	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Trifásicos								
6,9	3	20,70	0	0,00	0	0,00	3	20,70
10,35	2	20,70	1	10,35	0	0,00	3	31,05
13,8	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
17,25	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
20,7	0	0,00	0	0,00	1	20,70	1	20,70
27,6	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
34,5	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
41,4	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Especiais	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Total	28	172,50	1	10,35	1	20,70	30	203,55

Tabela B.2 - Trânsito de energia na rede em estudo.

Nó i	Nó j	Equipamento	Comprimento	Limite Máx	Corrente Máxima	Potência	Perdas	ΔU
			m	A	A	kW	W	%
0	1	LXS 4x70 + 16	0,30	190,00	62,40	40,455	1,94	0,00
1	2	LXS 4x70 + 16	37,60	190,00	62,40	40,453	243,47	0,56
2	3	LXS 4x25 + 16	24,60	100,00	15,50	9,949	26,65	0,80
2	4	LXS 4x70 + 16	37,30	190,00	54,70	35,223	185,38	1,05
3	5	LXS 4x25 + 16	17,00	100,00	15,50	9,923	18,42	0,97
4	6	LXS 4x70 + 16	38,80	190,00	54,70	35,039	192,50	1,56
5	7	LXS 4x25 + 16	28,50	100,00	9,40	6,018	11,39	1,13
6	8	LXS 4x70 + 16	38,20	190,00	54,70	34,847	189,77	2,06
7	9	LXS 4x25 + 16	30,40	100,00	9,40	6,007	12,15	1,31
8	10	LXS 4x70 + 16	39,70	190,00	54,70	34,658	197,13	2,57
9	11	LXS 4x25 + 16	23,80	100,00	7,00	4,438	5,21	1,41

10	12	LXS 4x70 + 16	40,20	190,00	54,70	34,462	199,69	3,10
11	13	LXS 4x25 + 16	34,10	100,00	3,90	2,462	2,30	1,49
12	14	LXS 2x16	28,70	75,00	5,10	3,214	5,44	3,24
12	15	LXS 4x50 + 16	156,40	150,00	22,00	13,747	181,52	4,26
12	16	LXS 4x25 + 16	30,50	100,00	33,70	21,134	155,94	3,73
12	17	LXS 4x70 + 16	45,50	190,00	15,70	9,845	18,73	3,27
13	18	LXS 4x25 + 16	29,30	100,00	3,90	2,460	1,98	1,56
15	19	LXS 4x16	25,80	75,00	22,00	13,566	89,22	4,81
16	20	LXS 4x16	16,80	75,00	9,30	5,786	10,47	3,89
16	21	LXS 4x25 + 16	37,00	100,00	30,10	18,759	151,17	4,42
17	22	LXS 5x16	18,50	75,00	2,60	1,608	0,88	3,32
17	23	LXS 4x25 + 16	32,40	100,00	15,00	9,369	32,83	3,57
18	24	LXS 4x25 + 16	22,30	100,00	3,90	2,458	1,51	1,62
19	25	LXS 4x16	0,30	75,00	22,00	13,477	1,04	4,82
21	26	LXS 4x16	14,50	75,00	13,50	8,333	19,01	4,62
21	27	LXS 4x25 + 16	31,20	100,00	22,90	14,143	73,53	4,87
22	28	LXS 5x16	24,30	75,00	2,60	1,607	1,16	3,38
23	29	XS 2x6	16,50	55,00	2,60	1,605	1,23	3,63
23	30	LXS 4x25 + 16	31,00	100,00	14,30	8,879	28,41	3,84
27	31	LXS 4x25 + 16	31,20	100,00	21,10	12,982	62,56	5,27
28	32	LXS 5x16	17,20	75,00	2,60	1,606	0,82	3,42
30	33	LXS 4x25 + 16	38,50	100,00	12,30	7,634	26,24	4,14
31	34	LXS 4x25 + 16	109,70	100,00	19,30	11,801	183,41	6,58
32	35	LXS 2x16	26,70	75,00	2,60	1,606	1,27	3,49
33	36	LXS 4x16	32,30	75,00	10,20	6,305	24,07	4,46
33	37	LXS 4x25 + 16	47,90	100,00	5,20	3,226	5,87	4,29
34	38	LXS 4x25 + 16	30,10	100,00	17,40	10,463	40,80	6,90
36	39	LXS 2x16	16,10	75,00	2,60	1,605	0,78	4,50
36	40	LXS 4x16	13,70	75,00	9,40	5,784	8,66	4,58
37	41	LXS 4x25 + 16	37,40	100,00	5,20	3,220	4,58	4,41
38	42	LXS 4x25 + 16	23,40	100,00	17,40	10,422	31,72	7,15
41	43	LXS 4x16	35,80	75,00	5,20	3,215	6,99	4,59
41	44	LXS 4x25 + 16	44,20	100,00	0,00	0,000	0,00	4,41
42	45	LXS 4x25 + 16	36,20	100,00	6,50	3,864	6,78	7,30
42	46	LXS 5x16	33,30	75,00	10,10	6,017	24,10	7,48
45	47	LXS 4x25 + 16	123,70	100,00	5,40	3,225	16,20	7,71
45	48	XS 2x6	103,70	55,00	2,70	1,613	8,41	7,72
46	49	LXS 5x16	40,10	75,00	4,10	2,466	4,91	7,64
49	50	XS 2x6	25,30	55,00	2,70	1,606	2,05	7,74
49	51	XS 2x6	32,50	55,00	2,70	1,607	2,64	7,77

Situação após inserção do pedido de viabilidade na saída estudada**Tabela B.3 - Estatística das cargas na rede, com inserção de PVA.**

Tipo	Número de clientes / Potência contratada [kVA]						Total	
	Residencial		Comercial		Industrial		Cientes	Potência
	Cientes	Potência	Cientes	Potência	Cientes	Potência		
Monofásicos								
1,15	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
3,45	8	27,60	0	0,00	0	0,00	8	27,60
6,9	15	103,50	0	0,00	0	0,00	15	103,50
10,35	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Trifásicos								
6,9	3	20,70	0	0,00	0	0,00	3	20,70
10,35	2	20,70	1	10,35	0	0,00	3	31,05
13,8	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
17,25	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
20,7	0	0,00	0	0,00	1	20,70	1	20,70
27,6	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
34,5	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
41,4	0	0,00	0	0,00	0	0,00	0	0,00
Especiais	0	0,00	0	0,00	1	48,30	1	48,30
Total	28	172,50	1	10,35	2	69,00	31	251,85

Tabela B.4 - Trânsito de energia na rede em estudo, com inserção de PVA.

Nó i	Nó j	Equipamento	Comprimento	Limite Máx	Corrente Máxima	Potência	Perdas	ΔU
			m	A	A	kW	W	%
0	1	LXS 4x70 + 16	0,30	190,00	119,00	77,271	7,05	0,01
1	2	LXS 4x70 + 16	37,60	190,00	119,00	77,264	883,99	1,08
2	3	LXS 4x25 + 16	24,60	100,00	15,60	9,950	26,93	1,32
2	4	LXS 4x70 + 16	37,30	190,00	112,10	71,995	779,59	2,08
3	5	LXS 4x25 + 16	17,00	100,00	15,60	9,923	18,61	1,48
4	6	LXS 4x70 + 16	38,80	190,00	112,10	71,216	809,54	3,12
5	7	LXS 4x25 + 16	28,50	100,00	9,50	6,018	11,51	1,65
6	8	LXS 4x70 + 16	38,20	190,00	112,10	70,408	798,05	4,15
7	9	LXS 4x25 + 16	30,40	100,00	9,50	6,007	12,28	1,83
8	10	LXS 4x70 + 16	39,70	190,00	112,10	69,610	829,02	5,21
9	11	LXS 4x25 + 16	23,80	100,00	7,00	4,438	5,27	1,93
10	12	LXS 4x70 + 16	40,20	190,00	112,10	68,782	839,77	6,29
11	13	LXS 4x25 + 16	34,10	100,00	3,90	2,463	2,33	2,01
12	14	LXS 2x16	28,70	75,00	5,30	3,214	5,82	6,44
12	15	LXS 4x50 + 16	156,40	150,00	22,80	13,767	194,62	7,50
12	16	LXS 4x25 + 16	30,50	100,00	35,00	21,197	167,66	6,96

12	17	LXS 4x70 + 16	45,50	190,00	16,30	9,857	20,07	6,47
12	18	LXS 4x70	165,20	190,00	76,90	46,540	1622,32	9,33
13	19	LXS 4x25 + 16	29,30	100,00	3,90	2,460	2,00	2,09
15	20	LXS 4x16	25,80	75,00	22,80	13,572	95,66	8,07
16	21	LXS 4x16	16,80	75,00	9,60	5,786	11,20	7,11
16	22	LXS 4x25 + 16	37,00	100,00	31,20	18,810	162,59	7,67
17	23	LXS 5x16	18,50	75,00	2,70	1,609	0,94	6,52
17	24	LXS 4x25 + 16	32,40	100,00	15,50	9,379	35,19	6,78
19	25	LXS 4x25 + 16	22,30	100,00	3,90	2,458	1,52	2,14
20	26	LXS 4x16	0,30	75,00	22,80	13,477	1,11	8,08
22	27	LXS 4x16	14,50	75,00	14,00	8,334	20,37	7,87
22	28	LXS 4x25 + 16	31,20	100,00	23,70	14,181	79,16	8,13
23	29	LXS 5x16	24,30	75,00	2,70	1,608	1,24	6,58
24	30	XS 2x6	16,50	55,00	2,70	1,606	1,31	6,85
24	31	LXS 4x25 + 16	31,00	100,00	14,80	8,887	30,45	7,07
28	32	LXS 4x25 + 16	31,20	100,00	21,90	13,013	67,37	8,56
29	33	LXS 5x16	17,20	75,00	2,70	1,606	0,88	6,63
31	34	LXS 4x25 + 16	38,50	100,00	12,70	7,639	28,13	7,37
32	35	LXS 4x25 + 16	109,70	100,00	20,00	11,827	197,61	9,92
33	36	LXS 2x16	26,70	75,00	2,70	1,606	1,36	6,70
34	37	LXS 4x16	32,30	75,00	10,60	6,307	25,80	7,70
34	38	LXS 4x25 + 16	47,90	100,00	5,40	3,227	6,29	7,53
35	39	LXS 4x25 + 16	30,10	100,00	18,00	10,474	43,97	10,26
37	40	LXS 2x16	16,10	75,00	2,70	1,605	0,84	7,75
37	41	LXS 4x16	13,70	75,00	9,70	5,785	9,28	7,83
38	42	LXS 4x25 + 16	37,40	100,00	5,40	3,221	4,91	7,66
39	43	LXS 4x25 + 16	23,40	100,00	18,00	10,430	34,18	10,52
42	44	LXS 4x16	35,80	75,00	5,40	3,216	7,49	7,85
42	45	LXS 4x25 + 16	44,20	100,00	0,00	0,000	0,00	7,66
43	46	LXS 4x25 + 16	36,20	100,00	6,70	3,866	7,31	10,67
43	47	LXS 5x16	33,30	75,00	10,40	6,020	25,96	10,86
46	48	LXS 4x25 + 16	123,70	100,00	5,60	3,226	17,46	11,10
46	49	XS 2x6	103,70	55,00	2,80	1,613	9,06	11,11
47	50	LXS 5x16	40,10	75,00	4,30	2,467	5,29	11,02
50	51	XS 2x6	25,30	55,00	2,80	1,606	2,21	11,13
50	52	XS 2x6	32,50	55,00	2,80	1,607	2,84	11,16

Estudo de novo circuito desde o PT nº 360/PRD até ao PVA

Tabela B.5 - Estatística das cargas no circuito proposto para alimentação do PVA.

Tipo	Número de clientes / Potência contratada [kVA]		Total	
	Industrial			
	Clientes	Potência	Clientes	Potência
Especiais	1	48,30	1	48,30
Total	1	48,30	1	48,30

Tabela B.6 - Trânsito de energia no circuito proposto para alimentação do PVA.

Nó i	Nó j	Equipamento	Comprimento	Limite Máx	Corrente Máxima	Corrente Neutro	Potência	Perdas
			m	A	A	A	kW	W
0	1	LXS 4x95	400,10	230,00	73,50	0,00	47,508	2596,24