



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica de Energia e Automação



Ferramenta Computacional para Projeto de Linhas Aéreas de Média Tensão

JOÃO PEDRO PELOURO VIEIRA
(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica)

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Energia

Orientador:

Prof.^a Dr.^a Cristina Inês Camus
Prof. Dr. Eduardo Adelino Mateus Nunes Eusébio

Júri:

Presidente: Prof. Luís Manuel dos Santos Redondo
1º Vogal: Prof.^a Cristina Inês Camus
2º Vogal: Prof. João Herminio Ninitas Lagarto

Dezembro de 2017



INSTITUTO SUPERIOR DE ENGENHARIA DE LISBOA

Área Departamental de Engenharia Eletrotécnica de Energia e Automação



Ferramenta Computacional para Projeto de Linhas Aéreas de Média Tensão

JOÃO PEDRO PELOURO VIEIRA
(Licenciado em Engenharia Eletrotécnica)

Dissertação para a obtenção do grau de Mestre em
Engenharia Eletrotécnica – Ramo de Energia

Orientador:

Prof.^a Dr.^a Cristina Inês Camus
Prof. Eduardo Adelino Mateus Nunes Eusébio

Júri:

Presidente: Prof. Luís Manuel dos Santos Redondo
1º Vogal: Prof.^a Cristina Inês Camus
2º Vogal: Prof. João Herminio Ninitas Lagarto

Dezembro de 2017

Dissertação realizada sob orientação de:

Professora Cristina Inês Camus

Professora Adjunta da Área Departamental
de Engenharia de Eletrotécnica de Energia e Automação

Professor Eduardo Adelino Eusébio

Professor Adjunto da Área Departamental
de Engenharia de Eletrotécnica de Energia e Automação

*“Strive not to be a success,
but rather to be of value.”*

Albert Einstein

Resumo

O conjunto de procedimentos necessários para a realização de um projeto de linhas aéreas de Média Tensão é um processo complexo, no qual devem, obrigatoriamente, ser considerados diversos cálculos e consultadas variadas tabelas em documentos normativos.

Por se tratar de um processo trabalhoso, que inclui a execução e comparação de inúmeros cálculos e parâmetros, surge a necessidade de agilizar este processo através da criação de uma aplicação informática para o efeito.

Esta aplicação será capaz de processar instantaneamente cálculos que executados manualmente ocupariam muito tempo, e acarretariam uma grande probabilidade de erro. Incluirá também um ficheiro de resultados prático onde o utilizador poderá analisar, trabalhar e imprimir os cálculos processados anteriormente pelo programa.

A aplicação realizará os cálculos dos apoios e das flechas seguindo as normas atuais para tal procedimento.

Palavra-chave: Linhas aéreas

Projeto

Cálculo Mecânico

Determinação das Flechas

Aplicação Informática

Abstract

Nowadays, energy distribution has a preponderant role to play at people's well-being and current society's operations, hence it must be target of a serious and careful approach, in both technical and practical level.

This report has as main goal to reduce the complexity to do an electrical line project, since it is such a laborious process. So, it was decided to develop a computer application to help in those calculations.

This computer application will be able to process instantly the calculations which otherwise, executed by hand, the task it would consume much more time, and it would have an enormous probability of error. This application will also include a practical result file, where the user can analyze, work and print the calculations previously processed by the program.

Keywords: Electrical Lines

Project

Mechanical Calculation

Sag Determination

Computer Application

Agradecimentos

Aos meus pais,

Pelos valores que me inculcaram e por terem sido os principais impulsionadores desta fase da vida em que me encontro.

Ao Instituto Superior de Engenharia de Lisboa,

Pelo orgulho de pertencer a esta instituição.

Aos meus orientadores, Cristina e Eusébio,

Pela disponibilidade, esforço e dedicação ao longo da dissertação e do meu percurso académico.

A todos os meus colegas, professores e funcionários do instituto,

Que de uma forma ou de outra marcaram o meu percurso académico e contribuíram para que pudesse chegar aqui.

Aos meus amigos e família,

Por todo apoio que me deram para concluir mais uma etapa na minha vida.

Índice

ÍNDICE	VII
ÍNDICE DE FIGURAS	XIII
LISTA DE ACRÓNIMOS	XV
LISTA DE SÍMBOLOS	XVII
1. INTRODUÇÃO	23
1.1 Enquadramento / Estado da Arte	23
1.2 Motivação	24
1.3 Objetivos.....	24
1.4 Estrutura do Documento	25
1.5 Notação.....	26
2. DOCUMENTAÇÃO LEGAL	28
2.1 Processos de ligação à rede elétrica.....	28
2.2 Ligação em Média Tensão.....	28
3. ELEMENTOS QUE CONSTITUEM UMA REDE DE LINHA AÉREA ..	35
3.1 Condutores	35
3.2 Isoladores	37
3.2.1 Isoladores rígidos.....	38
3.2.2 Isoladores em cadeia.....	39
3.3 Armações	42

3.4 Dispositivos de anti-nidificação	46
3.5 Apoios	49
4 CÁLCULO MECÂNICO	53
4.1 Tipos de esforços	53
4.2 Tensão máxima de tração.....	54
4.3 Estados atmosféricos.....	54
4.4 Força da ação do vento.....	55
4.6 Equação dos estados	58
4.7 Flechas dos condutores	58
4.8 Dimensionamento dos isoladores.....	60
4.9 Estabilidade dos apoios.....	62
5 DESCRIÇÃO DA APLICAÇÃO INFORMÁTICA.....	70
5.1 Base de construção.....	70
5.2 Programa de desenvolvimento	70
5.2.1 Vantagens do programa escolhido.....	71
5.2.2 Desvantagens do programa escolhido	71
5.3 Fluxograma	71
5.4 Base de dados	74
5.5 Interface.....	75
6 CASOS DE ESTUDO.....	83
6.1 Cálculo para uma derivação de uma linha principal	83

<i>6.2 Cálculo para uma transição aéreo-subterrânea</i>	<i>89</i>
<i>7 CONCLUSÕES E DESENVOLVIMENTOS FUTUROS</i>	<i>99</i>
<i>7.1 Conclusões.....</i>	<i>99</i>
<i>7.2 Desenvolvimentos futuros.....</i>	<i>101</i>
<i>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</i>	<i>103</i>
<i>ANEXO I – DIAGRAMAS DE ESFORÇOS DE UTILIZAÇÃO DOS APOIOS.....</i>	<i>109</i>
<i>ANEXO II – CARATERÍSTICAS DOS CONDUTORES.....</i>	<i>115</i>
<i>ANEXO III – CARATERÍSTICAS DOS ISOLADORES.....</i>	<i>119</i>
<i>ANEXO IV – CARATERÍSTICAS DAS ARMAÇÕES</i>	<i>123</i>
<i>APÊNDICE 1 – REDE DO CASO DE ESTUDO 1 E 2</i>	<i>129</i>
<i>APÊNDICE 2 – CÁLCULOS DO CASO DE ESTUDO 1.....</i>	<i>133</i>
<i>APÊNDICE 3 – CÁLCULOS DO CASO DE ESTUDO 2.....</i>	<i>151</i>

Índice de Tabelas

TABELA 1- CARATERÍSTICAS FÍSICAS, ELÉTRICAS E MECÂNICAS [2].....	36
TABELA 2- TIPOS DE ARMAÇÕES [5]	42
TABELA 3 - TIPOS DE DISPOSITIVOS DE ANTI-NIDIFICAÇÃO [8]	47
TABELA 4- VALORES DA PRESSÃO DINÂMICA DO VENTO, EM FUNÇÃO DA ALTURA ACIMA DO SOLO, ARTIGO 13º DO RSLEAT ...	55
TABELA 5- VALORES DE COEFICIENTE DE REDUÇÃO, ARTIGO 14º DO RSLEAT	56
TABELA 6- VALORES DO COEFICIENTE DE FORMA, ARTIGO 15º DO RSLEAT	56
TABELA 7-TEMPERATURA A CONSIDERAR PARA O ESTADO DE VERÃO, ARTIGO 22º DO RSLEAT	58
TABELA 8- RELAÇÃO ENTRE O NÍVEL DE POLUIÇÃO E A LINHA DE FUGA ESPECÍFICA, ARTIGO 50º DO RSLEAT	61
TABELA 9- COMPARAÇÃO DE RESULTADOS PARA O 1º CASO DE ESTUDO	89
TABELA 10- COMPARAÇÃO DE RESULTADOS PARA O 2º CASO DE ESTUDO	94

Índice de Figuras

FIGURA 1- RESUMO DA TRAMITAÇÃO DE LIGAÇÃO À REDE MT [1]	31
FIGURA 2- SECÇÃO TRANSVERSAL DO CABO ALUMÍNIO-AÇO [2]	37
FIGURA 3- SECÇÃO TRANSVERSAL DO CABO DE LIGA DE ALUMÍNIO [2].....	37
FIGURA 4- ISOLADOR RÍGIDO	38
FIGURA 5- ISOLADOR DE CAMPÂNULA U70BS	39
FIGURA 6- CADEIA DE ISOLADORES EM SUSPENSÃO	40
FIGURA 7 - CADEIAS DE AMARRAÇÃO ASCENDENTE E DESCENDENTE.....	40
FIGURA 8 - CADEIAS DE AMARRAÇÃO	41
FIGURA 9 - ARMAÇÃO EM ESTEIRA HORIZONTAL REFORÇADA.....	43
FIGURA 10 - ARMAÇÃO EM TRIÂNGULO PARA ALINHAMENTO.....	43
FIGURA 11 - ARMAÇÃO EM TRIÂNGULO PARA ÂNGULO	43
FIGURA 12 - ARMAÇÃO EM GALHARDETE PARA ALINHAMENTO.....	44
FIGURA 13 - ARMAÇÃO EM GALHARDETE PARA ÂNGULO	44
FIGURA 14 - ARMAÇÃO EM ESTEIRA VERTICAL PARA ALINHAMENTO.....	44
FIGURA 15 - ARMAÇÃO EM ESTEIRA VERTICAL PARA ÂNGULO	45
FIGURA 16 - ARMAÇÃO EM ESTEIRA HORIZONTAL PARA PT'S	45
FIGURA 17 - ARMAÇÃO EM PÓRTICO PARA ALINHAMENTO	45
FIGURA 18 - ARMAÇÃO EM PÓRTICO PARA ÂNGULO.....	46
FIGURA 19- NÚMERO DE INTERRUPÇÕES PROVOCADAS POR CEGONHAS ENTRE 2008 E 2011 EM PORTUGAL [6].....	47
FIGURA 20 - DISPOSITIVOS DE ANTI-NIDIFICAÇÃO	48
FIGURA 21- PLATAFORMA DE NIDIFICAÇÃO [8]	49
FIGURA 22- APOIOS DE MT	50
FIGURA 23- ESTADO ATMOSFÉRICO MAIS DESFAVORÁVEL.....	57
FIGURA 24- VÃO EM PATAMAR.....	59
FIGURA 25- VÃO EM DESNÍVEL.....	60
FIGURA 26- APOIO DE ÂNGULO.....	63
FIGURA 27- APOIO DE DERIVAÇÃO EM ÂNGULO.....	64
FIGURA 28- APOIO DE DERIVAÇÃO EM REFORÇO.....	64
FIGURA 29- APOIO FIM DE LINHA	65
FIGURA 30- EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO DE ESFORÇOS DOS APOIOS NUMA TABELA [12]	66
FIGURA 31- EXEMPLO DE VERIFICAÇÃO DE ESFORÇOS DOS APOIOS NUM DIAGRAMA [13]	67
FIGURA 32- FLUXOGRAMA GERAL DA APLICAÇÃO.....	72
FIGURA 33- VALIDAÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE UMA DERIVAÇÃO A PARTIR DA LINHA PRINCIPAL	73
FIGURA 34- VALIDAÇÃO PARA DIMENSIONAMENTO DE UMA REDE A PARTIR DE UMA TRANSIÇÃO AÉREO-SUBTERRÂNEA/ FIM DE LINHA	74

FIGURA 35- MENU INICIAL.....	75
FIGURA 36- MENU DE INICIAÇÃO PARA A CRIAÇÃO DE UMA NOVA REDE	76
FIGURA 37- MENU PARA INSERÇÃO DOS DADOS DA NOVA REDE	77
FIGURA 38- BOTÕES USADOS PARA AVANÇAR OU RETROCEDER NAS ETAPAS.....	77
FIGURA 39- BOTÃO USADO PARA LIMPAR OS DADOS PREENCHIDOS NO MENU	77
FIGURA 40- EXEMPLO DE AVISO APÓS INCOERÊNCIA NOS DADOS INSERIDOS.....	78
FIGURA 41- ÚLTIMO MENU	79
FIGURA 42- PERFIL DA LINHA EM AUTOCAD DA DERIVAÇÃO E DOS TRÊS PRIMEIROS APOIOS.	83
FIGURA 43- PREENCHIMENTO DOS DADOS DA LINHA QUE SE PRETENDE REALIZAR A DERIVAÇÃO	84
FIGURA 44- PREENCHIMENTO DOS DADOS DA DERIVAÇÃO A REALIZAR NO APOIO DA DERIVAÇÃO.....	85
FIGURA 45- PREENCHIMENTO DOS DADOS DA REDE A PROJETAR	86
FIGURA 46- CÁLCULO DOS APOIOS.....	87
FIGURA 47- MAPA DE QUANTIDADES	87
FIGURA 48- 5ª FLECHA DE REGULAÇÃO E DE MONTAGEM EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	88
FIGURA 49- PERFIL DA LINHA EM AUTOCAD COM A TRANSIÇÃO AÉREO-SUBTERRÂNEA E OS TRÊS APOIOS SEGUINTE.....	90
FIGURA 50- PREENCHIMENTO DOS DADOS DA REDE A PROJETAR.....	90
FIGURA 51- PREENCHIMENTO DOS DADOS DA DERIVAÇÃO DA NOVA REDE	91
FIGURA 52- CÁLCULO DOS APOIOS.....	92
FIGURA 53- MAPA DE QUANTIDADES	92
FIGURA 54- 1ª FLECHA DE REGULAÇÃO E DE MONTAGEM EM FUNÇÃO DA TEMPERATURA	93

Lista de Acrónimos

- ❖ DDN Dispositivos De anti-Nidificação
- ❖ DGEG Direção-Geral de Energia e Geologia
- ❖ DL Decreto-Lei
- ❖ EDP Energias de Portugal
- ❖ IEEE Institute of Electrical and Electronics Engineers
- ❖ MT Média Tensão
- ❖ NIF Número de Identificação Fiscal
- ❖ NIPC Número de Identificação de Pessoa Coletiva
- ❖ PT Posto de Transformação
- ❖ QGBT Quadro Geral de Baixa Tensão
- ❖ RSLEAT Regulamento de Segurança de Linha Elétrica de Alta Tensão

Lista de Símbolos

c	Coeficiente de forma	
d	Diâmetro do condutor	m
E	Módulo de elasticidade	daN/mm ²
e	Espessura da manga de gelo	m
F_v	Força proveniente da ação do vento	daN/m
F_{vc}	Força proveniente da ação do vento na cadeia de isoladores	daN
F_x	Solicitação mecânica transversal à linha	daN
F_y	Solicitação mecânica longitudinal à linha	daN
F_z	Solicitação mecânica vertical à linha	daN
f_x	Esforço transversal à linha calculado	daN
f_y	Esforço longitudinal à linha calculado	daN
h_L	Altura do desnível entre dois apoios	m
L	Comprimento do vão	m
L_1	Comprimento do vão com desnível	m
L_{cr}	Vão crítico	m
L_d	Vão de derivação	m
L_{eq}	Vão equivalente	m
L_f	Linha de fuga mínima	mm
L_{fe}	Linha de fuga específica	mm/kV
L_{fisol}	Comprimento da linha de fuga de um isolador que está indicado nas suas características técnicas	mm
L_i	Somatório de vãos	m
m_i	Coeficiente de sobrecarga para o estado atmosférico i	
m_k	Coeficiente de sobrecarga para o estado atmosférico de Verão	
m_1	Coeficiente de sobrecarga para o estado atmosférico de Inverno	
m_2	Coeficiente de sobrecarga para o estado atmosférico de Primavera	
P_a	Peso da armação	kg
P_{cis}	Peso da cadeia de isoladores	kg
q	Pressão dinâmica do vento	Pa
T	Tensão de rutura dos condutores	daN
T_k	Tensão mecânica no estado de fleche máxima	daN/mm ²
t_{max}	Tensão máxima de serviço, estipulada para o estado mais desfavorável	daN/mm ²
t_{mk}	Tensão de montagem a determinar	daN/mm ²
T_{seg}	Tensão máxima de tração	daN/mm ²
U_n	Tensão nominal	kV
σ	Seção do condutor	mm ²
α	Coeficiente de redução	
α_d	Coeficiente de dilatação térmica	°C ⁻¹
β	Ângulo entre o eixo xx' e o vão S ₂	g
β_1	Ângulo associado ao vão S ₁	g
β_2	Ângulo associado ao vão S ₂	g
β_d	Ângulo entre o eixo xx' e o vão S _d	g
ω	Peso específico linear do condutor	daN/m
ρ_{gelo}	Peso específico do gelo	kg/dm ³

Θ_i	Temperatura no estado mais desfavorável	°C
Θ_k	Temperatura no estado de Verão	°C
Θ_1	Temperatura no estado atmosférico de Inverno	°C
Θ_2	Temperatura no estado atmosférico de Primavera	°C

Capítulo 1

Introdução

Neste capítulo realiza-se uma abordagem à temática da utilização de aplicações informáticas na simplificação dos processos de dimensionamento. Faz-se um enquadramento da problemática em estudo, enuncia-se os principais pontos que motivaram a análise desta temática e refere-se qual o objeto de estudo implícito na mesma. Especifica-se a organização, bem como a notação utilizadas na elaboração deste documento.

1. Introdução

1.1 Enquadramento / Estado da Arte

Nas últimas décadas, a energia elétrica tornou-se um bem cada vez mais essencial para a sociedade, sendo um recurso primordial no desenvolvimento tecnológico e na crescente industrialização.

Acompanhando o crescimento demográfico e a conseqüente evolução dos consumos, a rede de distribuição tem sido reforçada e modernizada, de forma a dar resposta a estas exigências. A rede de distribuição de energia elétrica, atualmente explorada pela EDP Distribuição, é composta pelas redes elétricas primárias (redes de distribuição de alta e média tensão) e pelas redes elétricas secundárias (redes de distribuição de baixa tensão).

As redes de distribuição primárias, são circuitos elétricos trifásicos com três condutores, ligados nas subestações de distribuição. Nesta rede existem diferentes níveis de tensão, dependendo da sua localização geográfica, podendo ser 6 kV, 10 kV, 15 kV ou 30 kV. O transporte de energia que vai desde a subestação até ao posto de transformação, pode ser feito através de dois modos, através de linhas elétricas apoiadas em postes ou por cabos subterrâneos.

As redes de distribuição secundárias, são circuitos elétricos trifásicos com quatro condutores (três fases e um neutro), normalmente operam nas tensões (fase-fase/fase-neutro) 400/230 volts. Este nível de tensão é obtido no lado do secundário do transformador, que depois de sair do QGBT é distribuído pelos consumidores, tais como residências, lojas, restaurantes, etc., e também luminárias de iluminação pública.

Neste trabalho, irei abordar apenas as redes de distribuição primárias, e terei como principais objetivos, elaborar um *software* para cálculo dos apoios e as flechas para uma linha elétrica de média tensão e paralelamente determinar a quantidade de material a aplicar para a execução da obra.

1.2 Motivação

É previsível que o fornecimento de energia elétrica seja abrangido para toda a população a nível nacional. Nesse sentido, é necessário expandir a rede de distribuição a todos os locais geográficos em que existam populações. Para além de expandir, é necessário remodelar as redes de distribuição existentes, de forma a diminuir o impacto ambiental e aumentar a eficiência energética e a segurança da rede.

Em 2015 a rede de distribuição de MT existente em Portugal era 72570 km [1], contudo este valor tem tendência a aumentar, por existirem várias razões a levarem-nos à criação de linhas de média tensão, tais como:

- Pedidos de fornecimentos de energia de novos clientes
- Modificação/Remodelação do traçado de linhas existentes
- Ligação a novos postos de transformação
- Investimentos das empresas

Este último tópico surge por iniciativa do departamento de planeamento da empresa, e destina-se a melhorar a qualidade de serviço.

Pretende-se com este estudo determinar, a melhor traçado possível quer para a linha quer para a localização dos apoios de maneira a obter baixos custos e alta fiabilidade.

1.3 Objetivos

Numa primeira fase será apresentado os processos de cálculos para a elaboração de um projeto de linhas aéreas de MT.

Depois do estudo inicial estar cumprido será elaborado a solução matemática que melhor se poderá implementar como algoritmo de um *software* informático que permita alcançar os apoios a aplicar e as flechas entre os apoios.

Posteriormente, desenrolar-se-á a criação da aplicação informática, na qual, após a introdução das características da rede a projetar por parte do utilizador, esta automaticamente efetuará os cálculos para a determinação dos apoios e das flechas do projeto. Estes serão entregues ao utilizador através de um relatório também efetuado pela aplicação.

Com base nos relatórios fornecidos pela aplicação, é possível projetar uma rede de MT com todos os seus constituintes.

1.4 Estrutura do Documento

A presente dissertação encontra-se estruturada em sete capítulos metodicamente organizados, sendo iniciada com uma abordagem geral da problemática em estudo e do estado arte, legislação em vigor para o caso em estudo, algumas definições teóricas, métodos e procedimentos de cálculo manual e informático, passando por exemplos práticos e finalizando com conclusões e possíveis desenvolvimentos futuros.

No primeiro capítulo é realizado um enquadramento da composição da rede de distribuição de energia elétrica em Portugal, é referida a motivação e objeto de estudo que impulsionaram à realização da presente dissertação e, por fim, é exposta a notação utilizada neste documento.

No segundo capítulo é feita uma análise ao método legal para se realizar um pedido de ligação à rede em MT, estando esquematizado toda a tramitação necessária para a obtenção da aprovação para a ligação da energia.

No terceiro capítulo é feita uma análise teórica ao conceito de linhas aéreas de MT e são definidos os materiais que a constituem.

No quarto capítulo é apresentada a regulamentação e legislação que suporta os métodos de cálculo em estudo. É apresentado os tipos de esforços que podem ser solicitados aos apoios e as fórmulas para cada um desses casos, para além das flechas a determinar para cada um dos cantões.

No quinto capítulo são enunciados os objetivos da ferramenta computacional, o motivo que levou à escolha do programa utilizado para o seu desenvolvimento. Por fim, é explicado toda a estrutura e forma de utilização do programa.

No sexto capítulo são apresentados casos de estudo, que são obtidos com recurso à aplicação desenvolvida e posteriormente comparados com projetos reais da EDP Distribuição. Foram realizados dois casos de estudo para cada uma das duas situações possíveis de ocorrer na rede aérea.

Por último, o sétimo capítulo, são apresentadas as conclusões provenientes do estudo elaborado e são indicados possíveis desenvolvimentos futuros para a ferramenta computacional.

1.5 Notação

A identificação de referências bibliográficas será representada entre parênteses retos [], a numeração de expressões é apresentada com “Eq.” seguida do número que terá dois algarismos, o primeiro referente ao número do capítulo em que este se encontra e o segundo representa o número da equação em cada capítulo. Em relação às figuras e tabelas estas são apresentadas igualmente com dois algarismos, com referência ao capítulo em que são apresentadas e numeradas de forma sequencial. Posteriormente ao índice de tabelas e figuras são apresentadas as listas de acrônimos e símbolos. Expressões em língua estrangeira são apresentadas em formato itálico.

As referências bibliográficas estão apresentadas de acordo com a norma do *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, IEEE.

Capítulo 2

Documentação Legal

Neste capítulo é feita uma análise ao processo legal para se realizar um pedido de ligação à rede em MT, estando esquematizado toda a tramitação necessária para a obtenção da aprovação para a ligação da energia.

2. Documentação legal

2.1 Processos de ligação à rede elétrica

Para fornecer ou receber energia elétrica é preciso proceder-se a uma ligação à rede elétrica de distribuição pública em baixa, média ou alta tensão.

De acordo com as necessidades do cliente, dever-se-á escolher a ligação mais apropriada do ponto de vista técnico-económico, e requerer junto do distribuidor de energia um orçamento para a sua execução [2]:

- ✓ Baixa Tensão – instalações alimentadas ao nível de tensão 230/400V, destinados a clientes residenciais, lojas, escritórios e pequenas empresas.
 - Baixa tensão normal (BTN), para potências contratadas entre 1,15 kVA e 41,4 kVA.
 - Baixa tensão especial (BTE), para potências contratadas superiores a 41,4 kW.
- ✓ Média Tensão – destina-se tipicamente a empresas ou grandes prédios urbanos com potências superiores a 100 kVA, alimentados ao nível de tensão de 10, 15 ou 30 kV, conforme a sua localização geográfica.
- ✓ Alta Tensão – destina-se tipicamente a empresas com potências instaladas superiores a 10 MVA, alimentadas ao nível de tensão de 60 kV.

A escolha do nível de tensão será da responsabilidade do requisitante, que terá de ter em conta os critérios técnicos e económicos, essencialmente relacionados com as tarifas de consumo, investimento inicial, custos de manutenção e nível de qualidade de serviço pretendida [2].

As instalações de serviço particular do tipo A, B e C, cuja potência instalada seja superior a 50 kVA, carecem de projeto elétrico.

2.2 Ligação em Média Tensão

Antes do pedido de ligação à rede, o requisitante deverá juntamente com o seu técnico responsável e o gestor de cliente da EDP Distribuição, analisar as necessidades específicas da instalação, nomeadamente em relação a [2]:

- ✓ Caraterísticas do ponto de entrega;
- ✓ Exigências de continuidade e qualidade de serviço;
- ✓ Potência e nível de tensão a requisitar ao fornecedor de energia. O valor da potência requisitada irá limitar a potência máxima a contratar, visto que não poderá ser superior à potência requisitada nem inferior a 75% da potência instalada.

Após a análise das necessidades, o requisitante deverá dirigir-se à EDP Distribuição para efetuar o pedido de ligação à rede, (ou aumento de potência). De modo a formalizar o pedido, é necessário fornecer um conjunto de dados com vista à obtenção de condições e orçamento.

O requisitante deverá apresentar os seguintes documentos [2]:

- ✓ Cartão de contribuinte (NIF ou NIPC);
- ✓ Projeto de eletricidade de categoria B aprovado de acordo com o previsto no DL 517/80 de 31 de Outubro e com as atualizações do DL 101/2007 de 2 de Abril;
- ✓ Planta topográfica à escala 1:25000 e 1:2000, com a localização prevista para o ponto de entrega (com as coordenadas geográficas);
- ✓ Dados técnicos da requisição de ligação, nomeadamente:
 - Identificação do requisitante e da instalação;
 - Caraterísticas técnicas da instalação;
 - Caraterísticas dos componentes eletrónicos suscetíveis de induzir perturbações na qualidade da onda de tensão;
 - Necessidade de alimentação alternativa.

No prazo de aproximadamente 30 dias úteis, após a formalização do pedido, serão apresentadas as condições dos elementos de ligação à rede que contemplam [2]:

- ✓ Orçamento;
- ✓ Prazos de validade das condições e de pagamento;
- ✓ Prazos e opções de execução;
- ✓ Informações das caraterísticas técnicas da ligação e as dimensões da instalação;
- ✓ Materiais a utilizar.

Posteriormente, à aceitação das condições de ligação e pagamento dos encargos constantes do orçamento, será executada a ligação pela EDP Distribuição ou pelo próprio requisitante, através de empresas certificadas para o efeito, mediante acordo prévio com a EDP Distribuição.

No caso da construção dos elementos de ligação à rede ser feita pelo requisitante, este deverá solicitar à EDP Distribuição o estudo de ligação à rede que serviu de base à elaboração do orçamento que inclui, nomeadamente [2]:

- ✓ As condições técnicas da ligação e as normas construtivas aplicáveis;
- ✓ A utilização de materiais aprovados pela EDP Distribuição

A execução da obra por administração direta do requisitante, implica ter uma empresa prestadora do serviço para o efeito, de acordo com o Sistema Português de Qualidade ou em alternativa ser reconhecida pela EDP Distribuição com capacidade para a execução de tais obras. O requisitante obriga-se a prestar uma garantia por um prazo de dois anos para suprir eventuais deficiências de construção.

Depois da execução da obra, os elementos de ligação passam a fazer parte integrante das redes, cuja exploração é da responsabilidade da EDP Distribuição.

Para finalizar, o fornecimento de energia elétrica só se poderá concretizar após [2]:

- ✓ Execução da ligação à rede;
- ✓ Liquidação de encargos de ligação à rede;
- ✓ Licenciamento, vistoria e autorização da entrada em exploração pela DGEG:
 - Instalação do Requisitante;
 - Elementos de ligação à rede.
- ✓ Protocolo de Exploração da instalação;
- ✓ Contrato de fornecimento de energia elétrica em comercializador de mercado.

O resumo da tramitação necessária para se efetuar uma ligação à rede de média tensão é apresentado a seguir na Figura 1.

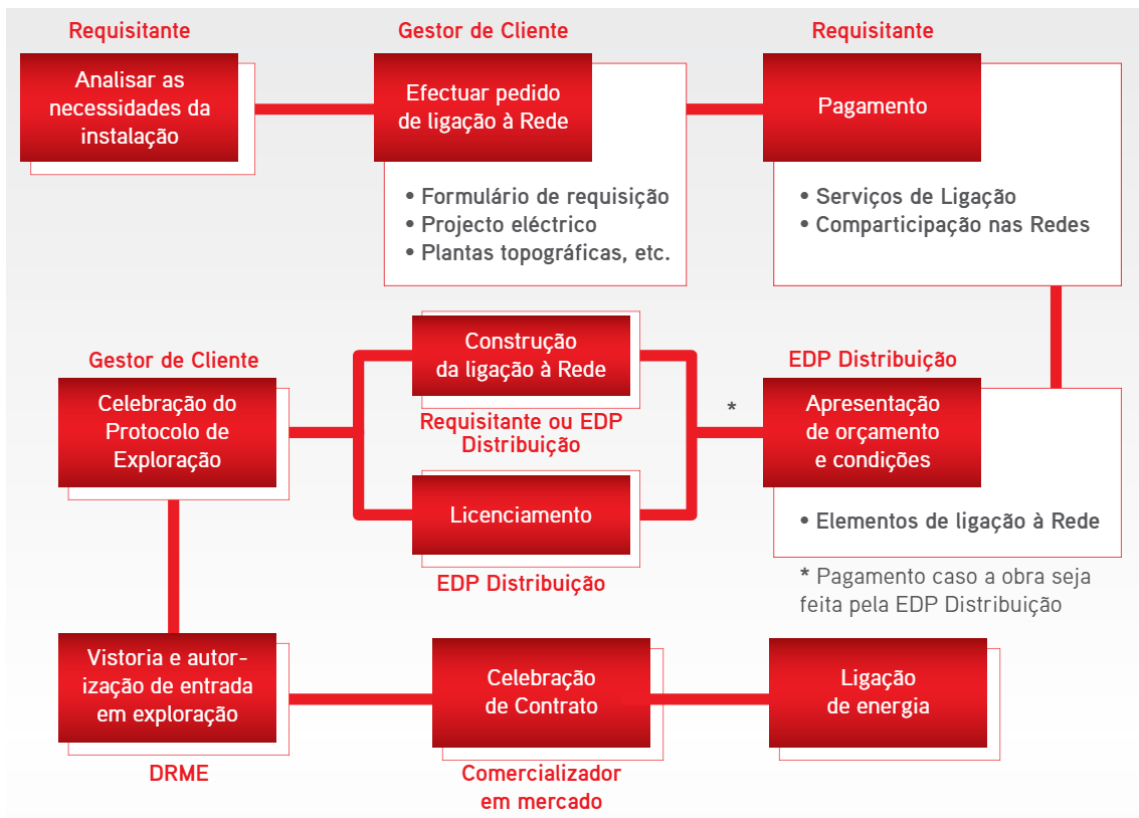


Figura 1- Resumo da tramitação de ligação à rede MT [2]

Capítulo 3

Elementos que constituem uma rede de linha aérea

Neste capítulo é feita uma abordagem geral aos equipamentos que constituem uma rede de transporte em linha aérea de MT e apresentadas algumas fotografias exemplificativas para cada situação.

3. Elementos que constituem uma rede de linha aérea

O projeto de montagem ou remodelação de uma linha aérea, começa com o levantamento topográfico do terreno, que consiste na elaboração do perfil do terreno e da planta parcelar, onde se observam os edifícios, os objetos que ficarão perto das linhas, bem como as linhas de telecomunicações e de baixa, média e alta tensão. Tendo por base estes fatores, é então escolhido o traçado da linha.

O desempenho das linhas elétricas está diretamente relacionado com a escolha dos componentes. Os componentes devem ser escolhidos tendo em conta as solicitações elétricas e mecânicas a que serão submetidos, não esquecendo que uma linha elétrica deve ser essencialmente fiável, eficiente e económica.

Nos subcapítulos seguintes, serão descritos os elementos necessários para a constituição de uma linha aérea, sendo estes:

- ✓ Condutores;
- ✓ Isoladores;
- ✓ Armações;
- ✓ Dispositivos de anti-nidificação;
- ✓ Apoios;

3.1 Condutores

Os condutores de uma linha devem ser escolhidos, tendo em conta as correntes que serão percorridos e as tensões mecânicas a que estarão submetidos, que variam com as condições ambientais, não descurando o aspeto económico.

Os principais tipos de condutores utilizados em linhas aéreas são condutores nus de cobre, alumínio com alma de aço e ligas de alumínio. A preferência do alumínio, ou suas ligas, na utilização na rede de linhas aéreas, deve-se principalmente às vantagens técnicas e económicas que proporcionam comparativamente ao cobre. São de salientar as seguintes considerações [3]:

- ✓ Relação condutividade elétrica/peso: através da análise da Tabela 1, pode-se constatar que, para um condutor de alumínio apresentar uma condutividade

equivalente à do cobre é necessário que a sua secção seja 1,6 vezes superior, e como resultado, o peso do condutor de alumínio terá 48% do peso do condutor de cobre;

- ✓ Relação resistência mecânica/peso: Como a secção do condutor de alumínio tem um valor 1,6 vezes superior à do cobre, obtemos uma tensão limite de rutura idêntica para ambos os condutores. Sabendo que, a resistência de rutura do alumínio é baixa, é necessário acrescentar fios de aço na composição do cabo, proporcionando-lhe assim, uma relação resistência mecânica/peso superiores à do cobre. Desta forma, pode-se reduzir o número de apoios e de materiais necessários à montagem, para além de permitir menores flechas para os condutores.
- ✓ Economia: o baixo preço associado à sua estabilidade no tempo, fazem com que o alumínio, seja o metal escolhido para aplicação nas linhas aéreas.

Tabela 1- Características físicas, elétricas e mecânicas [3].

Características	Unidades	Cobre	Alumínio	Liga	ACS	Aço
Massa específica	Kg/dm ³	8,89	2,703	2,703	6,59	7,78
Coefficiente dilatação linear	°C ⁻¹	17,0x10 ⁻⁶	23,0x10 ⁻⁶	23,0x10 ⁻⁶	13,0x10 ⁻⁶	11,5x10 ⁻⁶
Modulo de elasticidade	Kg/mm ²	12700	7000	7000	16200	20700
Resistividade a 20°C	Ω.mm ² /m	0,017774	0,028264	0,0305 a 0,0325	0,0848	0,1916
Condutividade a 20°C (%)	I.A.C.S.	97,0	61,0	52,5	20,3	9,0
Coef. Temp. a 20°C	°C ⁻¹	0,00381	0,00403	0,00360	0,00360	-
Calor específico a 20°C	Kcal/Kg°C	0,092	0,215	0,215	0,136	0,110

Pelas razões descritas acima, optou-se por utilizar na rede nacional exclusivamente condutores de alumínio-aço ou de ligas de alumínio.

Os condutores de alumínio com alma de aço (Figura 2) são condutores cableados concêntricos, compostos por uma ou mais camadas de fios de alumínio, e um núcleo (alma) de aço galvanizado de alta resistência, que permite obter ao cabo uma maior resistência mecânica. Devido às numerosas combinações possíveis de fios de alumínio e aço, pode-se variar a proporção dos mesmos, com objetivo de atingir a melhor relação entre corrente transportada e resistência mecânica [3].

Dado que a distribuição de energia elétrica é feita em corrente alternada a passagem da corrente é assegurada exclusivamente pelo alumínio, que se encontra na superfície do condutor, enquanto que a resistência mecânica é fornecida exclusivamente pelo aço, situado no centro do condutor.



Figura 2- Seção transversal do cabo alumínio-aço [3]

Os condutores de liga de alumínio (Figura 3) são condutores cableados concêntricos, compostos por uma ou mais camadas de fios de liga de alumínio. Estes condutores são normalmente utilizados em substituição dos alumínio-aço, quando se pretende obter uma maior resistência à corrosão [3].

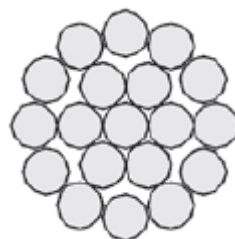


Figura 3- Seção transversal do cabo de liga de alumínio [3]

3.2 Isoladores

Os isoladores das linhas aéreas são constituídos por material dielétrico (vidro, porcelana e outros materiais, não suscetíveis de deterioração) que desempenham funções elétricas e

mecânicas. Do ponto de vista mecânico, os isoladores devem fixar os condutores às estruturas do apoio, enquanto que, do ponto de vista elétrico, têm a funcionalidade de evitar a passagem de corrente do condutor para os apoios e armações.

Os isoladores são escolhidos de acordo com a tensão elétrica a que vão ser expostos e às tensões mecânicas que terão de suportar, por isso, devem apresentar dimensões e formas apropriadas ao ambiente em que serão utilizados.

Nas linhas aéreas de média tensão até 30 kV, inclusive, podem utilizar-se isoladores rígidos, de eixo vertical ou de eixo horizontal (Figura 4), ou isoladores de cadeia (Figura 5) [4].

3.2.1 Isoladores rígidos

Os isoladores rígidos são constituídos por componentes isolantes e metálicos e pelo material ligante que os justapõe, os isoladores estão rigidamente fixados na armação do apoio, garantindo por si só, as condições de isolamento do condutor. A utilização dos isoladores rígidos, restringe-se às linhas com condutores de cobre nu de secção não superior a 50 mm² ou com condutores de alumínio-aço, ou de ligas de alumínio, de secção não superior a 70 mm², mas somente em apoios de alinhamento. Todavia, os isoladores de eixo vertical poderão, ainda, ser utilizados em apoios de ângulo pouco pronunciados (≤ 20 grados) [5].



Figura 4- Isolador rígido

Atualmente, já não se escolhem isoladores rígidos para implementação em novas instalações, ficando a escolha limitada aos isoladores em cadeia.

3.2.2 Isoladores em cadeia

Os isoladores em cadeia (Figura 5), são fixados articuladamente à armação do apoio, garantindo a fixação, por si só, ou associados a outros idênticos em forma de cadeia. Os isoladores em cadeia, são constituídos por vários isoladores de campânula de porcelana, vidro ou resina artificial, por componentes metálicos e pelo material ligante que as justapõe, podendo ser estabelecidos em cadeias de amarração ou cadeias de suspensão conforme a posição do apoio [5].



Figura 5- Isolador de campânula U70BS

As cadeias de suspensão correspondem a cadeias verticais, onde os condutores das linhas se encontram suspensos (Figura 6). Segundo o RSLEAT, só é permitido ter sete apoios consecutivos com cadeias de isoladores em suspensão.



Figura 6- Cadeia de isoladores em suspensão

As cadeias de amarração correspondem a cadeias horizontais, podendo ser dispostas de forma ascendente ou de forma descendente, conforme o posicionamento dos condutores. Sempre que os condutores se situem numa posição superior ao da armação, deverão posicionar-se no sentido ascendente, e na situação contrária, para o sentido descendente, tal como se pode observar na Figura 7. Estas disposições, têm como objetivo, evitar a acumulação de água da chuva na campânula do isolador.



Figura 7 - Cadeias de amarração ascendente e descendente

As cadeias poderão de amarração simples (A), constituída por dois ou três isoladores (dependendo no nível de tensão) nas linhas aéreas de MT, simples reforçada (AR), constituída por três ou quatro isoladores (dependendo no nível de tensão) ou com hastes de descarga (AH), conforme ilustrado na Figura 8. As hastes de descarga têm como finalidade, proteger a cadeia de isoladores e o condutor dos efeitos nocivos causados pelos arcos de contornamento resultantes das sobretensões atmosféricas [4].

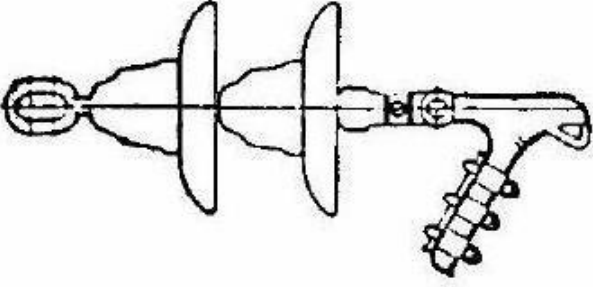
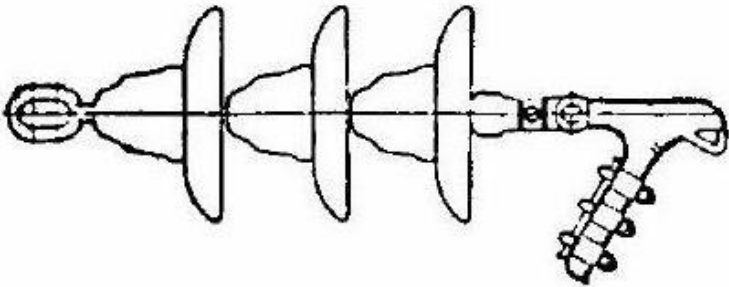
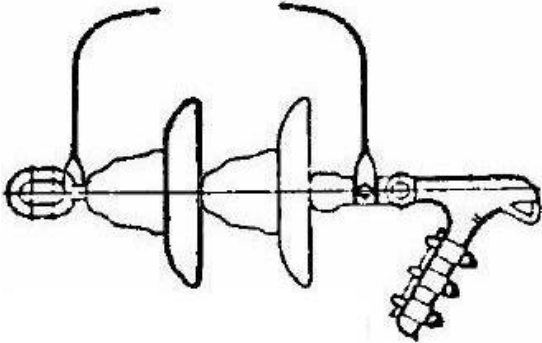
	<p>Cadeia de amarração simples (A)</p>
	<p>Cadeia de amarração simples reforçada (AR)</p>
	<p>Cadeia de amarração simples com hastes de descarga (AH)</p>

Figura 8 - Cadeias de amarração

Existem certos pontos num projeto de linhas aéreas de MT, em que já está “predefinido” o uso de amarrações e de suspensões. As cadeias de amarração devem ser usadas nas seguintes situações:

- ✓ Aquando da existência de ângulos superiores a 20 grados;
- ✓ No início, no fim e nas derivações das linhas;
- ✓ Num apoio em reforço.

Enquanto as cadeias de suspensão são usadas nas seguintes situações:

- ✓ Zonas com pouca variação do relevo;

- ✓ Apoios de alinhamento ou de ângulos inferiores a 20 graus, com armações em galhardete ou em triângulo.

3.3 Armações

As armações são estruturas metálicas utilizadas no topo dos apoios, destinadas a suportar os condutores e os isoladores. As disposições das armações mais aplicadas na rede aérea são em esteira horizontal, em esteira vertical, em triângulo ou em galhardete. Para cada disposição é recomendado o uso de um tipo de armação específica, como descrito na Tabela 2 e representado da Figura 9 à Figura 18.

Tabela 2- Tipos de armações [6]

Tipos de armação	Função	Disposição
HRFSC	Alinhamento, ângulo, derivação, reforço e fim de linha	Esteira horizontal
TAL	Alinhamento e ângulos até 20 graus	Triângulo
TAN	Ângulo, reforço e fim de linha	Triângulo
GAL	Alinhamento	Galhardete
GAN	Ângulo	Galhardete
VAL	Alinhamento	Esteira vertical
VAN	Ângulo, reforço e fim de linha	Esteira vertical
HTP4	PT aéreo	Esteira horizontal
PAL	Alinhamento	Pórtico
PAN	Ângulo, reforço e fim de linha	Pórtico

✓ HRFSC (Armação em Esteira Horizontal Reforçada)

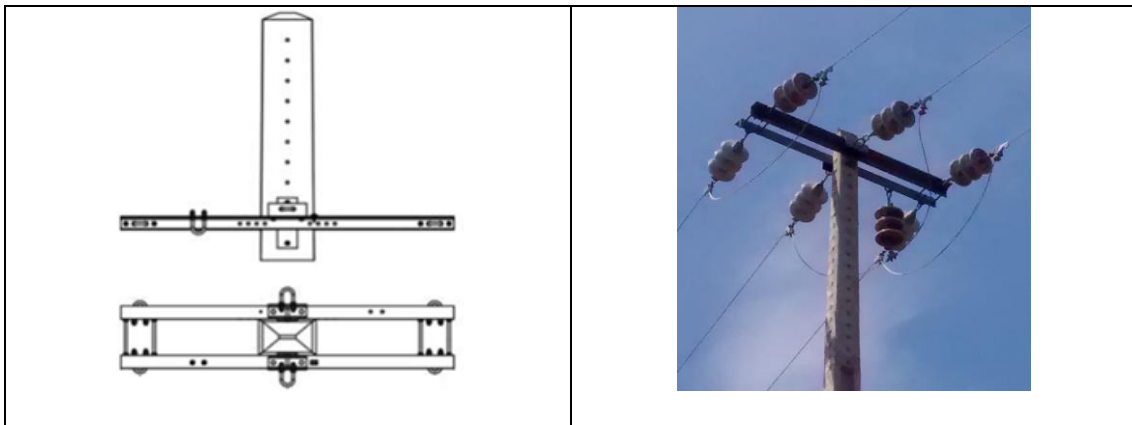


Figura 9 - Armação em esteira horizontal reforçada

✓ TAL (Armação em Triângulo para Alinhamento)

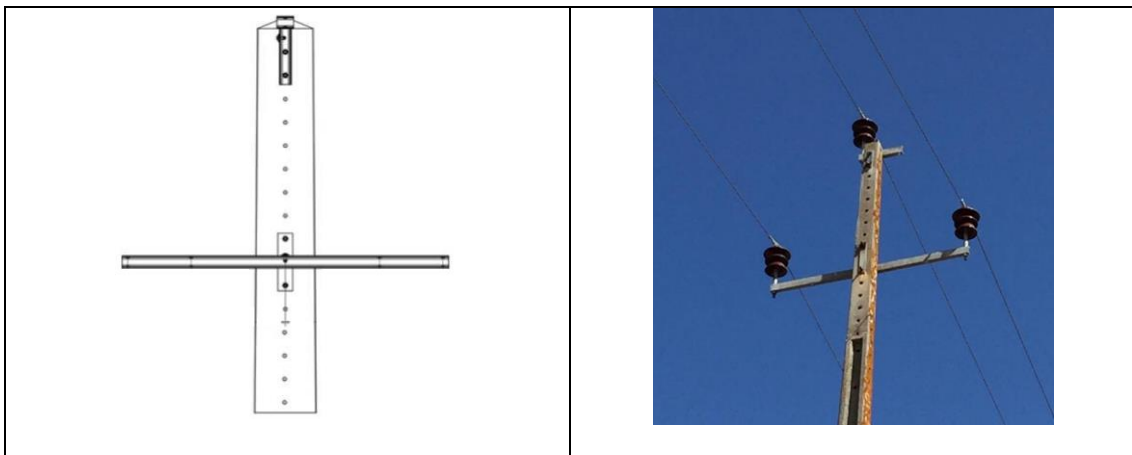


Figura 10 - Armação em triângulo para alinhamento

✓ TAN (Armação em Triângulo para Ângulo)

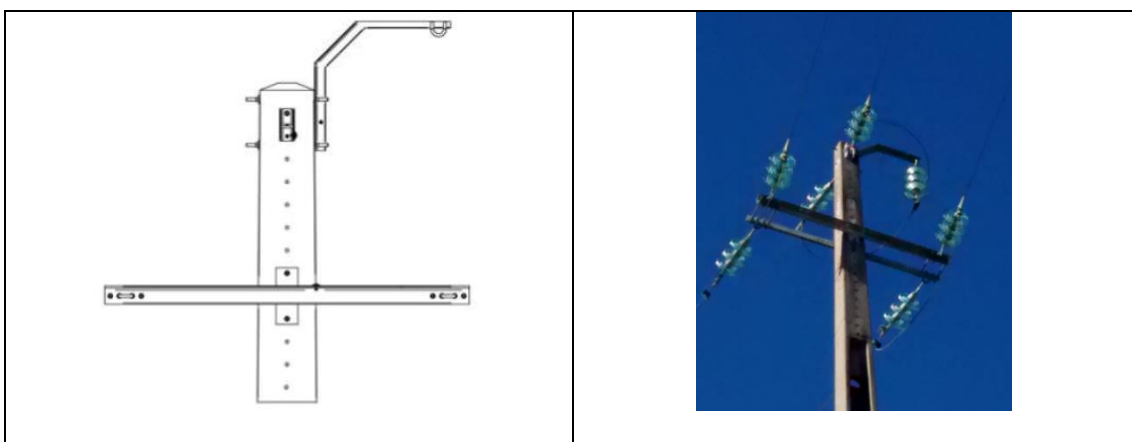


Figura 11 - Armação em triângulo para ângulo

✓ GAL (Armação em Galhardete para Alinhamento)

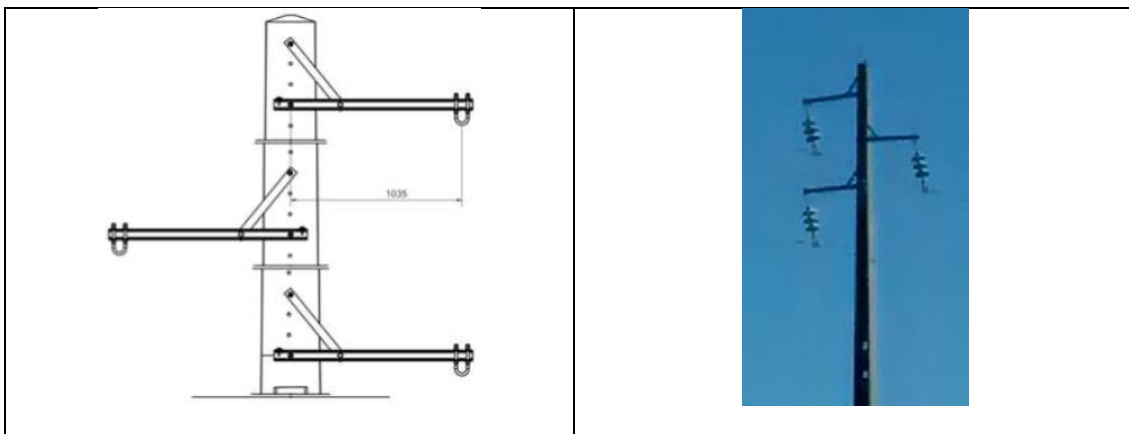


Figura 12 - Armação em galhardete para alinhamento

✓ GAN (Armação em Galhardete para Ângulo)

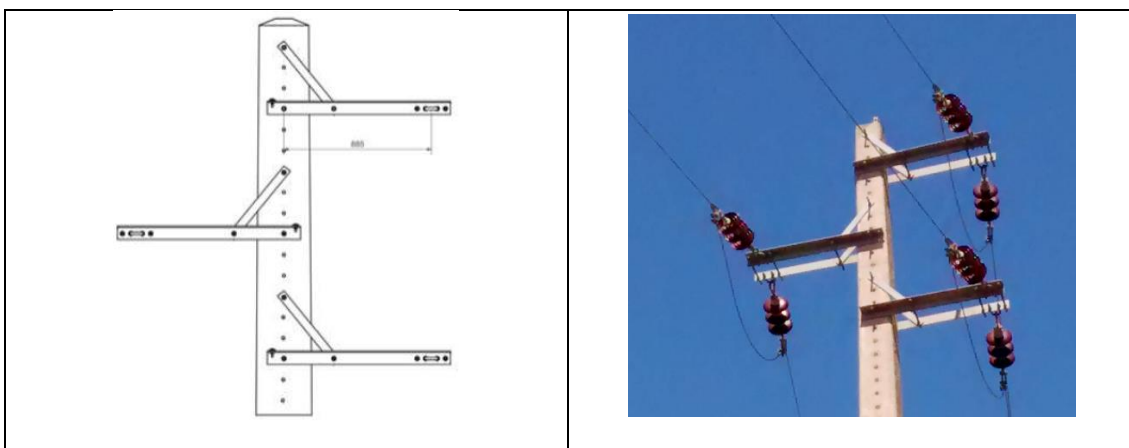


Figura 13 - Armação em galhardete para ângulo

✓ VAL (Armação em Esteira Vertical para Alinhamento)

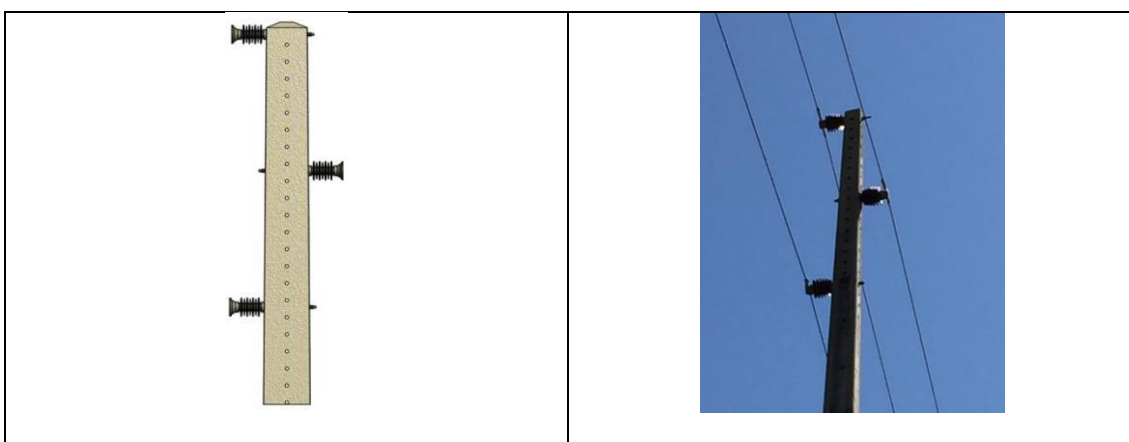


Figura 14 - Armação em esteira vertical para alinhamento

✓ VAN (Armação em Esteira Vertical para Ângulo)

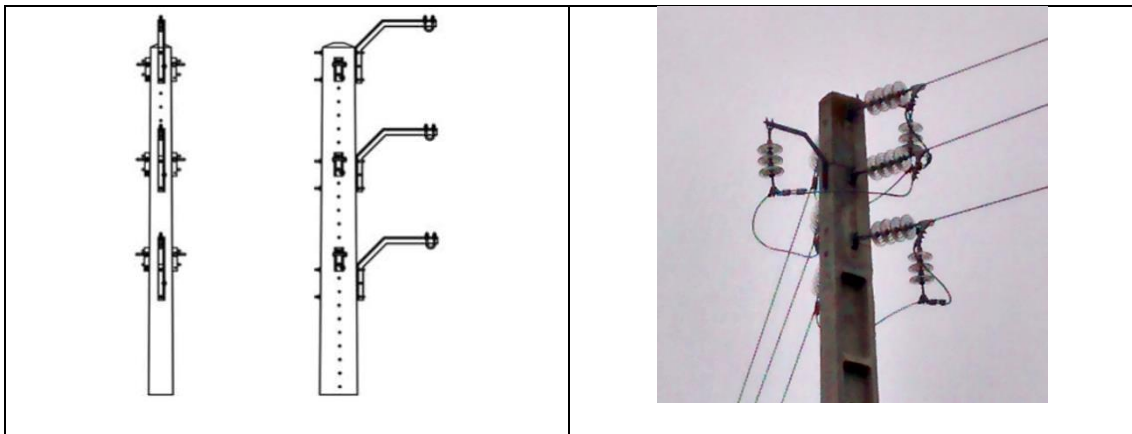


Figura 15 - Armação em esteira vertical para ângulo

✓ HTP4 (Armação em Esteira Horizontal para PT's)

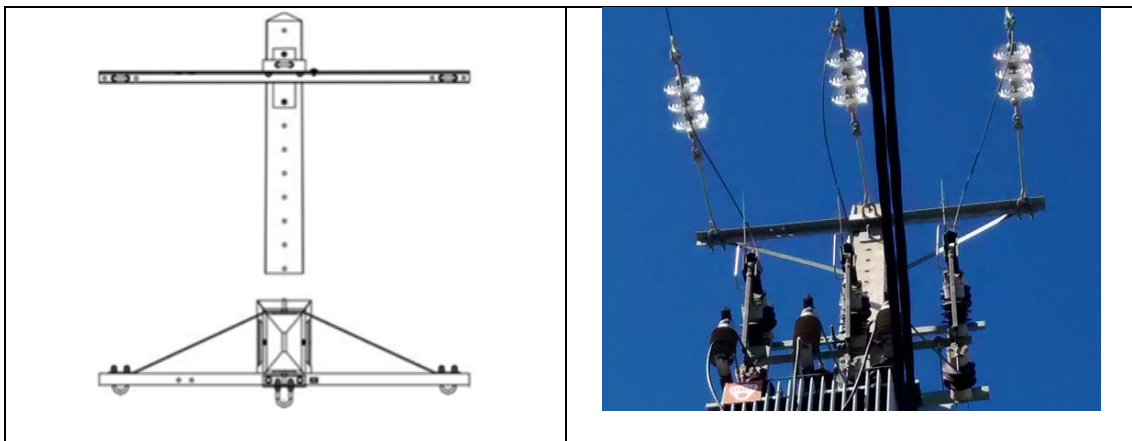


Figura 16 - Armação em esteira horizontal para PT's

✓ PAL (Armação em Pórtico para Alinhamento)

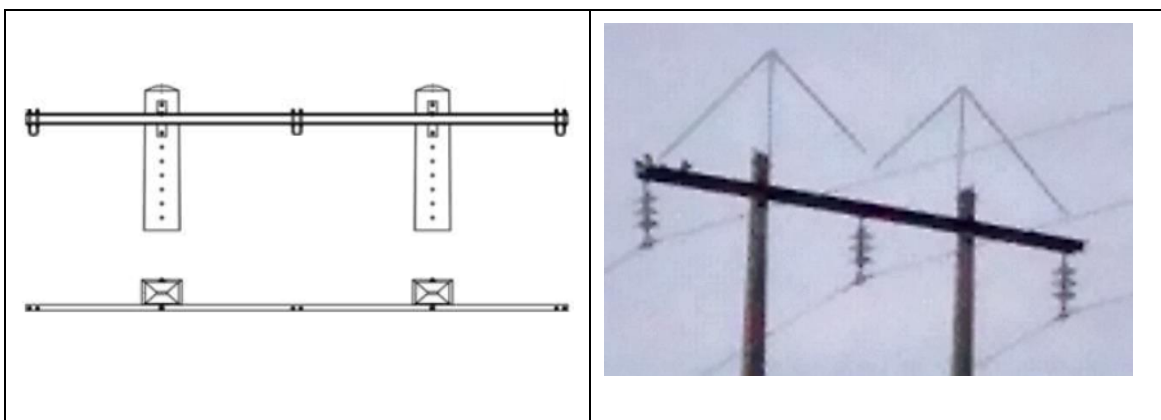


Figura 17 - Armação em pórtico para alinhamento

✓ PAN (Armação em Pórtico para Ângulo)

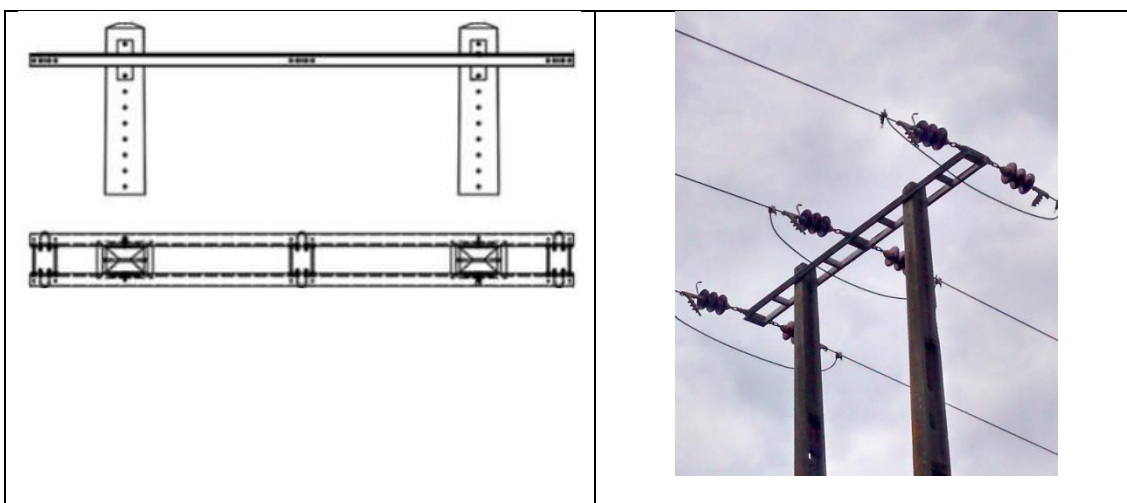


Figura 18 - Armação em pórtico para ângulo

Para além de sustentar o peso dos condutores, as armações têm a função de manter os condutores a uma distância de segurança entre si e em relação ao apoio.

As principais diferenças entre as várias disposições são:

- ✓ Forma como se distribuem os cabos;
- ✓ Distância permitidas entre estes;
- ✓ Os esforços que terão de ser suportados pelas armações.

O mais habitual em pequenas linhas derivadas é ser feita em esteira horizontal e o restante percurso ser disposto em triângulo, de forma a garantir uma boa distância entre os condutores. Se porventura, existir um vão muito extenso, existe a possibilidade de com ventos fortes, os condutores se tocarem a meio do vão, dando origem a curto-circuitos. Para prevenir que este problema ocorra, deve-se utilizar as armações GAN/GAL, de forma a garantir uma distância superior entre os condutores.

3.4 Dispositivos de anti-nidificação

Devido ao crescimento drástico nos últimos anos, da população da cegonha-branca (Figura 19), os incidentes com interrupções de energia aumentaram significativamente.

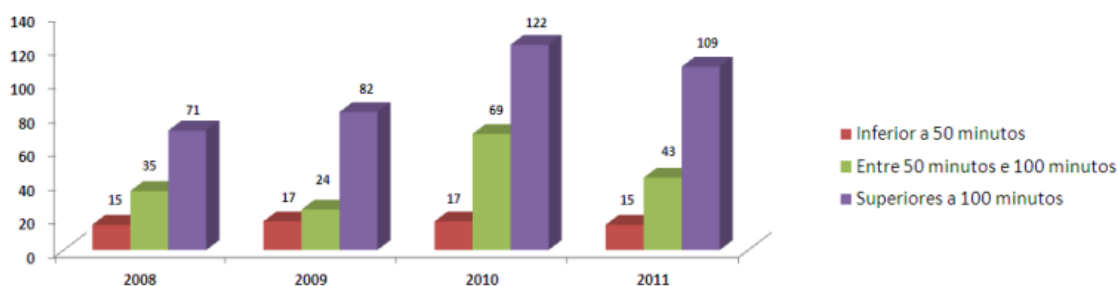


Figura 19- Número de interrupções provocadas por cegonhas entre 2008 e 2011 em Portugal [7].

Tendo por base os dados da Figura 19, a EDP Distribuição tem vindo a instalar dispositivos dissuasores de nidificação, contudo, nem sempre são efetivos devido à persistência desta espécie.

A colocação de dispositivos antipoiso e de anti-nidificação (DDN) no topo dos apoios de linhas de MT tem como finalidade [8]:

- ✓ Evitar o poiso e a nidificação de aves de médio e de grande porte, minimizando o risco de eletrocussão das mesmas;
- ✓ Prevenir o risco de contornamento resultante da acumulação de detritos na superfície dos isoladores (por exemplo, materiais utilizados na construção de ninhos, dejetos, etc.), com o intuito de minimizar os impactos negativos na qualidade de serviço.

Existem diversos tipos de DDN, que são utilizados em determinadas ocasiões, conforme descrito na Tabela 3.

Tabela 3 - Tipos de dispositivos de anti-nidificação [9]

Tipo de hastes	Aplicação
Seta simétrica	Solução normal para TAN; VAN; HRFSC; EVDAL; EVDAN e PAN
Seta assimétrica	Solução normal para GAN; GAL e HRFSC
3 Hastes tipo seta	Solução normal para PT aéreo (HPT4)
Guarda-chuva	Solução normal para GAN; EVDAN e PALAN
Turbina	Solução normal para PAN e PALAN
Chapa quinada	Solução normal para GAL; EVDAL e PALAN
Chapa direita	Solução normal para GAN; HRFSC; EVDAN; PAN





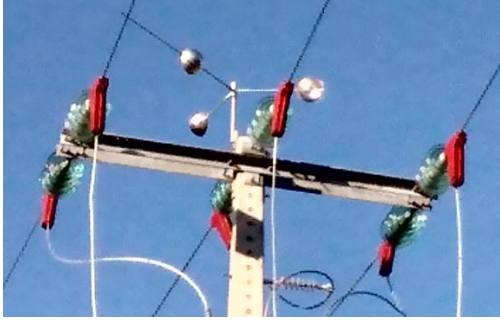


	
<p>Seta simétrica</p>	<p>Seta assimétrica</p>
	
<p>Três hastes tipo seta</p>	<p>Guarda-chuva</p>
	
<p>Turbina</p>	<p>Chapa quinada</p>
	
<p>Chapa direita</p>	

Figura 20 - Dispositivos de anti-nidificação

Como se pretende dissuadir as cegonhas-brancas de fazerem ninho no cimo dos postes, devido ao risco de electrocução e de colisão com os condutores, foi necessário criar plataformas em postes específicos para a nidificação, conforme ilustrado na Figura 21.



Figura 21- Plataforma de nidificação [9]

3.5 Apoios

Os apoios são o suporte dos vários elementos que constituem a linha (condutores, armação, isoladores e dispositivo de anti-nidificação), tendo como objetivo garantir as distâncias de segurança ao solo e a objetos por baixo ou perto da linha.

Nas linhas de Média Tensão podem ser utilizados apoios de dois tipos construtivos: betão armado ou metálico. Atualmente, são adotados preferencialmente os apoios de betão, uma vez que os apoios metálicos são, na generalidade muito mais caros que os apoios de betão, contudo têm vantagens no transporte para zonas remotas devido a serem transportados às peças, têm maior resistência mecânica e podem ser utilizados para alturas maiores. Os apoios de betão ao contrário dos metálicos, requerem menores dimensões para os maciços, reduzindo o custo final significativamente, visto os maciços representarem cerca de 30% do custo total de uma obra. Têm como desvantagem, requerer um transporte especial com escolta policial, sempre que o apoio tenha mais de 22 metros de altura, acrescentando mais esses custos ao custo global da obra.



Figura 22- Apoios de MT

Capítulo 4

Cálculo Mecânico

Neste capítulo será enunciada a regulamentação e legislação na qual foram baseados os procedimentos de cálculo respeitantes à verificação da estabilidade de apoios e à verificação das flechas para cada cantão.

4 Cálculo mecânico

De forma a serem asseguradas as condições de segurança e de estabilidade da linha, é essencial realizar o cálculo mecânico. Assim, associados ao cálculo mecânico estão os seguintes objetivos fundamentais [10]:

- ✓ Determinar a tensão mecânica de montagem dos condutores, à qual estes devem ser submetidos durante a montagem da linha, de acordo com as condições climáticas que se verificarem nesse momento, de forma a assegurar que, os condutores nunca sejam solicitados por tensões mecânicas superiores à sua tensão de segurança;
- ✓ Dimensionar os apoios, de forma a verificar a estabilidade dos mesmos e assegurar os esforços causados pelos condutores quando sujeitos às ações dos agentes atmosféricos;
- ✓ Verificar convenientemente a altura dos postes e o afastamento dos condutores, de modo a evitar a aproximação exagerada dos condutores a objetos próximos da linha e deles próprios, conforme disposto no RSLEAT.

Como a unidade do peso (kg) é equivalente ao daN, foi utilizado como grandeza nas tensões mecânicas a determinar.

4.1 Tipos de esforços

As solicitações que os apoios de uma linha aérea sofrem podem classificar-se da seguinte forma [10]:

- ✓ Esforços verticais, devido ao peso dos condutores e a prováveis depósitos de gelo ou neve sobre eles;
- ✓ Esforços transversais, resultantes da ação do vento sobre os apoios e das trações dos condutores quando estes formam ângulo;
- ✓ Esforços longitudinais se os esforços mecânicos aplicados ao apoio pelos condutores dos dois vãos adjacentes são diferentes ou se o apoio só suporta condutores apenas de um dos lados.

4.2 Tensão máxima de tração

A tensão máxima de tração será a maior das tensões a que fica sujeito o condutor nos pontos de fixação aos apoios. Segundo o artigo 24º do RSLEAT as tensões máximas de tração admissíveis para os condutores nus não deverão ser superiores ao quociente das suas tensões de rotura por 2,5. Deste modo o limite máximo de tensão é dado por:

$$T_{seg} = \frac{T}{2.5 \cdot \sigma} [daN/mm^2] \quad Eq.4.1$$

Apesar de este cálculo ser importante para verificar a tração de segurança dos condutores, os projetistas a nível nacional “estabeleceram” um intervalo para os valores de tensão máxima, como sendo entre 7 e 9 daN/mm², tendo em conta as irregularidades no traçado da linha, ângulos pronunciados, possibilidade ou não da formação de uma manga de gelo nos condutores, etc.

A escolha da tensão máxima de tração a ser aplicada aos condutores de uma linha no estado atmosférico mais desfavorável é uma das grandes dificuldades na realização de um projeto de linhas aéreas. Essa escolha terá influência na estabilidade dos apoios, na flecha dos condutores e no afastamento entres condutores, sendo que quanto maior for a tensão escolhida maior serão os esforços aplicados nos apoios e maior será a flecha e afastamento dos condutores, correndo-se o risco de uma aproximação exagerada dos condutores a objetos próximos da linha. Este assunto é extremamente delicado ao nível económico, visto estar diretamente relacionado com o dimensionamento dos apoios.

4.3 Estados atmosféricos

Durante as várias estações do ano, os elementos que constituem uma linha, particularmente os condutores, sofrem solicitações elásticas surtidas pelas forças que sobre eles se exercem e solicitações térmicas causadas pelas variações de temperatura. Assim, para se realizar o cálculo mecânico de uma linha há que ter em conta cada uma destas situações, considerando para tal as ações dos agentes atmosféricos, nomeadamente o vento, o gelo e a temperatura.

É usual definir-se três estados atmosféricos tipo para considerar as circunstâncias que se apresentam mais desfavoráveis, são eles [10]:

- ✓ **Estado de Inverno**, caracterizado pela menor temperatura previsível para o local em que a linha vai ser instalada, pela existência de vento reduzido e pela possibilidade de existência de manga de gelo;
- ✓ **Estado de Primavera**, caracterizado pela temperatura amena previsível para o local em que a linha vai ser instalada, pela existência de ventos muito intensos e pela ausência de manga de gelo;
- ✓ **Estado de Verão**, caracterizado pela temperatura máxima previsível para o local em que a linha vai ser instalada, pela ausência de vento e mangas de gelo nos condutores. Este estado também é denominado por estado de flecha máxima.

4.4 Força da ação do vento

No cálculo das linhas aéreas, o vento deverá considerar-se, de acordo com o artigo 10º do RSLEAT, que atua numa direção horizontal e a força proveniente da sua ação considerar-se-á paralela àquela direção e deverá ser calculada através da seguinte expressão:

$$F_v = \frac{\alpha \cdot c \cdot q \cdot d}{10} \quad \text{Eq.4.2}$$

Para o cálculo da ação do vento nos condutores, tem que ser determinado os estados mais desfavoráveis, isto é, a força do vento com vento máximo habitual (estado de primavera) e com vento reduzido (estado de inverno).

Os valores a serem considerados para a pressão dinâmica do vento (q), são escolhidos em função da altura ao solo a que se encontram as linhas sobre as quais se pretende calcular a ação do vento, conforme indicado na Tabela 4.

Tabela 4- Valores da pressão dinâmica do vento, em função da altura acima do solo, artigo 13º do RSLEAT

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

Nos casos em que os condutores estão mais condicionados à zona geográfica, isto é, a 5 km da zona costeira e a altitude superior a 700 metros, recomenda-se utilizar o escalão imediatamente superior [10].

No caso dos cabos utilizados na rede de transporte devem ser considerados alguns coeficientes redutores, relativamente ao valor da pressão dinâmica do vento. As frentes de ventos que possam premer os cabos, não terão em caso geral, grande influência nos vãos considerados, comparativamente com as pressões que ocorrem por exemplo num “túnel de vento”. Assim, deverá ser aplicado um coeficiente de redução, α , que é na realidade um coeficiente de efetividade do vento, estes estão regulamentados no artigo 14º do RSLEAT, conforme indicado na Tabela 5.

Tabela 5- Valores de coeficiente de redução, artigo 14º do RSLEAT

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

O coeficiente de forma (c) pretende traduzir a rugosidade do elemento batido pelo vento. Apesar de os condutores e os cabos de guarda serem de forma cilíndrica, estes possuem alguma rugosidade que será mais notória quanto maior for o seu diâmetro. Os valores do coeficiente de forma estão regulamentados no artigo 15º do RSLEAT.

Tabela 6- Valores do coeficiente de forma, artigo 15º do RSLEAT

	Diâmetro (mm)	Coeficiente de forma
Condutores nus e cabos de guarda	Até 12,5	1,2
	Acima de 12,5 e até 15,8	1,1
	Acima de 15,8	1,0
Cabos isolados em feixe	-	1,3
Cabos suportados e cabos tipo 8	-	1,8
Isoladores	-	1,0

Após calcular os valores da ação do vento para os estados de Primavera e Inverno, é possível efetuar o cálculo dos coeficientes de sobrecarga, que confere ao peso próprio do condutor um agravamento devido às ações do vento e do gelo [10].

$$m_i = \frac{\sqrt{\left[\omega + \rho_{gelo} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot ((d + 2 \cdot e)^2 - d^2)\right]^2 + F_v^2}}{\omega} \quad Eq.4.3$$

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

$$L_{cr} = \frac{\sigma \cdot t_{max}}{\omega} \sqrt{\frac{24 \cdot \alpha_d \cdot (\Theta_2 - \Theta_1)}{m_2^2 - m_1^1}} \quad Eq.4.4$$

4.5 Estado atmosférico mais desfavorável

Através da árvore de decisão da Figura 23, determina-se o estado mais desfavorável, onde m_1 corresponde ao estado de Inverno e m_2 ao estado de Primavera. O L corresponde ao comprimento do vão e L_{cr} ao vão crítico [10].

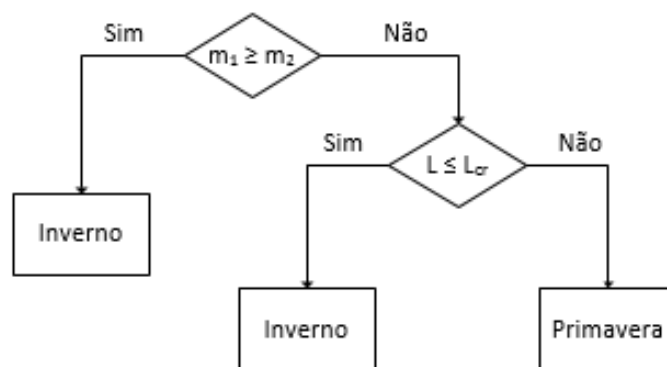


Figura 23- Estado atmosférico mais desfavorável

Conhecendo o estado atmosférico mais desfavorável é agora possível com recurso à equação dos estados¹, determinar qual a tensão de montagem a aplicar aos condutores para diferentes temperaturas. Seguidamente, é possível determinar as respetivas flechas para a montagem dos condutores.

¹ A equação dos estados é abordada no capítulo 4.6.

4.6 Equação dos estados

O objetivo da equação de estados é a determinação da tensão de montagem a aplicar aos condutores de um dado vão. A tensão de montagem é a tensão mecânica que assegura que, qualquer que seja a condição meteorológica como o vento, o gelo e a temperatura, no momento da montagem da linha, a tensão máxima dos condutores não é ultrapassada [7].

A equação dos estados corresponde à seguinte equação [7]:

$$\begin{aligned} \Theta_i + \frac{t_{max}}{\alpha_d \cdot E} - \frac{m_i^2 \cdot \omega^2 \cdot L^2}{24 \cdot \alpha_d \cdot \sigma^2 \cdot t_{max}^2} \\ = \Theta_k + \frac{t_{mk}}{\alpha_d \cdot E} - \frac{m_k^2 \cdot \omega^2 \cdot L^2}{24 \cdot \alpha_d \cdot \sigma^2 \cdot t_{mk}^2} \end{aligned} \quad Eq.4.5$$

Para o estado de flecha máxima, como se considera a ausência tanto de manga de gelo como de vento, o coeficiente de sobrecarga m_k não representa nenhum peso adicional ao condutor, assim assume o valor $m_k=1$. Já o valor da temperatura Θ_k deve ser escolhido consoante a classe da linha/ nível tensão a projetar, conforme apresentado na Tabela 7.

Tabela 7-Temperatura a considerar para o estado de verão, artigo 22º do RSLEAT

Classe da linha	Nível de tensão	Temperatura
2ª	$1 > U_n > 40$ kV	+50°C
3ª	$40 \leq U_n < 100$ kV	+65°C
3ª	$U_n \geq 100$ kV	+75°C

Na prática, esta expressão foi transformada em tabela, estando organizada pela secção do condutor, temperatura, pressão dinâmica do vento e distância dos vãos, de modo a automatizar e facilitar o projeto mecânico das linhas.

4.7 Flechas dos condutores

A flecha de um condutor entre dois apoios depende, fundamentalmente, da velocidade do vento, da tensão máxima de serviço e da temperatura.

O cálculo das flechas dos condutores na aproximação parabólica é diferente caso estejamos perante vãos em patamares ou vãos em declive.

Nos vãos em patamares a flecha dos condutores é obtida através da aplicação da expressão:

$$f_{max} = \frac{m_k \cdot \omega \cdot L^2}{8 \cdot \sigma \cdot t_{mk}} \quad Eq.4.6$$

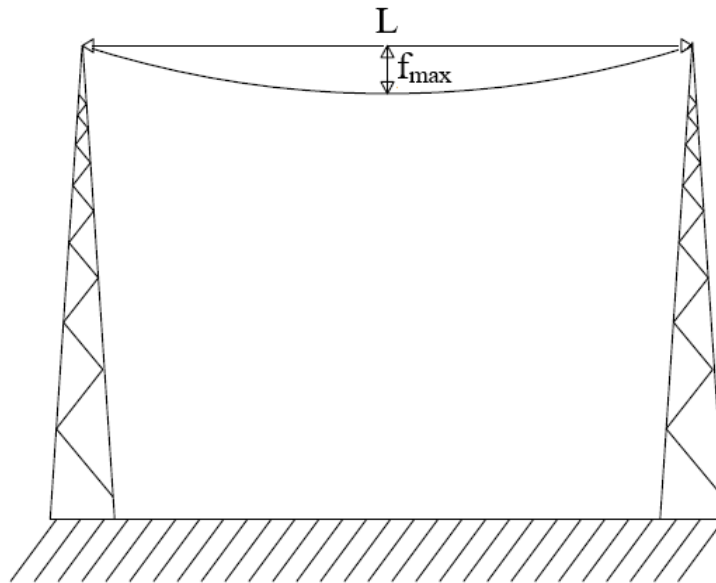


Figura 24- Vão em patamar

Nos vãos em declive a flecha dos condutores é obtida usando a expressão:

$$f_{max} = \frac{m_k \cdot \omega \cdot L \cdot L_1}{8 \cdot \sigma \cdot t_{mk}} \quad Eq.4.7$$

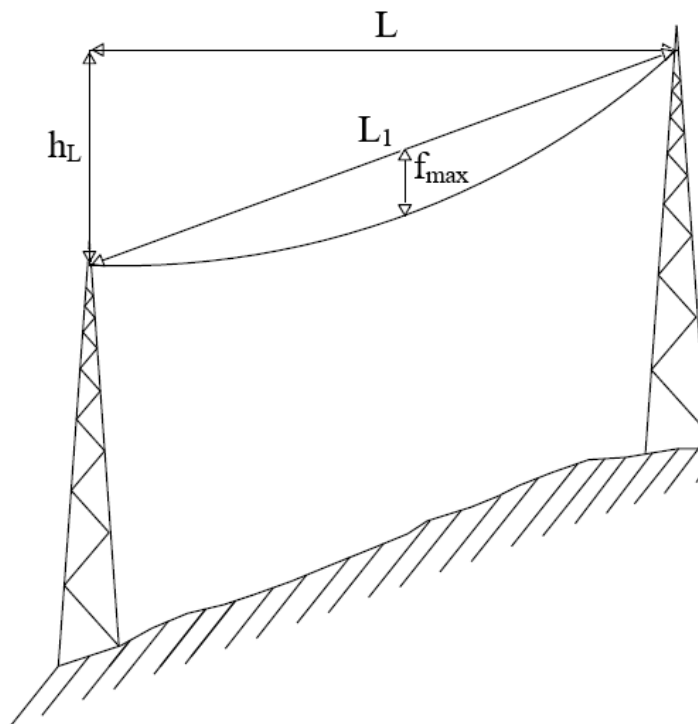


Figura 25- Vão em desnível

A EDP- Distribuição, de acordo com as Recomendações para as Linhas Aéreas de Alta Tensão até 30 kV, utiliza para o cálculo das flechas de regulação a expressão dos vãos em patamar independentemente da sua classificação.

A regulação dos vãos é realizada de cantão em cantão, ou seja, no segmento de uma linha compreendida entre dois apoios, onde os condutores são fixados por amarrações. A tensão de montagem do cantão será então calculada usando o valor do vão equivalente, L_{eq} , em vez do vão normal. O vão equivalente é calculado, considerando os vãos em patamar, L_i em metros, contidos no mesmo cantão [11].

$$L_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n L_i^3}{\sum_{i=1}^n L_i}} \quad Eq.4.8$$

4.8 Dimensionamento dos isoladores

Para o dimensionamento dos isoladores é necessário determinar a linha de fuga mínima a utilizar e verificar que não excedem a carga de rotura mecânica especificada.

O comprimento da linha de fuga de um isolador está indicado na tabela das suas características eletromecânicas. Na Tabela 8 está indicado os valores da linha de fuga nominal específica mínima regulamentar, consoante o nível de poluição.

Tabela 8- Relação entre o nível de poluição e a linha de fuga específica, artigo 50º do RSLEAT

Nível de poluição	Linha de fuga nominal específica mínima em mm/ kV
Fraca	16
Média	20
Forte	25
Muito Forte	31

O valor da linha de fuga mínima, L_f em mm, a determinar é calculado pela expressão:

$$L_f = L_{fe} \cdot U_n \quad \text{Eq.4.9}$$

As forças de rotura eletromecânica mínima dos isoladores de cadeia deverão ser 2,5 vezes superiores à solicitação mecânica máxima a que estão sujeitos pelos condutores. Estes isoladores podem ser associados em série de 2 (isolamento simples) ou 3 (isolamento reforçado), de acordo com a expressão:

$$N^{\circ} \text{ isoladores} = \frac{L_f}{L_{fisol}} \quad \text{Eq.4.10}$$

A quantidade de isoladores depende fundamentalmente do nível de tensão elétrica, nível de poluição, existência de edifícios habitacionais ou outros obstáculos por baixo da linha e função de apoio.

Por vezes, coloca-se nos isoladores de cadeia hastes de descarga com o objetivo de evitar a formação do efeito de coroa.

Tal como os isoladores de cadeia, os isoladores rígidos devem ter uma força de rotura mínima à flexão de 2,5 vezes superior à solicitação mecânica máxima a que estarão sujeitos pelos condutores.

A solicitação mecânica máxima ou tração total no vão em daN é dada pela expressão:

$$T_i = t_{max} \cdot \sigma \quad \text{Eq.4.11}$$

4.9 Estabilidade dos apoios

A verificação da estabilidade dos apoios tem como finalidade determinar as solicitações mecânicas que lhe são impostas, para posteriormente escolher o tipo de apoio que melhor se adequa. Estas solicitações mecânicas podem ser [10]:

- ✓ Sobrecarga de vento sobre o apoio, isoladores, travessas e condutores;
- ✓ Trações mecânicas exercidas pelos condutores das linhas principais e derivadas;
- ✓ Peso do próprio apoio, dos isoladores, das travessas e dos condutores das linhas principais e derivadas.

O RSLEAT e as Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão Até 30kV constituíram para cada tipo de apoio um conjunto de hipóteses que permitem determinar os esforços transversais, longitudinais e verticais aplicados aos apoios. Nessas hipóteses estão patentes as fórmulas a aplicar para a determinação dos esforços assim como, as condições de cálculo e consideram-se segundo o regulamento, os seguintes pressupostos [10]:

- ✓ Linhas com três condutores e sem cabos de guarda;
- ✓ Esforços considerados a 25 cm do topo do poste;
- ✓ Esforços do vento sobre isoladores e armações desprezáveis;
- ✓ Pesos de isoladores e armações

Conforme o RSLEAT, nomeadamente nos artigos 56º ao 62º são consideradas de acordo com a função do apoio, duas hipóteses de cálculo que diferem na direção do vento a incidir nas linhas. As fórmulas a aplicar em cada tipo de apoio, encontram-se indicadas nas Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão Até 30kV, especificamente do quadro 9.1 ao quadro 9.13 [10].

O ângulo do vão é medido em gradus, a partir do eixo positivo das abcissas, sendo negativo se medido no sentido horário e positivo se medido no sentido anti-horário.

No caso de existir um apoio em reforço ou fim de linha, o vão que possui maior esforço considera-se como tendo ângulo nulo e é disposto em posição paralela ao eixo das abcissas.

Quando existe um apoio em ângulo, tem de ser traçada uma bissetriz no vértice do ângulo formado pelos dois vãos, que posteriormente tem que ser disposta em posição normal ao eixo das abcissas.

Para o dimensionamento da força do vento nos isoladores, deverá ser considerada a equação 4.2.

Os esforços nos apoios para a hipótese 1, com o vento a incidir na direção normal à linha, deverão ser calculados através das expressões 4.12 e 4.13 [10] [12].

$$F_x = 3 \left| \sum_{i=1}^n T_i \cdot \cos(\beta_i) \right| \quad \text{Eq.4.12}$$

$$F_y = 3 \left(\sum_{i=1}^n F_v \cdot \cos^2(\beta_i) \cdot \frac{L_i}{2} + F_{vc} + \left| \sum_{i=1}^n T_i \cdot \sin(\beta_i) \right| \right) \quad \text{Eq.4.13}$$

No cálculo dos esforços para a hipótese 2, considerando o vento na direção da linha, serão consideradas as expressões dependendo da colação do apoio e do traçado da linha.

Caso o apoio esteja em alinhamento ou ângulo, a força horizontal do vento deve ser multiplicada por um quinto. As equações para este caso são as 4.14 e 4.15 [10] [12].

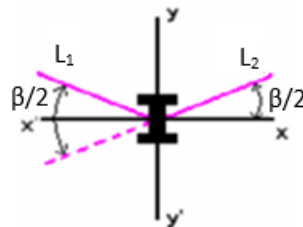


Figura 26- Apoio de ângulo

$$F_x = 3 \cdot \frac{1}{5} \left(\sum_{i=1}^n F_v \cdot \cos^2(\beta_i) \cdot \frac{L_i}{2} + F_{vc} \right) \quad \text{Eq.4.14}$$

$$F_y = 0 \quad \text{Eq.4.15}$$

Para os apoios em derivação que estão em alinhamento ou ângulo, as equações a utilizar são as 4.16 e 4.17 [10] [12].

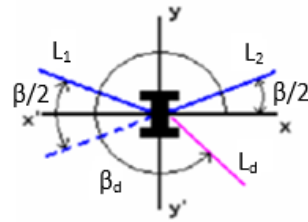


Figura 27- Apoio de derivação em ângulo

$$F_x = 3 \left(\sum_{i=1}^n F_v \cdot \sin^2(\beta_i) \cdot \frac{L_i}{2} + F_{vc} + \left| \sum_{i=1}^n T_i \cdot \cos(\beta_i) \right| \right) \quad Eq.4.16$$

$$F_y = 3 \left| \sum_{i=1}^n T_i \cdot \sin(\beta_i) \right| \quad Eq.4.17$$

No caso de apoio ser de derivação em reforço, a força horizontal a considerar deverá ser dois terços da soma das componentes horizontais das trações unilaterais exercidas por todos os cabos, na linha principal e a resultante das componentes horizontais das trações máximas exercidas pelos cabos nas linhas derivadas. Para este caso, utilizam-se as expressões 4.18 e 4.19 [10] [12].

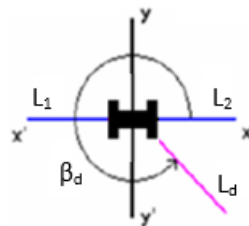


Figura 28- Apoio de derivação em reforço

$$F_x = \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot T + 3 \left| \sum_{i=1}^n T_i \cdot \cos(\beta_i) \right| \quad Eq.4.18$$

$$F_y = 3 \left| \sum_{i=1}^n T_i \cdot \sin(\beta_i) \right| \quad Eq.4.19$$

Se o apoio for de reforço ou fim de linha, deve ser considerado a quebra de um cabo, desse modo, a força horizontal será dois terços da soma das componentes horizontais das trações máximas unilaterais exercidas por todos os cabos. As equações usadas são as 4.20 e 4.21 [10] [12].

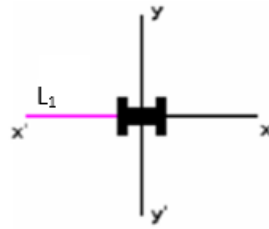


Figura 29- Apoio fim de linha

$$F_x = \frac{2}{3} \cdot 3 \cdot T \quad Eq.4.20$$

$$F_y = 0 \quad Eq.4.21$$

Para determinar a componente vertical, isto é, os esforços causados pelos pesos dos cabos, isoladores e armações no apoio, utiliza-se a equação 4.22 para todas as disposições dos apoios referidas anteriormente [10] [12].

$$F_z = 3 \sum_{i=1}^n \left(\omega_i \cdot \frac{L_i}{2} + P_{cis} \right) + P_a \quad Eq.4.22$$

De modo a verificar se os apoios serão adequados para aguentar os esforços solicitados, para a **hipótese 1**, deverão respeitar a condição 4.23, considerando o vento de 750 Pa, para apoios que não estão em reforço [10].

$$\frac{f_x}{S_{750}} + \frac{f_y}{F_{750}} < 1 \quad \text{Eq.4.23}$$

S_{750} e F_{750} , são as forças retiradas da tabela dos diagramas de esforços dos apoios.

Para a **hipótese 2**, S_{750} e F_{750} são substituídos por S'_{750} e F'_{750} .

Nas situações que o apoio esteja em reforço, é utilizada a expressão 4.24, para a **hipótese 1**, considerando o vento de 750 Pa, as forças apenas trocam de posição. Para a **hipótese 2**, são usadas F'_{750} e S'_{750} [10].

$$\frac{f_x}{F_{750}} + \frac{f_y}{S_{750}} < 1 \quad \text{Eq.4.24}$$

Determinadas as equações para as solicitações mais habituais nas redes de linhas aéreas, é agora possível escolher o tipo de apoio a utilizar. Devido à normalização dos materiais aplicados na EDP Distribuição, não é possível aplicar-se todos os modelos de apoios existentes para cada altura, para tal, deve-se escolher aquele que suporta solicitações superiores ao determinado para cada situação. Maioritariamente, os fornecedores disponibilizam os esforços de duas formas.

- 1- Tabelas de diagramas de esforços dos seus produtos, com as solicitações por eixos.

Solicitação principal, F daN	Altura total, m	Coordenadas											
		Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X	Y	X
		F ₇₅₀	S ₇₅₀	F' ₇₅₀	S' ₇₅₀	F ₉₀₀	S ₉₀₀	F' ₉₀₀	S' ₉₀₀	F _{ON}	S _{ON}	F _{OF}	S _{OF}
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
4000	14	4000	1800	3403	1531	3957	1780	3242	1458	4211	1894	5263	2367
	20	4000	1800	3028	1362	3930	1768	2764	1244	4211	1894	5263	2367
	22	4000	1800	2923	1315	3922	1765	2631	1183	4211	1894	5263	2367
	24	4000	1800	2777	1250	3912	1760	2445	1100	4211	1894	5263	2367
	26	4000	1800	2625	1181	3901	1755	2251	1013	4211	1894	5263	2367
	28	4000	1800	2490	1120	3891	1751	2080	936	4211	1894	5263	2367
	30	4000	1800	2325	1046	3879	1745	1870	841	4211	1894	5263	2367
32	4000	1800	2154	969	3866	1739	1651	743	4211	1894	5263	2367	
5000	20	5000	2350	3997	1878	4923	2314	3720	1748	5235	2460	6543	3075
	22	5000	2350	3891	1829	4915	2310	3585	1685	5235	2460	6543	3075
	24	5000	2350	3745	1760	4903	2304	3398	1597	5235	2460	6543	3075
	26	5000	2350	3592	1688	4891	2299	3202	1505	5235	2460	6543	3075
	28	5000	2350	3457	1624	4881	2294	3029	1424	5235	2460	6543	3075
	30	5000	2350	3292	1547	4868	2288	2819	1325	5235	2460	6543	3075
32	5000	2350	3121	1467	4855	2281	2600	1222	5235	2460	6543	3075	

Figura 30- Exemplo de verificação de esforços dos apoios numa tabela [13]

- 2- Tendo por base, os valores determinados pelas expressões respectivas, é possível, visualmente, analisar o diagrama de esforços de um apoio e verificar se os esforços máximos que lhe permitem o equilíbrio, não são ultrapassados pelos obtidos.

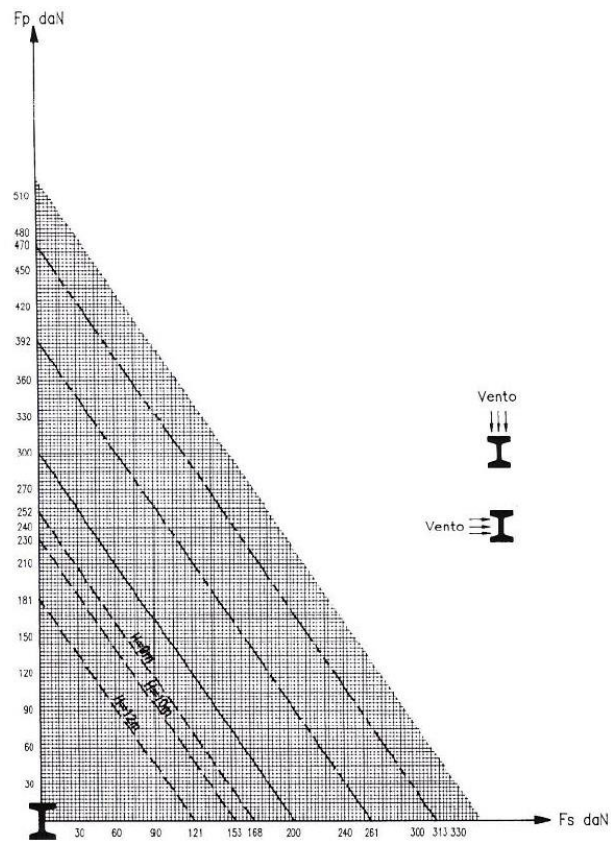


Figura 31- Exemplo de verificação de esforços dos apoios num diagrama [14]

Capítulo 5

Descrição da Aplicação

Informática

Neste capítulo será apresentada a aplicação computacional desenvolvida.

Serão expostos os objetivos a atingir pela aplicação, as ferramentas computacionais utilizadas para a sua construção. Através de fluxogramas serão mostrados os seus processos de funcionamento. Seguidamente serão explicadas as funções da base de dados e exibidos diversos passos do interface da aplicação. Por fim, serão enumeradas as funcionalidades da mesma.

5 Descrição da Aplicação Informática

5.1 Base de construção

O desenvolvimento de uma aplicação informática é facilitado se for feito através de um programa desenvolvimento de *softwares*. Sendo que a aplicação construída, teria de concretizar cálculos para os mais variados levantamentos topográficos e apresentar os apoios e as flechas dimensionados, bem como, o mapa de quantidades dos materiais a utilizar para a execução da obra.

Foi elaborada uma pesquisa genérica pelas aplicações existentes no mercado, como o PLS-CADD, CatLocVBA e o Clinhas que permitem verificar a estabilidade da linha e desenhar o traçado da mesma. Sendo que alguns destes *softwares* não eram de acesso livre apenas foi conseguido experimentar o Clinhas que é um programa com um interface simples e gratuito, mas que não possibilita o dimensionamento automático dos apoios. Apenas, verifica se o apoio escolhido está preparado para suster os esforços que serão aplicados.

Desta forma, a solução projetada seria uma aplicação de interface simples que permitisse dimensionar os apoios para todas as situações.

5.2 Programa de desenvolvimento

Para a criação da aplicação era necessário que o programa utilizado para tal finalidade, oferecesse a funcionalidade de criação de interface intuitivo de qualidade e que ao mesmo tempo permitisse desenvolver o algoritmo matemático para a realização de um projeto de linhas aéreas de MT.

Após uma pesquisa aprofundada em programas que poderiam permitir tal desenvolvimento como o MatLab, Visual Studio, Access, entre outros. Alguns deles permitiam construir interfaces de grande qualidade, mas não seriam as melhores soluções para a resolução do problema consequente. A solução encontrada foi então o Office (Excel) com utilização do Visual Basic, que permite construir interfaces intuitos e de excelente operacionalidade e ao mesmo tempo é um programa que possibilita o

desenvolvimento do algoritmo para se alcançarem os resultados desejáveis para a execução de um projeto.

5.2.1 Vantagens do programa escolhido

Para além do que foi referido anteriormente, o Excel é a ferramenta ideal para um grande desenvolvimento de cálculos matemáticos, permitindo utilizar condições sem necessidade de programação prévia.

O Excel incorpora a funcionalidade do Visual Basic, que permite construir um executável para interface com o utilizador e ainda gravar os resultados em ficheiros para impressão, como o *Adobe Reader* (pdf).

A construção do interface tem um grande grau de liberdade que permite ao programador criar exatamente o que pretende e desenvolver opções de ajuda e auxílio ao utilizador.

A aplicação permite a criação de uma derivação a partir de uma rede existente ou então criar uma linha a partir de uma transição aéreo-subterrânea.

5.2.2 Desvantagens do programa escolhido

Este interface não permite o desenho do traçado da linha, pelo que deverá ser utilizado outra aplicação, como o AutoCad, para essa funcionalidade.

5.3 Fluxograma

Para esquematizar de forma generalizada as etapas funcionais da aplicação, apresenta-se na Figura 32 o fluxograma da aplicação.

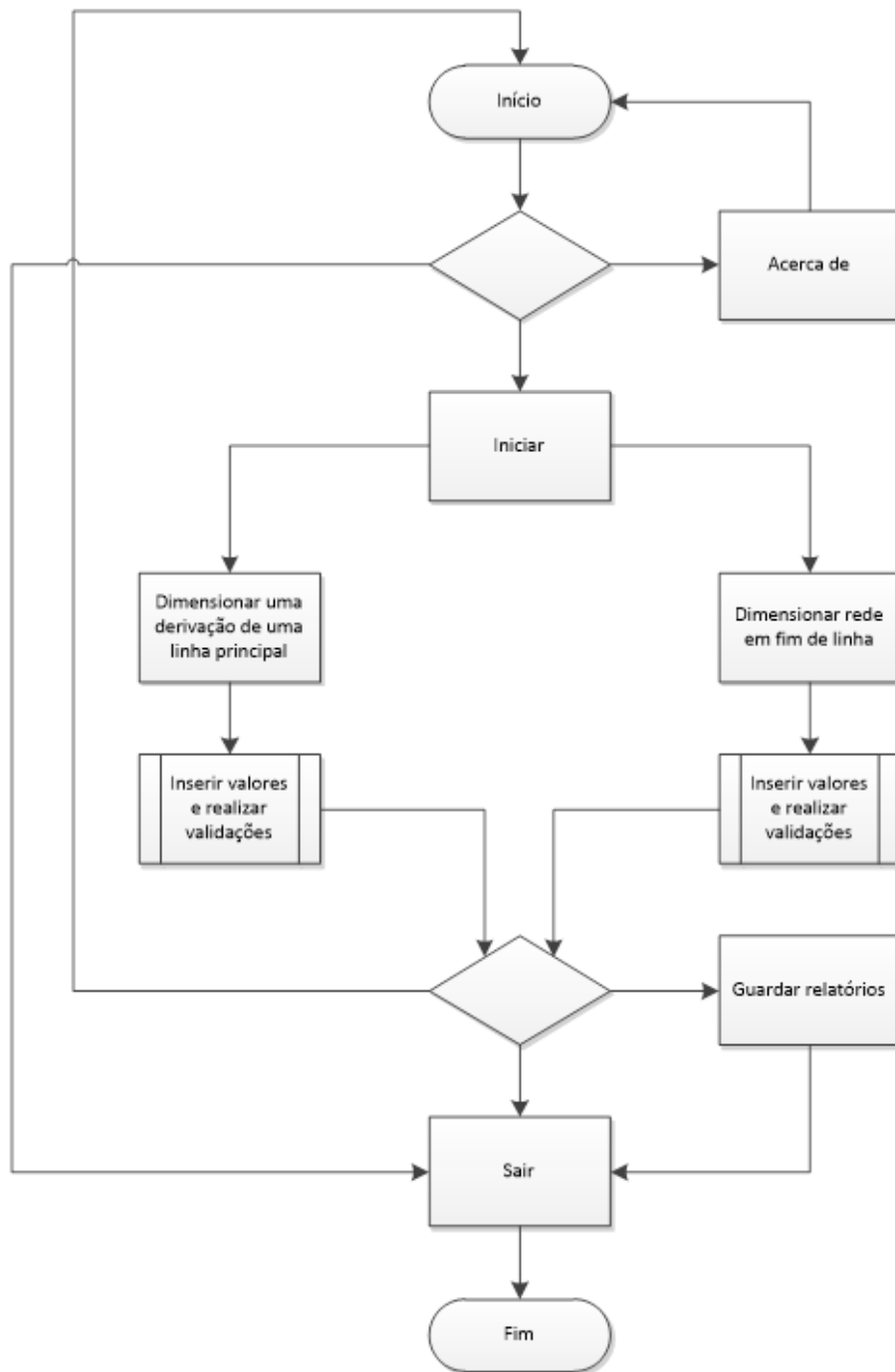


Figura 32- Fluxograma geral da aplicação

Durante o processo de dimensionamento serão atribuídos valores e realizadas várias validações dos cálculos realizados, na Figura 33, pode observar-se esse processo para a criação de uma derivação a partir de uma linha principal.



Figura 33- Validação para dimensionamento de uma derivação a partir da linha principal

No que diz respeito ao dimensionamento para uma linha sem partir de outra, as validações necessárias apresentam-se de seguida na Figura 34.

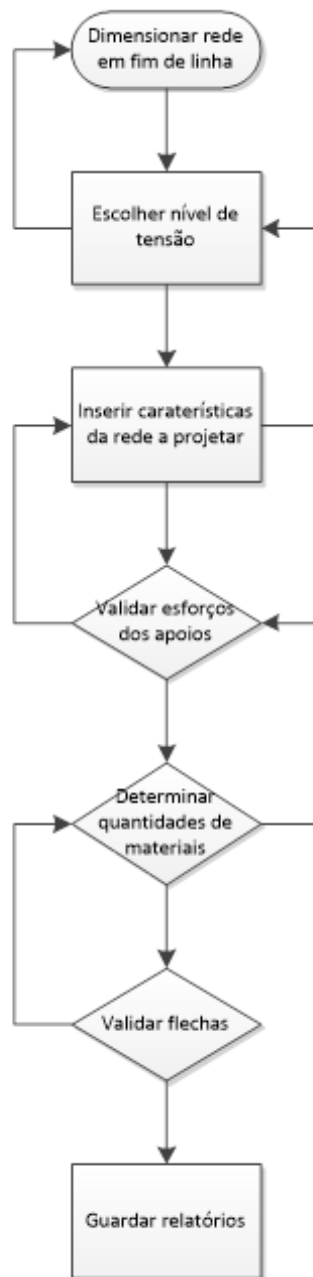


Figura 34- Validação para dimensionamento de uma rede a partir de uma transição aéreo-subterrânea/ fim de linha

5.4 Base de dados

Na base de dados estão armazenados as características técnicas dos condutores, apoios, armações e isoladores. Estas estarão em permanente interação com os formulários, de forma a fornecer as informações necessárias durante o processo de cálculo. A base de dados utilizada na aplicação pode ser consultada nos Anexos (I ao IV).

5.5 Interface

A aplicação “Prolinhas” apresenta um interface simples e *user friendly*, para que possa ser utilizada de forma intuitiva, não necessitando de manual de instruções.

A Figura 35 mostra o menu inicial apresentado ao utilizador após executar a aplicação.

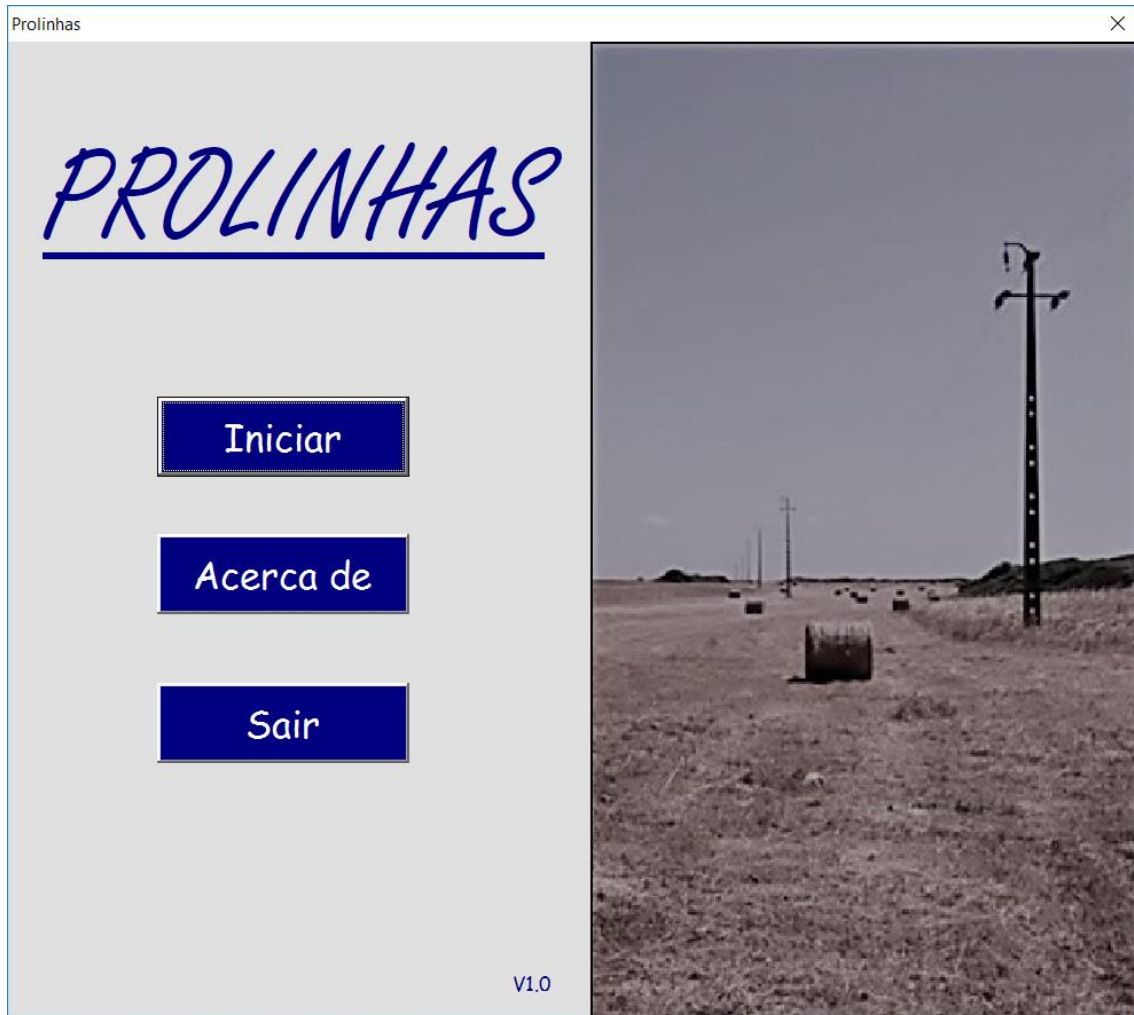


Figura 35- Menu inicial

Nesta fase o utilizador poderá consultar uma breve descrição da aplicação, seleccionando o botão “Acerca de” ou ir diretamente para o menu de iniciação do dimensionamento (Figura 36).



Figura 36- Menu de iniciação para a criação de uma nova rede

Nesta etapa, o utilizador poderá optar por escolher uma das duas situações típicas na criação de uma rede de linhas aéreas de MT. A primeira opção é a mais comum, em que se projeta uma nova linha a partir de uma linha principal já existente, a segunda opção é nos casos que por razões ambientais ou por preferência dos proprietários é necessário realizar uma transição aéreo-subterrânea.

Esta aplicação está limitada a projetos de redes de MT com um número máximo de 25 apoios.

dos números dos apoios. Esta solução permite ao aplicativo verificar se todos os campos para cada apoio estão devidamente preenchidos, para evitar erros de cálculos.

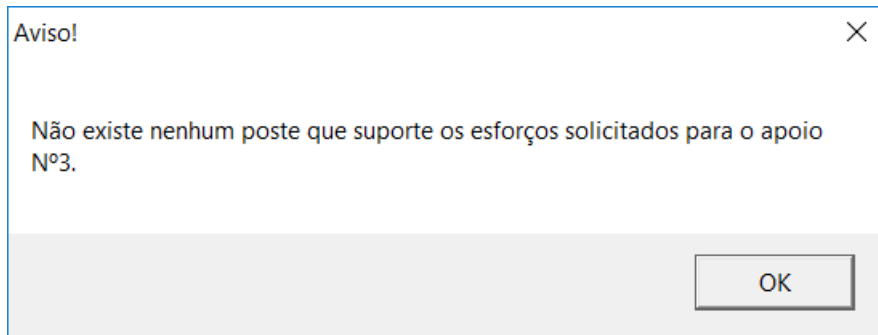


Figura 40- Exemplo de aviso após incoerência nos dados inseridos

Nos diversos formulários existe o botão de avançar que para além de passar para a etapa seguinte, permite fazer a validação dos dados inseridos para no caso de incoerência, solicitar a correção dos dados em determinado apoio.



Figura 41- Último menu

Na última etapa, o utilizador poderá colocar o caminho para guardar os dados calculados na aplicação em formato pdf, sendo eles:

- Tabela com os dados da rede inseridos pelo utilizador;
- Tabela com o dimensionamento dos apoios;
- Tabela com as flechas para cada cantão;
- Tabela com o mapa de quantidade dos materiais a aplicar.

Por fim, poderão ser pressionados os botões para voltar ao menu inicial ou sair do aplicativo.

Capítulo 6

Casos de Estudo

Neste capítulo são apresentados dois casos de estudo, um para uma derivação a partir de uma linha principal e o outro a partir de uma transição aéreo-subterrânea, tendo sempre por base a teoria apresentada nos capítulos anteriores. Serão apresentadas as diferentes tabelas que são necessárias preencher para a aplicação efetuar os cálculos e apresentá-los no interface.

Prolinhas

Preencher dados da linha principal.

Altura do apoio (m)	<input type="text" value="24"/>	Vão chegada (m)	<input type="text" value="169.12"/>
Cota do terreno (m)	<input type="text" value="78.85"/>	Vão saída (m)	<input type="text" value="101.74"/>
Orientação	<input type="text" value="x"/>	Armação	<input type="text" value="GAN-AT"/>
Regime	<input type="text" value="A"/>	Nível de poluição	<input type="text" value="Média"/>
Ângulo (grados)	<input type="text" value="10"/>	Tipo de isolador	<input type="text" value="U 100 BLP"/>
Espessura da manga de gelo (m)	<input type="text" value="0"/>	Tipo de condutor	<input type="text" value="Aster 117"/>
Tmax (daN/mm ²)	<input type="text" value="8"/>	Fixação	<input type="text" value="AR"/>

Figura 43- Preenchimento dos dados da linha que se pretende realizar a derivação

Seguidamente, é solicitado o preenchimento dos dados da derivação a criar e de outra derivação que possa existir nesse apoio (na maioria dos casos um apoio não deverá ter mais do que duas derivações). Para esta situação em estudo, será apresentado no relatório de cálculos dos apoios o dimensionamento do 1º apoio (apoiado da derivação), contudo este tem apenas como objetivo verificar se o apoio existente no local tem a capacidade para sustentar os esforços que lhe serão aplicados nesta nova derivação. No caso do apoio existente no local seja o mesmo do dimensionamento não deverá ser considerado no mapa de quantidades.

Prolinhas ×

Derivação a construir a partir da linha principal.

Tipo de condutor	<input type="text" value="Aster 117"/>	Regime	<input type="text" value="A"/>
Tmax (daN/mm2)	<input type="text" value="0.5"/>	Nível de poluição	<input type="text" value="Média"/>
Vão (m)	<input type="text" value="15"/>	Tipo de isolador	<input type="text" value="U 70 BS"/>
Ângulo (grados)	<input type="text" value="14"/>	Fixação	<input type="text" value="A"/>
Armação	<input type="text" value="HRF 100"/>		

Preencha os campos indicados abaixo, caso o apoio que pretende efetuar a derivação tenha mais do que uma derivação.

Tipo de condutor	<input type="text"/>	Armação	<input type="text"/>
Tmax (daN/mm2)	<input type="text"/>	Fixação	<input type="text"/>
Vão (m)	<input type="text"/>	Nível de poluição	<input type="text"/>
Ângulo (grados)	<input type="text"/>	Tipo de isolador	<input type="text"/>

Figura 44- Preenchimento dos dados da derivação a realizar no apoio da derivação

Após ultrapassada a fase dos dados do apoio de derivação, vai ser solicitado o preenchimento dos campos com os dados da rede a construir que são retirados do levantamento topográfico realizado antes da realização do projeto (não é caso de estudo neste programa). Quando o utilizador premir o botão de avançar será feita uma verificação geral a todos os apoios e no caso de existir algum campo que não esteja preenchido vai surgir uma caixa de aviso a indicar que os dados do apoio “x” não estão totalmente preenchidos.

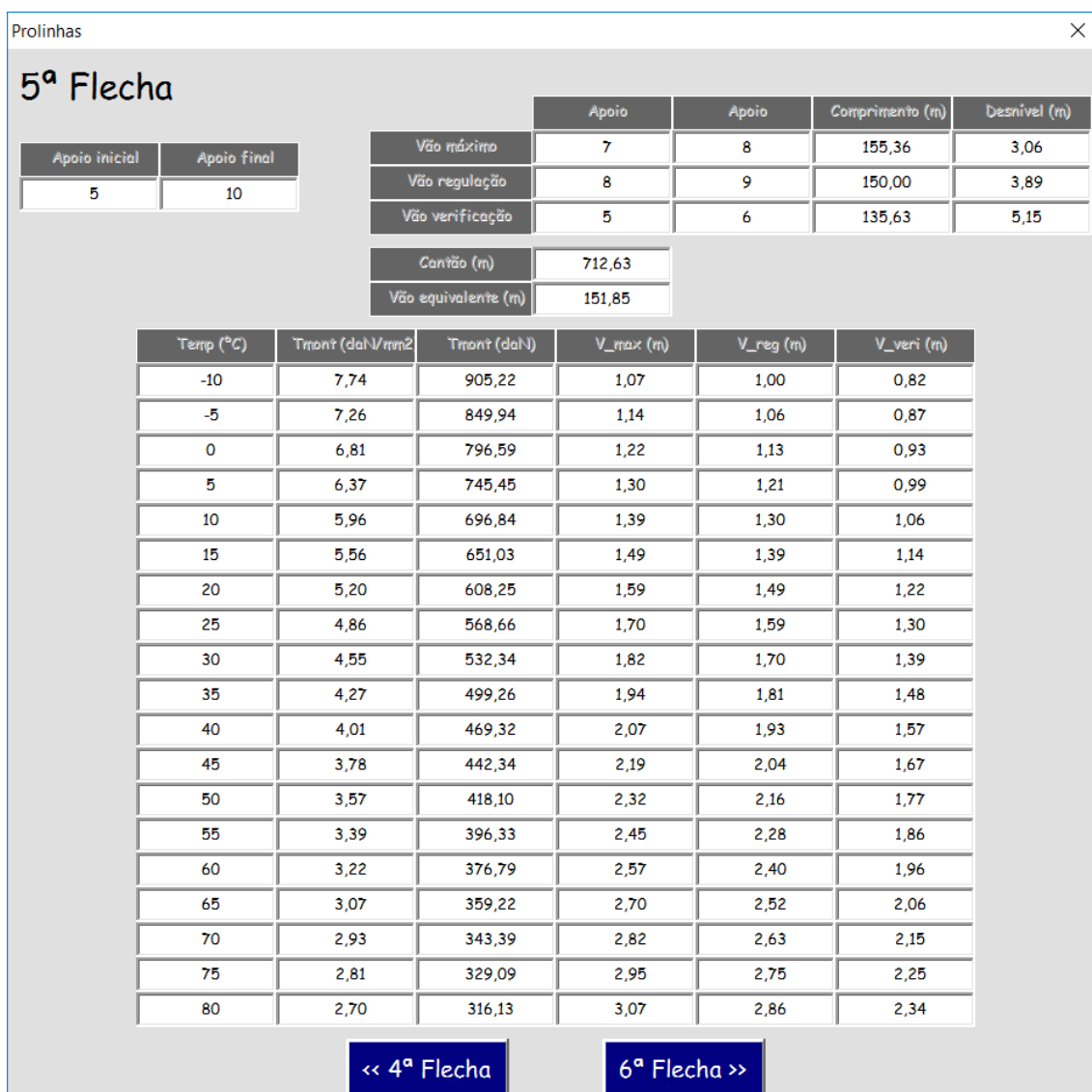


Figura 48- 5ª Flecha de regulação e de montagem em função da temperatura

Concluído o projeto, o utilizador terá a hipótese de voltar ao menu inicial ou guardar os relatórios em pdf com os resultados obtidos.

Caso o utilizador selecione “Guardar pdf” será automaticamente apresentado os relatórios do estudo realizado. Estes relatórios estão representados no apêndice 2.

De modo a verificar a viabilidade dos resultados dos apoios obtidos com o “Prolinhas”, iremos comparar com o projeto realizado pela EDP Distribuição no apêndice 1.

Tabela 9- Comparação de resultados para o 1º caso de estudo

Apoios	Prolinhas	EDP
1	20M3500	20M5000
2	26M1200	26M1200
3	28M2250	28M2750
4	24M1200	24M1200
5	28M1200	28M1200
6	28M1200	28M1200
7	26M1200	26M1200
8	24M1200	24M1200
9	24M3500	24M5000
10	28M1200	28M1200
11	24M1200	24M1200
12	28M1200	28M1200
13	28M1200	28M1200
14	24M1200	24M1200
15	28M1200	28M1200
16	28M1200	28M1200
17	26M1200	26M1200
18	24M1200	24M1200
19	16M3500	16M5000

Através da análise da Tabela 9, podemos concluir que a aplicação é bastante fiável, tendo em conta que 79% dos resultados obtidos estão congruentes com os da EDP. É possível verificar que nos quatro apoios cujo resultado difere da aplicação, os apoios optados pela EDP são todos superiores, isto poderá indiciar que a EDP opte por sobre dimensionar os apoios de forma a colocar uma derivação no futuro ou então por razões contratuais com os fornecedores de postes.

6.2 Cálculo para uma transição aéreo-subterrânea

Será agora apresentado um exemplo de um projeto de linhas aéreas a partir de uma transição-subterrânea, que por sua vez é uma continuação do projeto apresentado no subcapítulo 6.1.

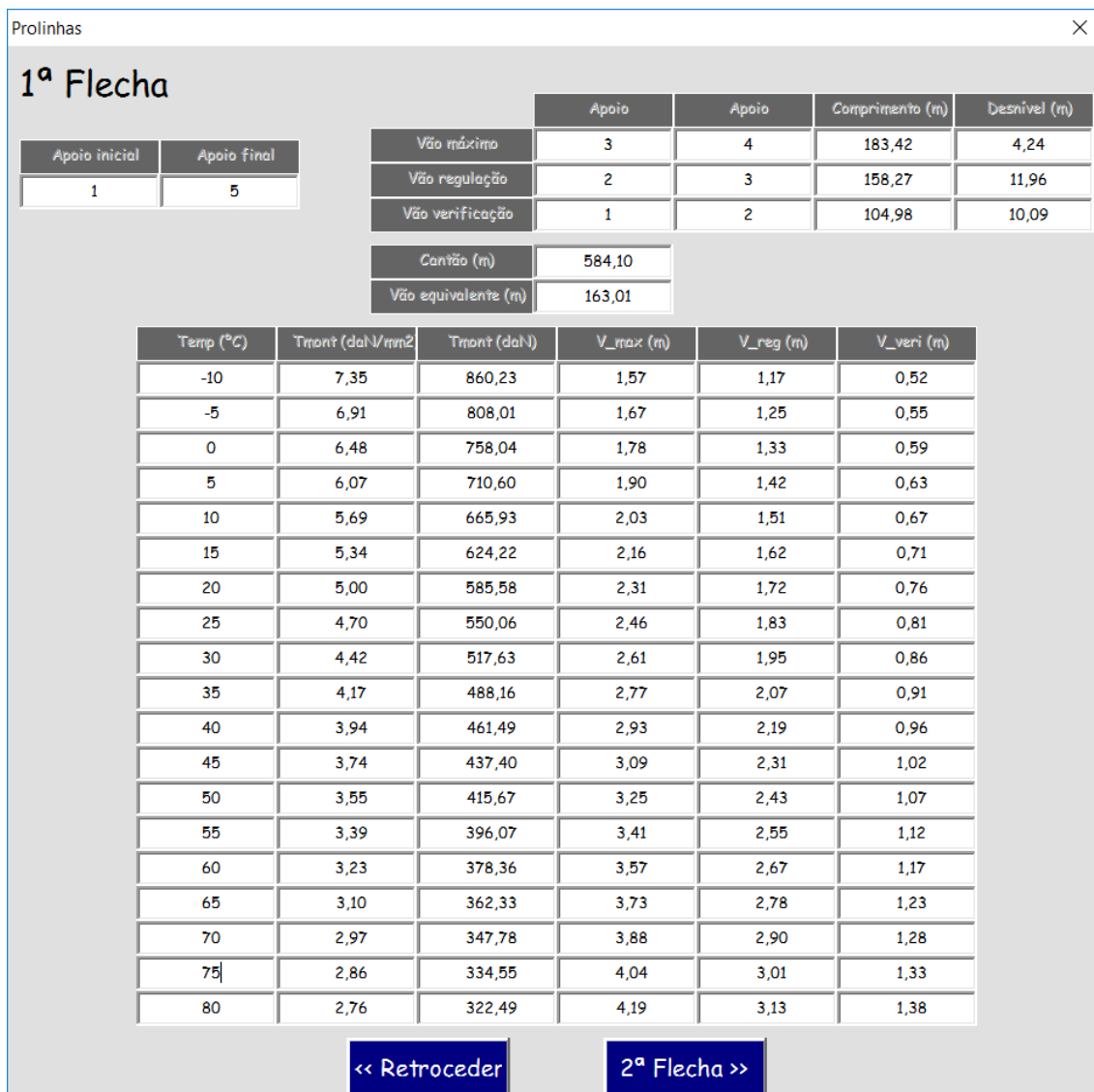


Figura 54- 1ª Flecha de regulação e de montagem em função da temperatura

Concluído o projeto, o utilizador terá a hipótese de voltar ao menu inicial ou guardar os relatórios em pdf com os resultados obtidos.

Caso o utilizador selecione “Guardar pdf” será automaticamente apresentado os relatórios do estudo realizado. Estes relatórios estão representados no apêndice 3.

Do mesmo modo que foi realizado no subcapítulo 6.1, iremos comparar os resultados obtidos no “Prolinhas” com o projeto realizado pela EDP Distribuição.

Tabela 10- Comparação de resultados para o 2º caso de estudo

Apoios	Prolinhas	EDP
20	16M3500	16M5000
21	24M1200	24M1200
22	28M1200	28M1200
23	24M1200	24M1200
24	20M2750	20M5000
25	18M600	18M600
26	18M3500	18M3500

Através da análise da Tabela 10, podemos mais uma vez concluir que os resultados são bastantes próximos da EDP, tendo em conta que 71% dos apoios obtidos são iguais. Conforme foi referido anteriormente a razão para desvios poderá ser por razões contratuais com os fornecedores de postes ou por possibilidade de realizar uma derivação no futuro.

Não foi inserido na Tabela 10 o último apoio (apoio N°10 do projeto), por não ser possível concluir com exatidão os esforços aplicados, tendo em conta que está ligado em anel com outra rede.

Capítulo 7

Conclusões e desenvolvimentos futuros

Neste capítulo são enumeradas as conclusões obtidas através do estudo realizado nos capítulos anteriores, assim como apresentados possíveis desenvolvimentos futuros no âmbito do estudo, nomeadamente os métodos de cálculo utilizando a aplicação informática.

7 Conclusões e Desenvolvimentos futuros

7.1 Conclusões

Concluída a elaboração da presente dissertação, conclui-se que todos os objetivos inicialmente propostos foram atingidos, uma vez que após a realização de um estudo teórico sobre o método de cálculo para o dimensionamento dos apoios e das flechas, foi possível estruturar, desenvolver e implementar a aplicação informática *Prolinhas*, que permite determinar a base de um projeto de linhas aéreas de MT. Esta aplicação foi desenvolvida em ambiente *Microsoft Excel*, uma ferramenta de acesso comum para a maioria dos utilizadores de ferramentas computacionais.

Este projeto surgiu com o objetivo de colmatar os inúmeros cálculos manuais necessários realizar para posteriormente verificar no *software* a validação dos apoios. E também como uma alternativa às ferramentas computacionais já existentes que não são de acesso livre e que por vezes não são simples de trabalhar.

A escolha do *software* recaiu sobre o *Microsoft Excel* por se tratar de uma ferramenta integrante do *Microsoft Office*, que para além de estar disponível para a grande maioria dos utilizadores também integra a funcionalidade do *VisualBasic*. O desenvolvimento da aplicação foi feito, sempre tendo em consideração um interface simples e *user friendly*, que permitisse ao utilizador uma fácil adaptação e interação de forma a maximizar o seu rendimento e eficiência de trabalho.

Os métodos de cálculo utilizados na aplicação são baseados no RSLEAT que é o regulamento normativo que está em vigor para os projetos de linhas aéreas de MT.

A aplicação permite ao utilizador projetar duas das situações mais comuns aquando da criação de uma rede de linhas aéreas de MT, sendo uma delas a partir de uma derivação de uma linha principal e a segunda a partir de uma transição aéreo-subterrânea. Contrariamente às outras aplicações testadas, o *Prolinhas* não necessita de abrir várias bases de dados para copiar a designação do material para o executável, foi então estruturado um método com caixas de combinação que tornam bastante mais simples o método de preenchimento das tabelas.

Por fim, será disponibilizada ao utilizador a possibilidade de produzir os relatórios com o resumo dos cálculos efetuados em formato pdf.

Em síntese verificou-se, comparativamente com o projeto da EDP Distribuição, que a aplicação é bastante fiável e permite acrescentar grandes vantagens ao processo de elaboração de projetos de linhas aéreas de MT. Entre as quais a significativa diminuição do tempo necessário para efetuar todos os cálculos e consultas, a diminuição da probabilidade de erro e a possibilidade de conter uma grande quantidade de informação armazenada na base de dados do aplicativo.

7.2 Desenvolvimentos futuros

No que diz respeito a possíveis desenvolvimentos futuros da presente dissertação foi estabelecido um conjunto de ações de investigação e inovação, consideradas bastante pertinentes e de mais-valia no desenvolvimento do setor de projeto de linhas aéreas de MT, as quais serão apresentadas de seguida.

Na sequência do desenvolvimento deste trabalho, é possível constatar uma ampla possibilidade de ampliação para este setor, nomeadamente, no desenvolvimento do cálculo elétrico das linhas e o desenho do perfil da rede com a precaução dos objetos vizinhos à linha.

A segunda área de melhoria poderia ser na implementação de uma funcionalidade que permita o carregamento automático de informação no interface a partir de outro ficheiro em Excel, dessa forma o utilizador não necessitaria de carregar toda a informação de uma rede para efetuar uma alteração de um projeto já realizado. Uma das limitações do programa é a questão da quantidade total dos apoios que está limitada, por isso, deverá ser desenvolvida a tornar exequível para projetos de grandes dimensões.

Com estas atualizações o programa teria um grande potencial a nível de desempenho no mundo da engenharia de projeto e assim como no mercado deste tipo de *softwares*. Pois, tendo em conta o estudo executado nesta dissertação na pesquisa de aplicações que se debrucem na mesma área, nenhuma das aplicações gratuitas até aqui encontrada, dispõe de todas as atualizações aqui proposta a desenvolvimento futuro.

Referências

Bibliográficas

- [1] ERSE. [Online]. Available: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/actividadesdosector/distribuicao/Paginas/RND-Linhas.aspx>.
- [2] EDP Distribuição, Manual de Ligações à rede elétrica de serviço público, 5º ed., Outubro 2015.
- [3] Solidal, Julho 2007. [Online]. Available: <http://www.solidal.pt/?m=217&c=14>.
- [4] E. F. Loureiro, *Sebenta de Instalações Eléctricas III*, Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa.
- [5] DGE, "Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão," 1993.
- [6] D. d. N. e. Tecnologia, *Material para Linhas Aéreas - Armações de Aço para Postes de Betão de MT*, Coimbra, 2005.
- [7] E. Distribuição, "Evolução QS da rede de distribuição MT em Portugal continental e próximos desafios," in *Ordem dos Engenheiros - Região Centro Ciclo Sessões técnicas*, Coimbra, 2012.
- [8] Fisola, "Catálogo de produtos Fisola," [Online]. Available: <http://www.fisola.com/#!/produtos/c1iwz>. [Accessed 27 Junho 2015].
- [9] I. mrocha & j.serra metalúrgica, "mrjs," [Online]. Available: <http://www.mrjs.pt/?zona=ctlg&fam=414&lng=pt&id=1026>. [Accessed 27 Junho 2015].
- [10] SolForm, *Elaboração de projectos de linhas de Média Tensão*, Porto, 2010.
- [11] B. Said, *Calcul Mecanique des Lignes Aeriennes*, 2008.
- [12] D. G. d. Energia, *Recomendações para linhas aéreas de alta tensão, até 30kV (M.T.)*, 1986.
- [13] E. Distribuição, *Apoios para Linhas Aéreas - Postes de betão para redes de AT (60 kV)*, Coimbra, 2004.

[14] Cavan, Postes de AT e MT, 2009.

Anexos

Anexo I – Diagramas de Esforços de Utilização dos Apoios

H(m)	F₇₅₀ (daN)	S₇₅₀ (daN)	F'₇₅₀ (daN)	S'₇₅₀ (daN)	Tipo
14	400	220	195	107	14M400
16	400	220	146	80	16M400
18	400	220	90	49	18M400
16	600	320	334	178	16M600
18	600	320	275	147	18M600
20	600	320	211	112	20M600
22	600	320	160	85	22M600
14	800	420	554	291	14M800
16	800	420	499	262	16M800
18	800	420	434	228	18M800
20	800	420	365	191	20M800
22	800	420	309	162	22M800
16	1000	520	665	346	16M1000
18	1000	520	596	310	18M1000
20	1000	520	521	271	20M1000
22	1000	520	461	240	22M1000
14	1200	560	878	410	14M1200
16	1200	560	807	376	16M1200
18	1200	560	726	339	18M1200
20	1200	560	639	298	20M1200
22	1200	560	569	265	22M1200
24	1200	560	471	219	24M1200
26	1200	560	365	170	26M1200
28	1200	560	271	126	28M1200
16	1400	650	970	450	16M1400
22	1400	650	717	333	22M1400
24	1400	650	613	284	24M1400
26	1400	650	502	233	26M1400
28	1400	650	403	187	28M1400
30	1400	650	280	130	30M1400
14	1600	740	1214	561	14M1600
16	1600	740	1133	524	16M1600
18	1600	740	1041	481	18M1600
22	1600	740	865	400	22M1600
24	1600	740	755	349	24M1600
26	1600	740	639	295	26M1600
28	1600	740	536	247	28M1600
30	1600	740	407	188	30M1600
14	2250	1000	1770	786	14M2250
16	2250	1000	1673	743	16M2250
18	2250	1000	1564	695	18M2250
20	2250	1000	1449	644	20M2250
22	2250	1000	1358	603	22M2250
24	2250	1000	1230	546	24M2250
26	2250	1000	1096	487	26M2250

H(m)	F₇₅₀ (daN)	S₇₅₀ (daN)	F'₇₅₀ (daN)	S'₇₅₀ (daN)	Tipo
28	2250	1000	976	434	28M2250
30	2250	1000	829	368	30M2250
14	2750	1300	2250	1063	14M2750
16	2750	1300	2152	1017	16M2750
18	2750	1300	2043	965	18M2750
20	2750	1300	1927	911	20M2750
22	2750	1300	1836	868	22M2750
24	2750	1300	1710	808	24M2750
26	2750	1300	1577	745	26M2750
28	2750	1300	1459	689	28M2750
30	2750	1300	1314	621	30M2750
14	3500	1600	2922	1336	14M3500
16	3500	1600	2804	1282	16M3500
18	3500	1600	2680	1225	18M3500
20	3500	1600	2549	1165	20M3500
22	3500	1600	2411	1102	22M3500
24	3500	1600	2267	1036	24M3500
26	3500	1600	2116	968	26M3500
28	3500	1600	1959	896	28M3500
14	4000	1800	3403	1531	14M4000
16	4000	1800	3289	1480	16M4000
18	4000	1800	3162	1422	18M4000
22	4000	1800	2923	1315	22M4000
24	4000	1800	2777	1250	24M4000
26	4000	1800	2625	1181	26M4000
14	5000	2350	4379	2058	14M5000
16	5000	2350	4262	2003	16M5000
18	5000	2350	4133	1942	18M5000
20	5000	2350	3997	1878	20M5000
22	5000	2350	3891	1829	22M5000
24	5000	2350	3745	1760	24M5000
26	5000	2350	3592	1688	26M5000
16	7500	3400	6724	3048	16M7500
18	7500	3400	6589	2987	18M7500
20	7500	3400	6446	2922	20M7500
22	7500	3400	6335	2872	22M7500
24	7500	3400	6181	2802	24M7500
26	7500	3400	6020	2729	26M7500
16	9000	4000	8130	3613	16M9000
18	9000	4000	7980	3547	18M9000
20	9000	4000	7824	3477	20M9000
22	9000	4000	7702	3423	22M9000
24	9000	4000	7533	3348	24M9000
26	9000	4000	7358	3270	26M9000
12	1750	700	1360	544	12TP2

H(m)	F₇₅₀ (daN)	S₇₅₀ (daN)	F'₇₅₀ (daN)	S'₇₅₀ (daN)	Tipo
14	1750	700	1272	508	14TP2
12	2250	900	1798	719	12TP4
14	2250	900	1699	679	14TP4

Anexo II – Características dos Condutores

Tipo	Secção (mm²)	Diâmetro (m)	Peso específico linear do condutor (kg/m)	Carga rotura nominal (daN)	Módulo Elasticidade (daN/mm²)	Coefficiente dilatação (°C⁻¹)	Tensão de segurança (daN/mm²)
Aster 55	54,60	0,00945	0,15	1773	6200	0,0000190	12,99
Aster 117	117,00	0,01400	0,32	3451	6000	0,0000190	11,80
Aster 148	148,10	0,01580	0,41	4812	6000	0,0000190	13,00
Aster 288	288,35	0,02210	0,79	9371	5700	0,0000177	13,00
AA30	30,60	0,00708	0,11	934	7600	0,0000190	12,21
AA50	49,50	0,00900	0,17	1493	7600	0,0000190	12,06
AA90	88,00	0,01200	0,31	2528	7600	0,0000190	11,49
AA105	106,80	0,01343	0,38	3430	7750	0,0000190	12,85
AA130	127,20	0,01460	0,59	6646	10400	0,0000190	20,90
AA160	157,90	0,01632	0,55	4775	7300	0,0000190	12,10
AA235	235,10	0,01989	0,81	6882	7300	0,0000190	11,71
AA325	326,10	0,02345	1,21	10938	8000	0,0000177	13,42

Anexo III – Caraterísticas dos Isoladores

Referência do elemento da cadeia	Diâmetro da parte isolante (mm)	Passo nominal (mm)	Linha de fuga nominal mínima (mm)	Força de rotura (daN)	Peso (kg)
U 40 B	175	110	190	4000	1,7
A 40	200	110	210	4000	2,6
U 70 BS	255	127	295	7000	3,5
U 100 BS	280	127	295	10000	3,9
U 160 BS	280	146	315	16000	6,2
U 40 BP	175	110	295	4000	2,4
U 100 BLP	280	146	445	10000	5,6

Anexo IV – Caraterísticas das armações

Tipo de Armação	Peso (kg)
GAL-AT	170
GAN-AT	328
GAL	155
GAN 120	180
GAN 80	85
HPT4	23
HRF 100	83
HRF 120	117
TAN 60	46,5
TAN 80	65
TAN 100	86
TAN 120	119
EVDAL-MT	150
EVDAN-MT	300

Apêndices

Apêndice 1 – Rede do caso de estudo 1 e 2

Apêndice 2 – Cálculos do Caso de Estudo 1

Apêndice 3 – Cálculos do Caso de Estudo 2

