

**FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO**

# **Projeto e Construção de Linhas Aéreas MT e AT**

**Nuno Eduardo Teixeira Silva**



Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e de Computadores

Orientador: José Eduardo Roque Neves dos Santos

14 de julho de 2023





# Resumo

A sociedade contemporânea assume a eletricidade como um bem essencial e até garantido. Atualmente, as linhas aéreas são o método mais económico de fazer a interligação entre a produção e o consumidor final. A construção destas tem de respeitar determinadas normas e regulamentos, não descurando vários fatores, tais como a qualidade, a fiabilidade, a relação custo-eficácia e o impacto visual da linha. Num projeto de linha elétrica, o correto dimensionamento é fundamental. Será necessário realizar o cálculo elétrico, bem como a verificação da estabilidade dos suportes, o que, se feito manualmente, seria bastante moroso e sujeito a erro humano.

O desenvolvimento de uma ferramenta para automatizar o processo de cálculo de linhas de transmissão de energia elétrica pode ser um recurso valioso para engenheiros eletrotécnicos e demais profissionais envolvidos na construção dessas linhas. Fazendo uso do poder de algoritmos e *softwares* de computador, essa ferramenta pode ajudar a otimizar o processo, reduzir o risco de erros e agilizar o projeto como um todo.

**Palavras-chave:** Projeto, apoios, cálculo elétrico, cálculo mecânico, estabilidade apoios, fator de segurança, aplicação informática

# Abstract

The contemporary society assumes electricity as an essential and even guaranteed good. Currently, overhead powerlines are the most economical method to ensure the interconnection between production and end consumer. Its construction have to respect certain rules and regulations, not neglecting several factors, such as quality, reliability, cost-effectiveness, and the visual impact of the infrastructure. The crucial aspect in an overhead line design, is the correct and detailed dimensioning. It will be necessary to carry out electrical calculation, as well as the mechanical verification of the stability of the supports, which, if done manually, would be quite time consuming and prone to human error.

The development of a technical tool to automate the calculation process for overhead power lines can be a valuable resource for electrotechnical engineers and other professionals in the construction. By leveraging the power of computer algorithms and software, this tool can help to optimize the process, reduce the risk of human errors, and optimize the overall project.

**Keywords:** Project, tower, electric calculation, structural calculation, tower stability, safety factor, computer application

# Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer ao meu orientador, Professor Neves dos Santos, pela sua orientação ao longo desta dissertação. A sua *expertise* e o seu *feedback* construtivo foram essenciais para o sucesso desta dissertação.

Gostaria também de expressar os meus agradecimentos à Value Element, a empresa que me acolheu durante o período da minha tese. A vossa generosidade ao oferecerem o ambiente e os recursos necessários para realizar este trabalho foram fundamentais para o seu sucesso. Um agradecimento aos Engenheiros Alice Silva, Rui Sá e José Carlos, por partilharem o vosso conhecimento, fornecendo valiosas contribuições que enriqueceram esta dissertação, e por criarem um ambiente de trabalho colaborativo e estimulante. Ao Engenheiro Marcelo Pereira, por confiar em mim para desenvolver a minha dissertação na sua empresa, pela sua liderança inspiradora e contínuo apoio e orientação ao longo desta jornada.

Não posso deixar de agradecer aos meus pais, pelo amor, pelos sacrifícios, para que pudesse ter tudo quanto ambicionasse, e pelo suporte incondicional que sempre me deram. O vosso apoio constante foi um verdadeiro alicerce para a minha jornada, académica e pessoal, e para esta conquista.

À Xana, que está ao meu lado dia sim, dia não. A paciência e os discursos motivadores, de quem estará sempre na bancada, ganhe ou perca, foram uma inspiração constante para enfrentar os desafios e superar todos os obstáculos ao longo do curso. Agradeço todos os dias a tua presença, apoio incondicional e amor.

Ao meu avô. A tua sabedoria e incentivo foram uma inspiração constante para mim. Sinto a tua falta todos os dias e sei que hoje estamos a celebrar juntos.

À minha família, por comemorarem todas as minhas conquistas e me amparem nos momentos menos bons.

Por fim, aos meus amigos, que me acompanharam ao longo desta jornada. Obrigado por descomplicarem a vida e por me meterem nas ideias mais malucas que eu possa pensar.

Há quem diga que é preciso uma aldeia para se educar uma criança. Embora concorde, hoje, digo que é preciso uma aldeia para fazer um curso. E que aldeia me calhou. Sou mesmo um sortudo.

A todos os mencionados acima e a todas as pessoas que, de alguma forma, me ajudaram nesta caminhada, o meu sincero obrigado.

Nuno Silva

*“Don’t let others tell you what you can’t do.  
Don’t let the limitations of others limit your vision.  
If you can remove your self-doubt and believe in yourself,  
you can achieve what you never thought possible.”*

Roy T. Bennett

# Conteúdo

|          |                                                              |           |
|----------|--------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1</b> | <b>Introdução</b>                                            | <b>1</b>  |
| 1.1      | Contextualização e Movitação . . . . .                       | 1         |
| 1.2      | Objetivos do Trabalho . . . . .                              | 2         |
| 1.3      | Estrutura da Dissertação . . . . .                           | 2         |
| <b>2</b> | <b>Projeto de linhas elétricas MT e AT</b>                   | <b>4</b>  |
| 2.1      | Portugal e a eletricidade . . . . .                          | 4         |
| 2.2      | Fases do projeto de linhas MT e AT . . . . .                 | 6         |
| 2.2.1    | Método tradicional . . . . .                                 | 6         |
| 2.2.2    | Método utilizado na indústria . . . . .                      | 9         |
| 2.3      | Componentes de uma linha . . . . .                           | 10        |
| 2.3.1    | Condutores . . . . .                                         | 11        |
| 2.3.2    | Cabos de guarda . . . . .                                    | 12        |
| 2.3.3    | Isoladores . . . . .                                         | 13        |
| 2.3.4    | Apoios e fundações . . . . .                                 | 16        |
| 2.3.5    | Armações - apoios de betão . . . . .                         | 20        |
| 2.3.6    | Fixação dos condutores e amortecedores de vibração . . . . . | 22        |
| 2.3.7    | Redes de terra . . . . .                                     | 23        |
| 2.3.8    | Conjuntos Sinaléticos . . . . .                              | 24        |
| 2.3.9    | Acessórios da linha . . . . .                                | 24        |
| 2.4      | Regulamentos aplicáveis a linhas MT e AT . . . . .           | 27        |
| <b>3</b> | <b>Cálculo elétrico</b>                                      | <b>28</b> |
| 3.1      | Objetivo . . . . .                                           | 28        |
| 3.2      | Tensão nominal . . . . .                                     | 28        |
| 3.3      | Corrente nominal da linha . . . . .                          | 29        |
| 3.4      | Modelo de Kuipers-Brown . . . . .                            | 29        |
| 3.5      | Constantes elétricas da linha . . . . .                      | 30        |
| 3.5.1    | Resistência elétrica . . . . .                               | 30        |
| 3.5.2    | Indutância e reatância . . . . .                             | 31        |
| 3.5.3    | Capacidade e susceptância . . . . .                          | 32        |
| 3.5.4    | Condutância . . . . .                                        | 33        |
| 3.5.5    | Impedância . . . . .                                         | 34        |
| 3.5.6    | Admitância . . . . .                                         | 34        |
| 3.6      | Impedância característica . . . . .                          | 35        |
| 3.7      | Distância geométrica entre condutores . . . . .              | 35        |
| 3.8      | Perdas da linha . . . . .                                    | 36        |
| 3.9      | Queda de tensão . . . . .                                    | 36        |

|          |                                                                                   |           |
|----------|-----------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 3.10     | Resumo cálculo constantes elétricas . . . . .                                     | 37        |
| 3.11     | Campo eletromagnético . . . . .                                                   | 38        |
| <b>4</b> | <b>Cálculo mecânico</b>                                                           | <b>39</b> |
| 4.1      | Objetivo . . . . .                                                                | 39        |
| 4.2      | Tração mecânica máxima admissível . . . . .                                       | 39        |
| 4.3      | Solicitações exigidas à linha . . . . .                                           | 40        |
| 4.3.1    | Ação do peso específico do condutor . . . . .                                     | 41        |
| 4.3.2    | Ação da força do vento . . . . .                                                  | 41        |
| 4.3.3    | Ação da variação de temperaturas e possível manga de gelo . . . . .               | 42        |
| 4.4      | Estados atmosféricos . . . . .                                                    | 44        |
| 4.5      | Coeficiente de sobrecarga . . . . .                                               | 45        |
| 4.6      | Equação de estados e tração de montagem . . . . .                                 | 45        |
| 4.7      | Vão crítico e vão equivalente . . . . .                                           | 46        |
| 4.7.1    | Vão crítico . . . . .                                                             | 46        |
| 4.7.2    | Vão Equivalente . . . . .                                                         | 47        |
| 4.8      | Determinação do pior estado atmosférico . . . . .                                 | 48        |
| 4.9      | Parâmetro da catenária e flecha de uma linha MT ou AT . . . . .                   | 48        |
| 4.9.1    | Vão em patamar e vão em desnível . . . . .                                        | 50        |
| 4.10     | Estabilidade dos apoios . . . . .                                                 | 51        |
| 4.10.1   | Notação hipóteses de cálculo . . . . .                                            | 52        |
| 4.10.2   | Apoios de alinhamento e ângulo - caso geral . . . . .                             | 53        |
| 4.10.3   | Apoios de derivação - caso geral . . . . .                                        | 55        |
| 4.10.4   | Apoios de reforço em alinhamento e reforço em ângulo - caso geral . . . . .       | 57        |
| 4.10.5   | Apoios de reforço em derivação - caso geral . . . . .                             | 59        |
| 4.10.6   | Apoios de fim de linha - caso geral . . . . .                                     | 62        |
| 4.11     | Distâncias mínimas regulamentares . . . . .                                       | 63        |
| 4.11.1   | Distância dos condutores ao solo . . . . .                                        | 63        |
| 4.11.2   | Distância dos condutores às árvores . . . . .                                     | 64        |
| 4.11.3   | Distância dos condutores aos edifícios . . . . .                                  | 64        |
| 4.11.4   | Distância dos condutores a obstáculos diversos . . . . .                          | 64        |
| 4.11.5   | Distância entre os condutores . . . . .                                           | 65        |
| 4.11.6   | Distância entre os condutores e os cabos de guarda . . . . .                      | 65        |
| 4.11.7   | Distância entre os condutores e os apoios . . . . .                               | 65        |
| 4.11.8   | Distância dos condutores às estradas . . . . .                                    | 66        |
| 4.11.9   | Distância dos condutores aos cursos de água não navegáveis . . . . .              | 66        |
| 4.11.10  | Distância dos condutores aos cursos de água navegáveis . . . . .                  | 66        |
| 4.11.11  | Distância dos condutores a teleféricos . . . . .                                  | 67        |
| 4.11.12  | Distância dos condutores a caminhos de ferro não eletrificados . . . . .          | 67        |
| 4.11.13  | Distância dos condutores a caminhos de ferro com eletrificação prevista . . . . . | 67        |
| 4.11.14  | Distância dos condutores à instalação da linha de contacto . . . . .              | 67        |
| 4.11.15  | Distância entre linhas . . . . .                                                  | 68        |
| 4.11.16  | Distância entre condutores da linha inferior e apoios da linha superior . . . . . | 68        |
| 4.11.17  | Distância entre condutores e linhas de telecomunicação . . . . .                  | 68        |
| 4.11.18  | Valores de referência em prática . . . . .                                        | 69        |
| 4.12     | Particularidades de vãos em suspensão . . . . .                                   | 69        |
| 4.12.1   | Desvio transversal das cadeias de isoladores . . . . .                            | 69        |
| 4.12.2   | Ângulo de condutores nos acessórios de fixação . . . . .                          | 70        |
| 4.12.3   | Apoio enforcado . . . . .                                                         | 72        |

|          |                                                                               |            |
|----------|-------------------------------------------------------------------------------|------------|
| <b>5</b> | <b>Software de cálculo desenvolvido</b>                                       | <b>73</b>  |
| 5.1      | Escolha do programa de desenvolvimento do <i>software</i> . . . . .           | 73         |
| 5.1.1    | Vantagens e desvantagens do programa <i>Microsoft Excel</i> . . . . .         | 73         |
| 5.2      | Esquema da Aplicação . . . . .                                                | 74         |
| 5.3      | Bases de dados utilizadas . . . . .                                           | 75         |
| 5.4      | Cálculo Esforços Máximos - Apoios Metálicos . . . . .                         | 75         |
| 5.5      | Funcionalidades da ferramenta de cálculo . . . . .                            | 76         |
| 5.6      | Análise da ferramenta de cálculo . . . . .                                    | 77         |
| 5.6.1    | Folha <i>Início</i> . . . . .                                                 | 78         |
| 5.6.2    | Folha <i>Dados Gerais</i> . . . . .                                           | 78         |
| 5.6.3    | Folha <i>Esforços Apoios</i> . . . . .                                        | 82         |
| 5.6.4    | Folha <i>Cálculo Elétrico</i> . . . . .                                       | 88         |
| 5.6.5    | Folha <i>Regime Permanente_Kuipers-Brown</i> . . . . .                        | 89         |
| 5.6.6    | Folhas <i>Estado + Desfavoravel cond e Estado + Desfavoravel cg</i> . . . . . | 89         |
| 5.6.7    | Folha <i>Relatório Técnico</i> . . . . .                                      | 90         |
| 5.6.8    | Folha <i>Vão Equivalente</i> . . . . .                                        | 91         |
| 5.6.9    | Folhas ocultas . . . . .                                                      | 92         |
| 5.6.10   | Folhas invisíveis . . . . .                                                   | 93         |
| <b>6</b> | <b>Verificações e resultados</b>                                              | <b>94</b>  |
| 6.1      | Verificação do desempenho do <i>ApOpti</i> . . . . .                          | 94         |
| 6.1.1    | Verificação em <i>CLinhas</i> . . . . .                                       | 97         |
| 6.2      | Casos de Estudo . . . . .                                                     | 98         |
| 6.2.1    | Linha Simples - 30 kV . . . . .                                               | 98         |
| 6.2.2    | Linha Simples - 60 kV . . . . .                                               | 100        |
| 6.2.3    | Linha Dupla - 60 kV . . . . .                                                 | 103        |
| 6.2.4    | Linha Dupla Geminada - 60 kV . . . . .                                        | 105        |
| <b>7</b> | <b>Conclusões e desenvolvimentos futuros</b>                                  | <b>107</b> |
| 7.1      | Conclusão . . . . .                                                           | 107        |
| 7.2      | Desenvolvimentos futuros . . . . .                                            | 108        |
|          | <b>Anexos</b>                                                                 | <b>109</b> |
| <b>A</b> | <b>Base de dados cabos</b>                                                    | <b>110</b> |
| <b>B</b> | <b>Base de dados isoladores</b>                                               | <b>111</b> |
| <b>C</b> | <b>Base de dados armações</b>                                                 | <b>112</b> |
| <b>D</b> | <b>Base de dados apoios de betão</b>                                          | <b>115</b> |
| <b>E</b> | <b>Base de dados apoios metálicos</b>                                         | <b>119</b> |
| <b>F</b> | <b>Validação manual dos cálculos</b>                                          | <b>123</b> |
|          | <b>Referências</b>                                                            | <b>153</b> |

# Lista de Figuras

|      |                                                                                                                            |    |
|------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 2.1  | Exemplar Candeeiro <i>Jablochkoff</i> [31]                                                                                 | 4  |
| 2.2  | Do lado esquerdo, cabo nu, acima, e cabo isolado, abaixo; do lado direito, cabo unifilar, acima, e cabo multifilar, abaixo | 11 |
| 2.3  | Condutor ACSR [5]                                                                                                          | 12 |
| 2.4  | Condutor OPGW [6]                                                                                                          | 12 |
| 2.5  | Condutor ADSS                                                                                                              | 13 |
| 2.6  | Tipos de isoladores [1]                                                                                                    | 13 |
| 2.7  | Tipos de cadeias                                                                                                           | 15 |
| 2.8  | Apoio de alinhamento                                                                                                       | 16 |
| 2.9  | Apoio de ângulo                                                                                                            | 17 |
| 2.10 | Apoio de derivação em alinhamento                                                                                          | 17 |
| 2.11 | Apoio de reforço em alinhamento                                                                                            | 18 |
| 2.12 | Apoio de derivação em reforço em alinhamento                                                                               | 18 |
| 2.13 | Apoio de Fim de Linha                                                                                                      | 19 |
| 2.14 | Tipos de Pinças Fixação                                                                                                    | 22 |
| 2.15 | Amortecedor <i>Stockbridge</i> [3]                                                                                         | 22 |
| 2.16 | Imagem Ilustrativa Eléctrodo de Terra [20]                                                                                 | 23 |
| 2.17 | Imagem Ilustrativa Balizagem Diurna                                                                                        | 25 |
| 2.18 | Tipos de Salva-Pássaros                                                                                                    | 26 |
| 2.19 | Alguns Exemplos Anti-Nidificação                                                                                           | 26 |
| 2.20 | Plataforma Nidificação                                                                                                     | 27 |
| 3.1  | Representação de apoios para cálculo de distância geométrica entre fases                                                   | 35 |
| 3.2  | Diagrama Resumo Cálculo Elétrico de uma Linha MT ou AT                                                                     | 37 |
| 4.1  | Representação das solicitações exigidas a um condutor                                                                      | 40 |
| 4.2  | Representação gráfica estados atmosféricos                                                                                 | 44 |
| 4.3  | Árvore de Decisão Pior Estado Atmosférico                                                                                  | 48 |
| 4.4  | Aproximação parabólica entre catenária e parábola [24]                                                                     | 50 |
| 4.5  | Vão em patamar                                                                                                             | 50 |
| 4.6  | Vão em desnível                                                                                                            | 51 |
| 4.7  | Esquema apoios de alinhamento e ângulo - caso geral                                                                        | 53 |
| 4.8  | Esquema apoios de derivação - caso geral                                                                                   | 55 |
| 4.9  | Esquema apoios de reforço em alinhamento e reforço em ângulo - caso geral                                                  | 57 |
| 4.10 | Esquema apoios de reforço em derivação - caso geral                                                                        | 59 |
| 4.11 | Esquema apoios de fim de linha - caso geral                                                                                | 62 |
| 4.12 | Desvio transversal de uma cadeia de isoladores                                                                             | 70 |
| 4.13 | Ângulo condutor nos acessórios de fixação                                                                                  | 71 |



|      |                                                                               |     |
|------|-------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 4.14 | Apoio Enforcado . . . . .                                                     | 72  |
| 5.1  | Fluxograma da ferramenta <i>Excel</i> desenvolvida . . . . .                  | 74  |
| 5.2  | Equações de cálculo dos apoios AK06/4000 e MK06/4000 [37] . . . . .           | 75  |
| 5.3  | Condições de utilização do apoio F95CA [32] . . . . .                         | 76  |
| 5.4  | Folha <i>Início</i> da ferramenta de cálculo . . . . .                        | 78  |
| 5.5  | Folha <i>Dados Gerais</i> da ferramenta de cálculo - sem derivação . . . . .  | 78  |
| 5.6  | Folha <i>Dados Gerais</i> da ferramenta de cálculo - com derivação . . . . .  | 79  |
| 5.7  | Folha <i>Dados Gerais</i> em zona com gelo e com separador central . . . . .  | 81  |
| 5.8  | Formulário introdução de um novo cabo . . . . .                               | 81  |
| 5.9  | Folha <i>Esforços Apoios</i> . . . . .                                        | 82  |
| 5.10 | Inserção de dados sem derivação . . . . .                                     | 83  |
| 5.11 | Inserção de dados com derivação . . . . .                                     | 83  |
| 5.12 | Apoios calculados e apoios escolhidos . . . . .                               | 84  |
| 5.13 | Cálculo esforços apoios . . . . .                                             | 84  |
| 5.14 | Esforços máximos apoios calculados e apoios escolhidos . . . . .              | 85  |
| 5.15 | Botões folha <i>Esforços Apoios</i> . . . . .                                 | 87  |
| 5.16 | Folha <i>Cálculo Elétrico</i> . . . . .                                       | 88  |
| 5.17 | Folha <i>Regime Permanente_Kuipers-Brown</i> . . . . .                        | 89  |
| 5.18 | Folha <i>Estado + Desfavoravel cond</i> . . . . .                             | 90  |
| 5.19 | Folha <i>Estado + Desfavoravel cg</i> . . . . .                               | 90  |
| 5.20 | Folha <i>Relatório Técnico</i> . . . . .                                      | 91  |
| 5.21 | Folha <i>Vão Equivalente</i> , para vãos em desnível . . . . .                | 91  |
| 5.22 | Lista suspensa folha <i>Esforços Calc</i> . . . . .                           | 92  |
| 5.23 | Alguns intervalos nomeados na funcionalidade <i>Gestor de nomes</i> . . . . . | 93  |
| 6.1  | Esquema de ligação - linha simples, a 30 kV - caso A . . . . .                | 98  |
| 6.2  | Esquema de ligação - linha simples, a 60 kV - caso B . . . . .                | 100 |
| 6.3  | Esquema de ligação - linha dupla, a 60 kV - caso C . . . . .                  | 103 |
| 6.4  | Esquema de ligação - linha dupla geminada, a 60 kV - caso D . . . . .         | 105 |

# Lista de Tabelas

|      |                                                                           |     |
|------|---------------------------------------------------------------------------|-----|
| 2.1  | Organização Tensões SEE . . . . .                                         | 5   |
| 2.2  | Níveis de Poluição . . . . .                                              | 14  |
| 2.3  | Cadeias de isoladores normalizadas E-Redes . . . . .                      | 15  |
| 2.4  | Características dos isoladores das cadeias normalizadas E-Redes . . . . . | 16  |
| 2.5  | Tipos de Armações MT . . . . .                                            | 21  |
| 2.6  | Tipos de Armações AT . . . . .                                            | 21  |
| 3.1  | Temperaturas Sazonais Modelo Kuipers-Brown . . . . .                      | 30  |
| 3.2  | Limites de exposição a campos eletromagnéticos, a 50 Hz . . . . .         | 38  |
| 4.1  | Coeficientes de forma condutores e cabos guarda . . . . .                 | 42  |
| 4.2  | Valores pressão dinâmica do vento . . . . .                               | 42  |
| 4.3  | Temperaturas para cada estado atmosférico . . . . .                       | 43  |
| 4.4  | Espessura de gelo $e$ consoante altitude da linha . . . . .               | 43  |
| 4.5  | Distâncias mínimas recomendadas E-Redes . . . . .                         | 69  |
| 5.1  | Nomenclaturas dos tipos de apoio . . . . .                                | 83  |
| 6.1  | Dados linha em análise . . . . .                                          | 95  |
| 6.2  | Comparação cálculo esforços apoios - hipótese 1 . . . . .                 | 95  |
| 6.3  | Comparação cálculo esforços apoios - hipótese 2 . . . . .                 | 95  |
| 6.4  | Comparação cálculo coeficiente esforço apoios . . . . .                   | 96  |
| 6.5  | Comparação cálculo elétrico da linha . . . . .                            | 96  |
| 6.6  | Comparação cálculo vão crítico . . . . .                                  | 97  |
| 6.7  | Cálculo apoios no programa <i>CLinhas</i> . . . . .                       | 97  |
| 6.8  | Resumo dados linha - caso A . . . . .                                     | 98  |
| 6.9  | Comparação entre <i>PLS-CADD</i> e <i>ApOpti</i> - caso A . . . . .       | 99  |
| 6.10 | Validação apoios no programa <i>Clinhas</i> - caso A . . . . .            | 99  |
| 6.11 | Cálculo elétrico da linha - caso A . . . . .                              | 99  |
| 6.12 | Resumo dados linha - caso B . . . . .                                     | 100 |
| 6.13 | Comparação entre <i>PLS-CADD</i> e <i>ApOpti</i> - caso B . . . . .       | 101 |
| 6.14 | Validação apoios no programa <i>Clinhas</i> - caso B . . . . .            | 102 |
| 6.15 | Cálculo elétrico da linha - caso B . . . . .                              | 102 |
| 6.16 | Resumo dados linha - caso C . . . . .                                     | 103 |
| 6.17 | Validação apoios no programa <i>Clinhas</i> - caso C . . . . .            | 104 |
| 6.18 | Cálculo elétrico da linha - caso C . . . . .                              | 104 |
| 6.19 | Resumo dados linha - caso D . . . . .                                     | 105 |
| 6.20 | Validação apoios no programa <i>Clinhas</i> - caso D . . . . .            | 106 |
| 6.21 | Cálculo elétrico da linha - caso D . . . . .                              | 106 |

|     |                                                                                   |     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|-----|
| A.1 | Cabos normalizados E-Redes . . . . .                                              | 110 |
| B.1 | Isoladores normalizados E-Redes [13] . . . . .                                    | 111 |
| C.1 | Distância geométrica entre fases dos apoios de betão para MT . . . . .            | 112 |
| C.2 | Distância geométrica entre fases dos apoios de betão para AT . . . . .            | 112 |
| C.3 | Distância geométrica entre fases dos apoios metálicos para MT . . . . .           | 113 |
| C.4 | Distância geométrica entre fases dos apoios metálicos para AT . . . . .           | 113 |
| C.5 | Distância do último condutor ao topo dos apoios de betão para MT . . . . .        | 113 |
| C.6 | Distância do último condutor ao topo dos apoios de betão para AT . . . . .        | 113 |
| C.7 | Distância do último condutor ao topo dos apoios metálicos para MT . . . . .       | 114 |
| C.8 | Distância do último condutor ao topo dos apoios metálicos para AT . . . . .       | 114 |
| D.1 | Apoios de betão do catálogo Cavan usados no <i>ApOpti</i> . . . . .               | 118 |
| E.1 | Apoios metálicos para MT do catálogo Metalgalva usados no <i>ApOpti</i> . . . . . | 120 |
| E.2 | Apoios metálicos para AT do catálogo Metalgalva usados no <i>ApOpti</i> . . . . . | 122 |

# Abreviaturas

|            |                                                             |
|------------|-------------------------------------------------------------|
| ACSR       | <i>Aluminium Cable Steel Reinforced</i>                     |
| ADSS       | <i>All-Dielectric Self-Supporting</i>                       |
| ANAC       | Autoridade Nacional de Aviação Civil                        |
| ANACOM     | Autoridade Nacional de Comunicações                         |
| APA        | Agência Portuguesa do Ambiente                              |
| AT         | Alta Tensão                                                 |
| BFD        | <i>Bird Flight Diverters</i>                                |
| BT         | Baixa Tensão                                                |
| CCDR       | Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional          |
| DGPC       | Direção-Geral do Património Cultural                        |
| DGEG       | Direção-Geral de Energia e Geologia                         |
| DL         | Decreto-Lei                                                 |
| EMFA       | Estado-Maior da Força Aérea                                 |
| FBF        | <i>Firefly Bird Flappers</i>                                |
| FEUP       | Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto            |
| GPS        | Global Positioning System                                   |
| I.P., S.A. | Infraestruturas de Portugal, S.A.                           |
| ICNF       | Instituto de Conservação da Natureza e das Florestas        |
| LIDAR      | Light Detection and Ranging                                 |
| MAT        | Muito Alta Tensão                                           |
| MT         | Média Tensão                                                |
| MW         | Megawatt                                                    |
| OPGW       | <i>Optical Ground Wire</i>                                  |
| PDM        | Plano Diretor Municipal                                     |
| PSS        | Plano de Segurança e Saúde                                  |
| REN        | Redes Energéticas Nacionais                                 |
| RESP       | Rede Elétrica de Serviço Pública                            |
| RND        | Rede Nacional de Distribuição                               |
| RNT        | Rede Nacional de Transporte                                 |
| RSLEAT     | Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão |
| SEE        | Sistema Elétrico de Energia                                 |
| TCO        | <i>Total Cost of Ownership</i>                              |

# Capítulo 1

## Introdução

### 1.1 Contextualização e Movitação

”A Engenharia Electrotécnica, sempre muito dinâmica, está, presentemente, em vias de sofrer uma nova revolução com a descarbonização da economia que vai ter de ocorrer nas próximas décadas. Esta transição profunda na área da energia vai trazer benefícios múltiplos, de natureza ambiental, social e sustentabilidade económica. A utilização da eletricidade como a forma mais eficiente de energia final em novas aplicações na indústria, nos edifícios e transportes, vai ser crucial para implementar a descarbonização da economia da forma globalmente mais vantajosa.” [30]

É possível afirmar que a sociedade contemporânea assume a eletricidade como um bem essencial e, até, garantido. Segundo dados da publicação anual, Energia em Números – Edição 2022 [35], da Direção Geral da Energia e Geologia, denominada doravante DGEG, em 2020, face a 2010:

- a produção doméstica de energia teve um crescimento de 20,5%;
- o consumo de energia final oriundo de petróleo diminuiu 7,6% e o de carvão 4,4%;
- o consumo de energia final oriundo de renováveis aumentou 6,5%;
- o saldo importador diminuiu 22,1%;
- a potência instalada aumentou 12,3%.

O princípio da descarbonização da economia é algo já evidente nestes dados, com o consumo de petróleo e carvão a diminuir e a energia oriunda de renováveis a começar a ter números com expressividade relevante.

Denota-se também que Portugal se tornou menos dependente de fontes de energia exteriores, tirando proveito do crescimento da potência instalada em território nacional. No entanto, com o crescimento e desenvolvimento elétrico, advêm problemas técnicos para os quais é preciso dar resposta. Um deles será o transporte e distribuição da energia elétrica produzida, tornando-se

necessária a criação de infraestruturas que fiquem responsáveis por interligar a produção ao consumidor final.

Atualmente, as linhas aéreas são o método mais económico de fazer essa mesma interligação. A sua construção tem de respeitar certas normas e regulamentos, tendo em conta vários fatores, como a qualidade, a fiabilidade, o custo-benefício e o impacto ambiental da linha.

No projeto de linhas elétricas é fulcral o correto dimensionamento das mesmas, sendo necessário proceder ao cálculo elétrico, assim como à verificação da estabilidade dos apoios e restantes equipamentos, o que, feito de forma manual, seria bastante moroso e sujeito a erro humano.

Assim, desenvolveu-se ao longo desta dissertação uma ferramenta que automatiza este mesmo processo, sustentada na regulamentação em vigor, mitigando possíveis erros, e otimizando o tempo de conceção do projeto.

## 1.2 Objetivos do Trabalho

As linhas de transmissão de energia elétrica são uma componente muito importante da rede de abastecimento energética a nível nacional. A sua operabilidade e fiabilidade são imprescindíveis para que o Sistema Elétrico de Energia, SEE, funcione. Sendo as linhas elétricas o método mais económico de realizar o transporte da energia produzida, torna-se necessário que estas sejam devidamente projetadas. Estas, quando não corretamente planeadas, passam a ser um perigo para as pessoas e bens, pois, estando sujeitas às condições atmosféricas, podem ceder às solicitações externas impostas à linha.

O objetivo desta dissertação passou pelo desenvolvimento de uma ferramenta de automatização do processo de cálculo de linhas, tanto elétrico como mecânico. Esta ferramenta incorpora toda a análise teórica realizada, bem como cumpre toda a regulamentação em vigor, à qual está sujeita.

Esta ferramenta tem ainda como objetivo auxiliar o Engenheiro Eletrotécnico na validação de apoios para linhas MT e AT, isto é, de média tensão e alta tensão, respetivamente, permitindo, assim, reduzir risco de erros e tornar o projeto mais eficiente.

## 1.3 Estrutura da Dissertação

No Capítulo 1, é apresentada a motivação para a realização deste trabalho, bem como os seus objetivos e estrutura.

Já no Capítulo 2, é analisada, de forma sucinta, a história da eletricidade em Portugal. É feita uma análise aprofundada de todas as fases envolvidas num projeto de linhas MT e AT e todos os componentes associados a uma linha. Este conhecimento prévio é importante para a compreensão de toda a teoria envolvida nos capítulos seguintes.

No Capítulo 3, é estudado o cálculo elétrico de uma linha, apresentando-se todos os parâmetros elétricos da linha, bem como a legislação associada aos campos eletromagnéticos gerados.

No Capítulo 4, é explorado o cálculo mecânico de uma linha, onde reside a parte crucial da dissertação. Foi a partir deste capítulo e do capítulo 3 que foi possível o desenvolvimento do objetivo desta dissertação, o *Excel* de cálculo mecânico e elétrico de linhas MT e AT.

No Capítulo 5 é apresentado o programa *ApOpti*, a ferramenta de cálculo mecânico e elétrico, e são exploradas todas as suas capacidades e funcionalidades.

No Capítulo 6 são feitas validações dos cálculos apresentados no programa *ApOpti*, numa primeira instância manuais, e numa segunda comparando os resultados com linhas já existentes, validando ainda os cálculos no programa *CLinhas*.

No Capítulo 7 são apresentadas as principais conclusões da dissertação, bem como apresentadas propostas de desenvolvimentos futuros.

Por fim, são disponibilizadas as referências bibliográficas, nas quais este documento se suporta, e os anexos referenciados ao longo do mesmo.

## Capítulo 2

# Projeto de linhas elétricas MT e AT

Para uma completa compreensão do tema a tratar ao longo desta dissertação, torna-se necessário analisar o estado de arte atual no que se refere ao projeto de linhas elétricas de MT e AT. Neste capítulo, foi feita uma análise das partes constituintes de uma linha elétrica, desde a sua conceção até à sua construção, bem como um resumo da regulamentação em vigor à qual esse projeto deve obedecer.

### 2.1 Portugal e a eletricidade

Apesar da primeira patente relativa a lâmpadas elétricas incandescentes ter data de 1879, submetida por Thomas Edison, através da empresa *Edison Illuminating Company*, e de, em 1882, já existirem 80 clientes iluminados por 400 lâmpadas [26], através da primeira usina elétrica criada por essa empresa, foi a 30 de outubro de 1878, pela ocasião do aniversário do rei D. Carlos I [28], que chegou a eletricidade a Portugal, com seis candeeiros *Jablochkoff*, dos quais é apresentado um exemplar na Figura 2.1, a alumiar a Cidadela de Cascais.

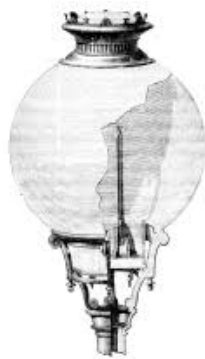


Figura 2.1: Exemplar Candeeiro *Jablochkoff* [31]

A partir desse momento, iniciou-se alguma produção a partir de pequenas centrais e açudes, mas apenas para consumo local, sendo que as centrais termoelétricas, que usam o calor da queima



de um combustível para a produção de energia, só apareceram mais tarde. A central termoelétrica da Arrábida foi inaugurada em 1895, no Porto, e a central da Avenida, em 1898, em Lisboa.

Com o aumento da demanda de energia sentida, foi necessário aumentar a potência instalada, que, em 1915, era apenas de 10 MW. Assim, foi posta em funcionamento a Central do Tejo, em Lisboa, em 1919, com 6,75 MW de potência instalada, e a barragem do Lindoso, a primeira em Portugal, construída em Ponte de Lima, em 1921, com 44,1 MW, que na atualidade se encontra fora de funcionamento. No decorrer do mesmo ano, a potência da central do Tejo seria elevada para 22,75 MW.

Mas foi mais tarde, já em 1944, que foi aprovada uma lei que pretendia dar prioridade à produção de energia de origem hídrica, dando-se um aumento exponencial de construção de barragens, e em 1960, 90% da potência instalada tinha origem nestes centros eletroprodutores.

Em 1972, a Central do Tejo encerra, após anos a funcionar como reserva. Em 1979, abre a Central de Setúbal, alimentada a fuelóleo, com 1000 MW, e em 1985, entra em funcionamento a Central de Sines, com 1200 MW de potência, com o carvão como combustível fóssil.

Seguem-se, nos anos seguintes, várias entradas em funcionamento de centrais hidroelétricas, tais como a Barragem do Alto Lindoso, em 1992, com uma potência de 630 MW, e a Barragem do Alqueva, em 2004, com 240 MW, reforçada em 2012, ficando com 520 MW de potência instalada.

Em 2005, houve um grande investimento em produção eólica, tendo sido instalados vários parques eólicos a nível nacional. Em 2007, o governo aprovou a construção de sete novas barragens até 2020, o que não viria a acontecer devido à crise instalada em 2008, sendo este plano revisto em 2016. Entre 2010 e 2012, muitas das centrais construídas no final do século XX foram fechadas, tais como as Centrais do Carregado, do Barreiro e de Setúbal.

Em 2021, foi encerrada em território nacional a última central termoelétrica a carvão, no âmbito da estratégia de descarbonização nacional, adotada pelo governo. No mesmo ano, Portugal tinha 6587 MW de potência instalada, fruto de fontes não renováveis, e 15370 MW, fruto de fontes renováveis, com a hídrica a representar 43,8% desta potência [11].

Toda a potência instalada tem de ser transportada e distribuída, como ponte entre a produção e o consumidor. A competência de exploração da Rede Nacional de Transporte, RNT, ficou a cargo da REN, que faz o transporte através de linhas de muito alta tensão, MAT, enquanto a distribuição é feita pela E-Redes, que opera a Rede nacional de Distribuição, RND, através de linhas MT e AT. No âmbito deste trabalho só serão retratadas linhas MT e AT. Todos os níveis de tensão encontram-se referidos na Tabela 2.1.

| RNT   | RND   |      |
|-------|-------|------|
| MAT   | AT    | MT   |
| 400kV | 132kV | 30kV |
| 220kV | 60kV  | 15kV |
| 150kV | -     | 6kV  |

Tabela 2.1: Organização Tensões SEE

Ainda em 2021, existiam 9348 km de linhas MAT na rede RNT, e 68449 km de linhas MT e AT na rede RND [22].

Com a estratégia de descarbonização adotada pelo governo, a inserção de cada vez mais formas de produção renovável de energia é uma realidade, e entre todos os desafios que isso introduz na rede, tal como a implantação de bidirecionalidade no fluxo de potência, o seu transporte de modo sustentável e eficaz é um dos mais relevantes. É exatamente aí que entra o projeto e concepção de linhas MT e AT, sobre o qual esta dissertação incidirá.

## 2.2 Fases do projeto de linhas MT e AT

Tendo em conta a intenção de criação de uma linha MT ou AT, são vários os passos a seguir, desde o pré-estudo à construção da mesma. Essas diferentes fases podem ser estáticas, ou seja, encadeadas umas nas outras, apenas começando uma quando as outras acabarem, ou dinâmicas, modelo mais usado na indústria, em que várias tarefas podem ser desempenhadas em simultâneo, pelo que de seguida se analisa o método tradicional e o método utilizado na indústria.

### 2.2.1 Método tradicional

#### 2.2.1.1 Estudo da viabilidade técnico-económica

Nesta fase do projeto é feita a análise de viabilidade do mesmo e dos benefícios da linha para a rede elétrica. Uma linha deve ser projetada tendo em conta alguns princípios, tais como a continuidade da qualidade do serviço e a segurança das redes existentes, a minimização das perdas e a otimização do sistema.

Torna-se importante também perceber a finalidade do projeto, sendo exemplos:

- Pedidos de fornecimento de energia a novos clientes;
- *Upgrading*<sup>1</sup> ou *uprating*<sup>2</sup> do traçado de linhas existentes;
- Exploração e desenvolvimento da rede para melhoria da qualidade de serviço;
- Interligação de linhas;
- Escoamento da produção para a RESP, Rede Elétrica de Serviço Pública, de novas centrais (hídricas, eólicas, fotovoltaicas).

#### 2.2.1.2 Estudo prévio

Após a avaliação da viabilidade do projeto, é necessário fazer um estudo, analisando as condicionantes técnicas e ambientais, para determinar o traçado com menos impacto ambiental.

---

<sup>1</sup> Aumento da capacidade de transporte energia elétrica da linha através da subida do seu nível de tensão.

<sup>2</sup> Aumento da capacidade de transporte de energia elétrica da linha sem subir o seu nível de tensão.

Fatores físicos, tais como autoestradas e estradas municipais, caminhos de ferro, albufeiras e cursos de água, desníveis acentuados no terreno ou edifícios e espécies protegidas podem condicionar o trajeto da linha, havendo a necessidade de compatibilizar o traçado com as ferramentas de gestão territorial, tais como os PDM, Planos Diretores Municipais.

Outros fatores ainda, descritos no Regulamento de Segurança de Linhas Aéreas de Alta Tensão, denominado doravante como RSLEAT [33], como escolas, zonas desportivas, áreas militares, aeroportos, locais de radiodifusão e de antenas de comunicação, locais de armazenamento de explosivos, espaços de culto, depósitos de combustíveis líquidos ou gasoso e refinação de petróleo, são considerados, visto serem zonas onde é impedida a passagem de linhas.

Por fim, é necessário ter em atenção as infraestruturas sensíveis, descritas no DL 11/2018, de 15 de fevereiro, pois são exigidos afastamentos mais rigorosos relativamente às mesmas.

Do ponto de vista técnico, o traçado da linha deverá ser o mais retilíneo possível, dando cumprimento ao RSLEAT e a condicionantes ambientais.

### 2.2.1.3 Levantamento topográfico

Tendo em conta todo o levantamento topográfico já realizado nas fases anteriores, é definido o traçado, que é apresentado numa peça desenhada com o perfil longitudinal do terreno e a planta parcelar, com a respetiva cartografia.

Elaborado recorrendo a um *software* de desenho, como o *AutoCAD*, devem constar todas as condicionantes identificadas de forma pormenorizada, tais como cruzamentos com outras linhas, quer sejam de telecomunicações ou de energia, e outros identificados anteriormente. São ainda identificados, na planta parcelar, as estremas que definem o cadastro predial.

### 2.2.1.4 Traçado final

Nesta fase é realizado um estudo mais aprofundado e preciso do local a considerar.

É imperativo para o projeto fazer este levantamento, criando um perfil de terreno e uma planta parcelar com rigor, de modo a cumprir as distâncias mínimas regulamentares aos vários obstáculos.

Atualmente já se aplicam levantamentos topográficos com uso de *drones* e camadas *LIDAR*, o que permite obter uma planta muito mais precisa, considerando que o levantamento é realizado pela obtenção de pontos tridimensionais, categorizados, obtendo-se adicionalmente ortofotomapas<sup>3</sup>.

Outro dos métodos utilizados serve-se da topografia clássica, recorrendo a uma estação total com interface *GPS*.

### 2.2.1.5 Elaboração do projeto de licenciamento

Após definir o traçado da linha, existe a fase de dimensionamento de todos os componentes envolvidos, de forma a cobrir as necessidades identificadas no cálculo mecânico e elétrico.

---

<sup>3</sup>Fotografia aérea da qual foram removidas as distorções causadas pela inclinação da câmara e pelo relevo. A escala de um ortofotomapa é uniforme, razão pela qual pode ser usado como um mapa.

A partir do cálculo elétrico, é possível identificar os parâmetros dos cabos a utilizar, como, por exemplo, corrente nominal, resistência e capacidade calorífica linear, o que permitirá o cálculo do comportamento do cabo para as potências a transportar, analisando quedas de tensão e perdas ativas e reativas. Já no cálculo mecânico, são calculadas as trações mecânicas a aplicar na montagem dos cabos, considerando as suas características mecânicas, tais como carga de rutura, módulo de elasticidade, diâmetro, secção e coeficiente de dilatação linear, e também são calculadas as flechas de regulação. É também nesta fase que se define a localização dos apoios, tal como os esforços exercidos nos mesmos, de modo a garantir a sua estabilidade e a cumprir o estipulado no RSLEAT.

Por fim, é analisada a viabilidade económica do projeto, revendo as quedas de tensão e as perdas elétricas, durante o período de vida útil da linha, assim como uma estimativa orçamental da construção da mesma, calculando o seu *TCO*<sup>4</sup>.

Tudo isto é espelhado, por fim, numa memória descritiva e anexos técnicos, acompanhada pelas peças desenhadas mencionadas no ponto 2.2.1.4.

#### **2.2.1.6 Licenciamento e indemnização de proprietários**

Após concluída a elaboração do projeto, este está pronto para a fase de licenciamento, sendo instruído na DGEG, que depois difunde a informação para as entidades competentes, tais como:

- E-REDES - Distribuição de Eletricidade, S.A.;
- REN - Redes Energéticas Nacionais;
- Câmaras Municipais;
- ANAC - Autoridade Nacional de Aviação Civil;
- EMFA - Estado-Maior da Força Aérea;
- ANACOM – Autoridade Nacional de Comunicações;
- I.P., S.A. - Infraestruturas de Portugal, S.A.;
- CCDR - Comissão de Coordenação e Desenvolvimento Regional;
- DGPC - Direção-Geral do Património Cultural;
- APA – Agência Portuguesa do Ambiente;
- Outras entidades, dependendo das infraestruturas afetas à passagem da linha.

Depois do parecer positivo destas entidades, a DGEG emite a licença de estabelecimento que autoriza a construção da linha. Entre a fase de projeto e a construção é necessário contactar os proprietários dos terrenos onde a linha irá passar, de modo a informá-los da intenção de passagem na

---

<sup>4</sup>*Total Cost of Ownership*: encargos totais que o ativo vai gerar ao longo da sua vida, incluindo a sua desmontagem.

sua propriedade, bem como das necessidades adjacentes, tal como o corte de árvores, constituição da faixa de servidão/segurança<sup>5</sup>, entre outros.

Este contacto é feito por um avaliador/negociador que identificará os prejuízos que o proprietário irá ter, no período de vida útil daquela linha, para determinar a indemnização necessária.

#### 2.2.1.7 Construção da linha

Na fase de construção da linha, é feita a adjudicação da obra e o desenvolvimento de um Plano de Segurança e Saúde, PSS, para a obra e, após esse processo, iniciam-se os trabalhos, que incluem:

- Constituição do Estaleiro de Obra, que serve de apoio à mesma;
- Realização de Acessos, feitos consoante o plano de acessos realizado anteriormente, para posterior implementação de apoios;
- Construção das Fundações;
- Colocação dos Apoios;
- Desenrolamento e Regulação dos Cabos.

### 2.2.2 Método utilizado na indústria

Na indústria, este processo revela-se mais dinâmico, estando várias fases em execução ao mesmo tempo.

O estudo de viabilidade técnico-económica e o estudo prévio acabam por ser analisados em conjunto, sendo esses mesmos estudos compilados numa memória descritiva e respetivas peças desenhadas, denominado de projeto prévio.

No entanto, para a realização desse projeto prévio, é feito um primeiro contacto com os proprietários das parcelas por onde o traçado da linha está definido, constituindo o cadastro inicial, antecipando assim essa fase face ao método tradicional. É também feito um levantamento de pontos de cotas do terreno com recurso ao *Google Earth*, de forma a ser possível definir um primeiro traçado. Isto permite ter um traçado muito mais fiável e verdadeiro, face à realização do mesmo sem a noção da sua viabilidade real.

Em conjunto com o projeto prévio é feita a análise das condicionantes ambientais e técnicas do projeto, de forma a compatibilizar o mesmo com as diretrizes estabelecidas pelas entidades competentes.

Após o promotor aprovar o projeto prévio, ou seja, a sua viabilidade técnico-económica e a solução encontrada para a linha em projeto, inicia-se a fase de cadastro e pedido de autorização, permitindo, desta forma, identificar todas as parcelas e proprietários afetados pela passagem da linha e colocação dos respetivos apoios.

---

<sup>5</sup>Faixa de servidão consiste na reserva de espaço necessário à manutenção das distâncias de segurança, nas condições previstas na lei portuguesa.

É feito, para o projeto de licenciamento, o voo aerofotogramétrico, recorrendo a *drones* e camadas *LIDAR*, obtendo-se um levantamento do terreno mais fiel e real que o levantamento de ponto de *Google Earth*, de forma a permitir possíveis ajustes nos apoios da linha, face ao projeto prévio.

No decorrer do projeto de licenciamento é dada continuidade ao cadastro da linha, estabelecendo acordos com os proprietários afetados pela sua passagem, que é instruído à DGEG no âmbito da submissão do projeto de licenciamento. O tipo de projeto de licenciamento pode ser diferente, consoante a linha seja para um cliente particular, ou para ser entregue à operadora da RND.

Por fim, a DGEG analisa o processo, agrupando os pareceres das entidades competentes afetas pela linha, descritas na secção 2.2.1.6, e por fim emite a licença de estabelecimento.

É realizada a construção da linha e, por vezes, é ainda redigido um último documento, denominado de projeto retificativo, após a construção da mesma, para que, em conjunto com os dados de obra, exista um documento final com a informação fidedigna da linha.

## 2.3 Componentes de uma linha

Uma linha elétrica é um conjunto de condutores, de isolantes, de acessórios e de suportes destinados ao transporte e distribuição de energia elétrica<sup>6</sup>. Para o correto funcionamento de uma linha, existe um conjunto mais abrangente de componentes que podem ser considerados:

- Condutores;
- Cabos de guarda;
- Isoladores;
- Apoios e fundações;
- Armações - apoios de betão;
- Fixação dos condutores e amortecedores de vibração;
- Redes de terra;
- Conjuntos Sinaléticos;
- Acessórios da linha.

Todos os componentes constantes dos acessórios podem ser obrigatórios, face às características do projeto.

---

<sup>6</sup>Ponto 54 | artigo 4º - RSLEAT

### 2.3.1 Condutores

Um condutor consiste num elemento destinado à condução elétrica, podendo ser constituído por um fio, conjunto de fios devidamente reunidos, ou por perfis adequados<sup>7</sup>.

Este pode ser isolado ou nu e multifilar ou unifilar, como se pode ver na Figura 2.2.

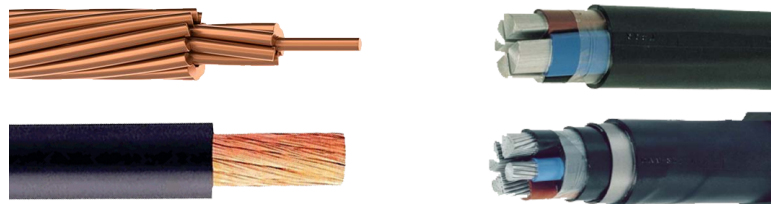


Figura 2.2: Do lado esquerdo, cabo nu, acima, e cabo isolado, abaixo; do lado direito, cabo unifilar, acima, e cabo multifilar, abaixo

O condutor isolado recorre a uma substância não condutora para isolar o condutor, de forma a evitar choque elétrico por contacto direto e fornecer uma medida de segurança adicional. No entanto, com o aumento da temperatura, esta membrana isolante pode sofrer alterações mecânicas irreversíveis, pelo que para linhas a operar a tensões iguais ou superiores a 60 kV, ou seja, linhas AT, não se recomenda o uso deste tipo de cabos. Os condutores multifilares apresentam um diâmetro superior e uma secção inferior a condutores unifilares, com uma maior resistência mecânica devido à sua flexibilidade, sendo, por isso, preferencialmente escolhidos no dimensionamento de uma linha AT.

Em Portugal, condutores isolados apenas são usados em linhas subterrâneas ou linhas BT, baixa tensão, não sendo usados em linhas aéreas.

Os condutores multifilares poderão ser homogêneos, isto é, constituídos por apenas um material, ou heterogêneos, sendo constituídos por vários materiais. Nos condutores de linhas elétricas, os materiais mais comuns são o cobre e o alumínio, ou ligas, tais como o alumínio-aço [29].

Em linhas aéreas, o condutor de alumínio-aço é mais utilizado quando comparado com o cobre, pois têm maior resistência mecânica e menor peso dos condutores. Estas características permitem aumentar vãos, diminuir flechas e diminuir a altura de apoios. Também representam um menor custo de investimento e um maior diâmetro, fazendo diminuir o efeito corona<sup>8</sup>. Por essa razão, e podendo observar-se o mesmo na Figura 2.3, o condutor mais utilizado em linhas das redes RNT e RND é o ACSR - *Aluminium Cable Steel Reinforced*.

<sup>7</sup>Ponto 26 | artigo 4º - RSLEAT

<sup>8</sup>O efeito corona é um fenómeno que acontece quando um material isolante é eletrizado devido a uma ionização, ou seja, uma descarga eletrostática. Este fenómeno é bastante comum em condutores de linhas de transmissão e possui características indesejáveis na transmissão de energia.

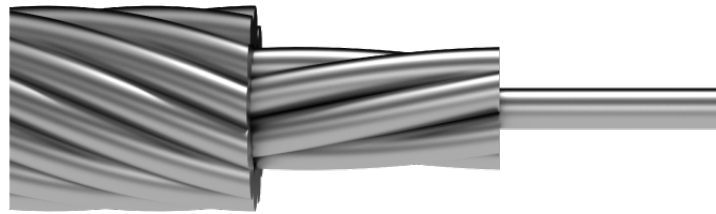


Figura 2.3: Condutor ACSR [5]

### 2.3.2 Cabos de guarda

Estes são compostos por cabo nu colocado, em regra, acima dos condutores de uma linha aérea e ligado à terra nos apoios<sup>9</sup> e nas subestações a jusante e a montante, funcionando como proteção contra descargas elétricas.

Quando o cabo de guarda é atingido por uma descarga elétrica, a corrente de defeito propaga-se pelo cabo, sendo escoada pelas terras dos dois apoios adjacentes ao vão. Ainda assim, e visto que a resistência da terra não é nula, existe sempre uma parte da corrente de defeito que contorna os isoladores, nos apoios, atingindo os condutores de energia, mas esta é normalmente desprezada, por não atingir sobretensões relevantes na linha.

Este componente, normalmente, tem dupla funcionalidade, pois também serve de transferência de dados com alta velocidade e qualidade, sendo para isso usados os cabos de guarda OPGW, constituído por condutores e fibra ótica, apresentando-se um esquema representativo na Figura 2.4.

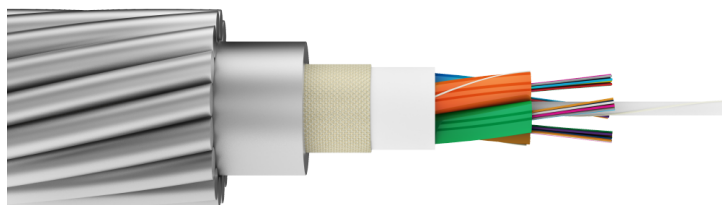


Figura 2.4: Condutor OPGW [6]

Quando uma linha já é dotada de um cabo de guarda, mas este não tem a funcionalidade de transferência de dados, equipa-se a linha com um cabo ADSS, dotando-a de fibra ótica, como está presente na Figura 2.5.

---

<sup>9</sup>Ponto 15 | artigo 4º - RSLEAT



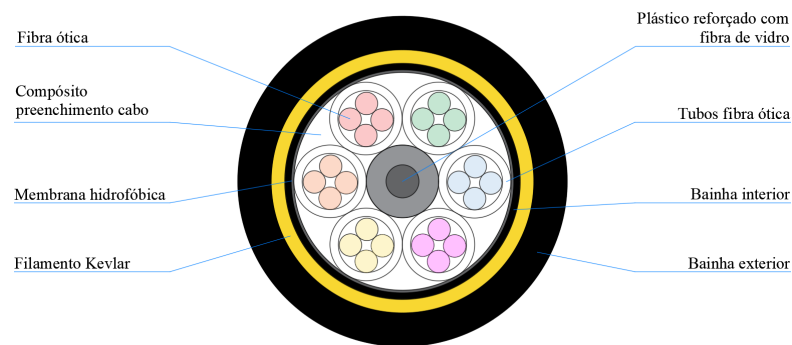
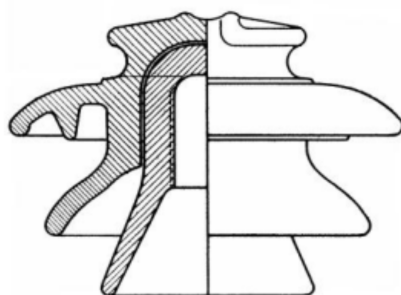


Figura 2.5: Condutor ADSS

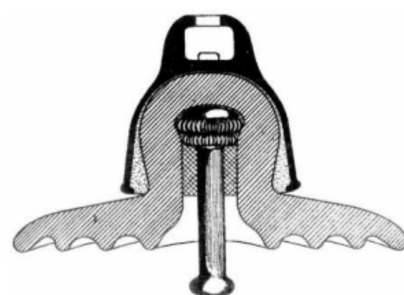
### 2.3.3 Isoladores

Conjunto isolador, constituído por componentes isolantes e metálicos e pelo material ligante que os justapõe, destinado a ser fixado, rigidamente ou articuladamente, a estruturas de apoio, garantindo, por si só, ou associado por outros idênticos, as condições de isolamento do condutor<sup>10</sup>.

Estes podem ser rígidos ou de cadeia, como apresentados na Figura 2.6.



(a) Isolador Rígido



(b) Isolador em Cadeia

Figura 2.6: Tipos de isoladores [1]

Isoladores em cadeia são vários isoladores interligados entre si por um veio metálico, sendo mais fácil de fazer reparações por serem modulares. Os isoladores rígidos, ainda usados, mas pouco implementados em novas linhas, não são modulares, não podendo ser usados em linhas AT, devido à sua difícil montagem, à sua fragilidade e à dificuldade de manutenção, visto que, para qualquer reparação, todo o isolador tem de ser substituído.

Os mesmos isoladores podem ser equipados com hastes de descarga, que têm como finalidade proteger a cadeia e o condutor de efeitos nocivos causados por possíveis arcos de contornamento provenientes das sobretensões atmosféricas.

<sup>10</sup>Ponto 47 | artigo 4º - RSLEAT

Quanto a materiais, podem ser usados os seguintes: cerâmica, vidro e polímero, seja em resina ou compósito. Os isoladores de cerâmica foram usados durante muitos anos, pela sua fiabilidade e estabilidade, não alterando a sua composição química e capacidade de isolamento com o tempo, no entanto, pequenos defeitos nem sempre são fáceis de identificar neste tipo de isoladores, nomeadamente, rachadelas internas, pelo que, hoje em dia, são mais usados os isoladores em polímero ou os de vidro. Estes mantêm todas as características anteriormente mencionadas, tais como o seu bom desempenho e a fiabilidade, tendo o benefício de ter a indicação visual de pequenos defeitos.

Os isoladores são dimensionados tendo em conta o nível de poluição a que, uma vez em funcionamento, irão estar sujeitos, pois, em zonas com grande poluição, existe um maior risco de contornamento elétrico. A fórmula pela qual se rege este dimensionamento é a seguinte:

$$I_f = I_{fe} \cdot U [mm] \quad (2.1)$$

Onde:

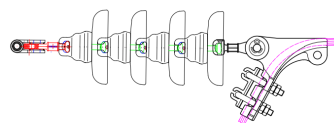
- $I_f$ : Linha de fuga do isolador;
- $I_{fe}$ : Linha de fuga nominal específica mínima [mm/kV];
- $U$ : Tensão composta da linha [kV].

Os valores de  $I_{fe}$ , detalhados na Tabela 2.2, são regidos por:

| Nível de Poluição | Tipificação Ambiental                                                                                                                       | $I_{fe}$ |
|-------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Fraca             | Zonas agrícolas, montanhosas e com fraca densidade de indústrias situadas, no mínimo, a 10km da orla marítima.                              | 16       |
| Média             | Zonas com indústrias não poluentes com grande densidade populacional, sujeitas a ventos e chuvas situadas, no mínimo, a 5km do mar.         | 20       |
| Forte             | Zonas de forte densidade populacional e industrial. A menos de 5 km do mar ou submetida a ventos marítimos fortes.                          | 25       |
| Muito Forte       | Zonas sujeitas a poeiras industriais condutoras, zonas costeiras com ventos fortes e poluentes e zonas desérticas com tempestades de areia. | 31,5     |

Tabela 2.2: Níveis de Poluição

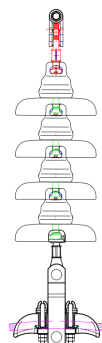
Por último, os isoladores em cadeia podem ser de dois géneros: cadeias de amarração ou cadeias de suspensão. As cadeias de amarração são usadas quando a linha, nesse ponto, é sujeita a trações mecânicas elevadas, normalmente em apoios de fim de linha, de ângulo e de reforço. Este tipo de cadeia é presa entre o apoio e o condutor. Já as cadeias de suspensão, são ligadas ao apoio, na vertical e paralelo a este, ficando o condutor suspenso na cadeia. Os apoios de amarração acabam por usar o dobro das cadeias face aos apoios de suspensão, visto necessitarem de uma cadeia de amarração de cada lado do apoio, por fase. Na Figura 2.7 pode observar-se um exemplar dos dois géneros de cadeias apresentados, bem como os seus esquemas representativos.



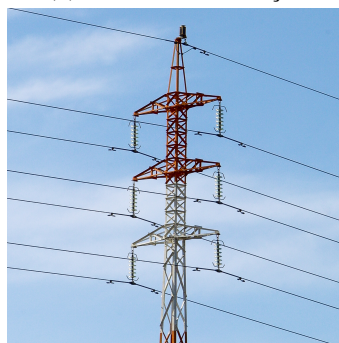
(a) Esquema cadeia de amarração



(b) Cadeia de amarração



(c) Esquema cadeia de suspensão



(d) Cadeia de suspensão

Figura 2.7: Tipos de cadeias

A E-Redes, operadora da RND, tem cadeias predefinidas para os diferentes níveis de tensão e níveis de poluição, de modo a salvaguardar o bom funcionamento da linha, as quais são apresentadas na Tabela 2.3 [14].

| Secção do condutor | 50 mm <sup>2</sup> e 90 mm <sup>2</sup> |             |                        |                   | 160 mm <sup>2</sup>   |                       |                         |                         |
|--------------------|-----------------------------------------|-------------|------------------------|-------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-------------------------|
|                    | Médio (20 mm/kV)                        |             | Muito Forte (31 mm/kV) |                   | Médio (20 mm/kV)      |                       | Muito Forte (31 mm/kV)  |                         |
| Tipo de Apoio      | Normal                                  | Reforço     | Normal                 | Reforço           | Normal                | Reforço               | Normal                  | Reforço                 |
| 6 kV ou 15 kV      | 3 x U70BS                               | 3 x U100BLP | 3 x U70BS              | 3 x U100BLP       | 3 x U70BS             | 3 x U100BLP           | 3 x U70BS               | 3 x U100BLP             |
| 30 kV              | 3 x U70BS                               | 3 x U100BLP | 3 x U100BLP            | 3 x U100BLP + HA1 | 3 x U70BS             | 3 x U100BLP           | 3 x U100BLP             | 3 x U100BLP + HA1       |
| 60kV               | -                                       | -           | -                      | -                 | 6 x U70BS + HA1 + HA2 | 6 x U70BS + HA1 + HA2 | 6 x U100BLP + HA1 + HA2 | 6 x U100BLP + HA1 + HA2 |

| Secção do condutor | 235 mm <sup>2</sup>    |                        |                         |                         | 325 mm <sup>2</sup>    |                        |                         |                         |
|--------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|
|                    | Médio (20 mm/kV)       |                        | Muito Forte (31 mm/kV)  |                         | Médio (20 mm/kV)       |                        | Muito Forte (31 mm/kV)  |                         |
| Tipo de Apoio      | Normal                 | Reforço                | Normal                  | Reforço                 | Normal                 | Reforço                | Normal                  | Reforço                 |
| 6 kV ou 15 kV      | 3 X U100BS             | 3 X U100BLP            | 3 X U100BS              | 3 X U100BLP             | -                      | -                      | -                       | -                       |
| 30 kV              | 3 X U100BS             | 3 X U100BLP            | 3 X U100BLP             | 3 x U100BLP + HA1       | -                      | -                      | -                       | -                       |
| 60kV               | 6 X U100BS + HA1 + HA2 | 6 X U100BS + HA1 + HA2 | 6 x U100BLP + HA1 + HA2 | 6 x U100BLP + HA1 + HA2 | 6 X U100BS + HA1 + HA2 | 6 X U100BS + HA1 + HA2 | 6 x U100BLP + HA1 + HA2 | 6 x U100BLP + HA1 + HA2 |

Tabela 2.3: Cadeias de isoladores normalizadas E-Redes

Algumas das características dos materiais isolantes utilizados nas cadeias normalizadas pela operadora da RND são retratadas na Tabela 2.4 e podem ser consultados na DMA-C66-140/N,

documento normativo da entidade relativo a características e ensaios realizados em isoladores de MT e AT [13].

| Isolador | Distância nominal máxima da parte isolante, segundo a norma IEC 60305 [mm] | Força de Ruptura [kN] | Tensão suportável específica à frequência industrial, sob a chuva, segundo a norma IEC 60383-1 [kV <sub>eficaz</sub> ] | Tensão suportável específica ao choque atmosférico, a seco, segundo a norma IEC 60383-1 [kV <sub>eficaz</sub> ] |
|----------|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| U70BS    | 255                                                                        | 70                    | 40                                                                                                                     | 100                                                                                                             |
| U100BS   | 255                                                                        | 100                   | 40                                                                                                                     | 100                                                                                                             |
| U100BLP  | 280                                                                        | 100                   | 50                                                                                                                     | 100                                                                                                             |

Tabela 2.4: Características dos isoladores das cadeias normalizadas E-Redes

### 2.3.4 Apoios e fundações

Um apoio é um elemento de uma linha aérea destinado a suportar os condutores, os cabos de guarda, os isoladores e os acessórios<sup>11</sup>. Os apoios para linhas MT e AT podem ser de betão armado ou metálicos, recaindo a escolha sobre alguns fatores, nomeadamente, os esforços mecânicos, a área ocupada, o modo de transporte e o local de implantação.

Por norma, é dada preferência aos postes de betão, pela sua menor área de ocupação de terreno e menor custo, mas, por vezes, estes não podem ser utilizados, visto não serem suficientes para os esforços mecânicos exigidos ou implicarem maior dificuldade no seu transporte, pois os apoios metálicos podem ser transportados por módulos, enquanto os de betão não o permitem. Existem ainda situações em que, por imposição do RSLEAT, de cumprimento de distâncias regulamentares ou outros, será necessário usar apoios metálicos. Existem várias funções do apoio, entre as quais [33]:

- **Apoio de Alinhamento [Figura 2.8]** - apoio situado num troço retilíneo da linha;



Figura 2.8: Apoio de alinhamento

<sup>11</sup>Ponto 6 | artigo 4º - RSLEAT

- **Apoio de Ângulo [Figura 2.9]** - apoio situado num ângulo da linha;



Figura 2.9: Apoio de ângulo

- **Apoio de Derivação [Figura 2.10]** - apoio onde se estabelecem uma ou mais derivações;



Figura 2.10: Apoio de derivação em alinhamento

- **Apoio de Reforço [Figura 2.11]** - apoio destinado a suportar esforços longitudinais para reduzir as consequências resultantes da rotura de condutores ou de cabos de guarda;



Figura 2.11: Apoio de reforço em alinhamento

- **Apoio de Derivação em Reforço [Figura 2.12]** - apoio de reforço onde se estabelecem uma ou mais derivações;



Figura 2.12: Apoio de derivação em reforço em alinhamento



- **Apoio de Fim de Linha [Figura 2.13]** - apoio capaz de suportar a totalidade dos esforços que os condutores e os cabos de guarda lhe transmitem, de um só lado da linha.



Figura 2.13: Apoio de Fim de Linha

Torna-se necessário fazer o correto dimensionamento do apoio, de modo que este suporte, com alguma margem de segurança, os esforços mecânicos nele exercidos.

No cálculo dos apoios, existem três forças parciais a ter em consideração, sendo elas  $F_x$ ,  $F_y$  e  $F_z$ , que, juntas, totalizam a força aplicada nesse apoio:

- $F_x$  - corresponde à componente longitudinal do apoio, sendo que as trações e os vãos a montante e a jusante do apoio influenciam esta força;
- $F_y$  - corresponde à componente transversal do apoio, sendo que a ação do vento no apoio, nos cabos e cadeias de isoladores, e o comportamento dos componentes da linha face à força aplicada são as variáveis que influenciam esta força;
- $F_z$  - corresponde à componente vertical do apoio, sendo que os pesos próprios dos componentes da linha e a manga de gelo que possa existir são os fatores que influenciam esta força; não é contabilizada no cálculo dos esforços em apoios de betão, no entanto, deverá ser analisada para definição da gama de apoios metálicos.

No que respeita às fundações dos apoios, é crucial o seu correto dimensionamento, pois é a partir delas que os esforços aplicados no apoio são dissipados. Nos apoios metálicos e de betão, existem fundações normalizadas para cada tipo de terreno, no entanto, é necessário fazer uma análise para cada um, tendo em conta algumas variáveis [4]:

- Coeficiente de compressibilidade do terreno<sup>12</sup>;
- Altura do apoio;
- Esforços Aplicados no Apoio;
- Tipo de Apoio.

Em linhas para a E-Redes, as fundações já se encontram normalizadas, de acordo com características normalizadas do terreno, para coeficientes de compressibilidade de 2, 4, 7 e 9  $daN/cm^3$ .

Nas fundações dos apoios de betão é necessário também ter em conta a profundidade de enterramento dos apoios,  $h_e$ , variando com a altura  $h$  dos apoios, conforme o artigo 73º do RSLEAT, que dita que, nos casos correntes de postes implantados diretamente no solo, a profundidade de enterramento, em metros, arredondada ao décímetro, não deverá ser inferior à dada pela expressão:

$$h_e = 0,1 \cdot h + 0,5(m) \quad (2.2)$$

No mesmo artigo 73º, ponto 4, é referido que, para postes de altura total superior a 15 metros, admitir-se-ão profundidades de enterramento menores que as dadas pela expressão anterior, mas nunca inferiores a 2 metros, desde que seja convenientemente justificada a estabilidade do apoio.

Existe ainda uma medida de fiscalização do cumprimento do regulamento, composta por uma marcação visível a 3 metros da base do apoio, de modo a assegurar que a sua fundação se encontra corretamente dimensionada.

### 2.3.5 Armações - apoios de betão

Para poderem ser colocados os condutores nos apoios, estes são munidos de armações, que correspondem às estruturas metálicas no topo dos apoios de betão que suportam os componentes da linha e os esforços sobre eles aplicados, permitindo também cumprir as distâncias regulamentares, quer seja entre condutores, quer seja entre condutores e apoio. Estas estruturas podem assumir várias disposições:

- Esteira vertical;
- Esteira horizontal;
- Galhardete;
- Triângulo;
- Pórtico.

Entre as várias disposições existem diferenças, tais como a distribuição dos condutores, a distância entre condutores e os esforços suportados por elas.

---

<sup>12</sup>coeficiente que determina a diminuição do volume do terreno sob a ação de cargas aplicadas.



Em apoios metálicos, as armações fazem parte da estrutura do mesmo, não sendo aplicadas as armações descritas nas Tabelas 2.5 e 2.6. Já nos apoios de betão, estas assumem vários tipos, tendo em conta a função do apoio e a disposição nele configurada, e ainda dependendo do tipo de linha, MT ou AT, conforme apresentado nas Tabelas 2.5 e 2.6:

| Tipo de Armação MT | Designação                                   | Tipo Apoio                                            | Disposição         |
|--------------------|----------------------------------------------|-------------------------------------------------------|--------------------|
| HRFSC              | Armação em Esteira Horizontal para Amarração | Alinhamento; Ângulo; Derivação; Reforço; Fim de Linha | Esteira Horizontal |
| TAL                | Armação em Triângulo para Suspensão          | Alinhamento Suspensão                                 | Triângulo          |
| TAN                | Armação em Triângulo para Amarração          | Ângulo; Reforço; Fim de Linha                         | Triângulo          |
| GAL                | Armação em Galhardete para Suspensão         | Alinhamento Suspensão                                 | Galhardete         |
| GAN                | Armação em Galhardete para Amarração         | Ângulo                                                | Galhardete         |
| VAL                | Armação em Esteira Vertical para Suspensão   | Alinhamento Suspensão                                 | Esteira Vertical   |
| VAN                | Armação em Esteira Vertical para Amarração   | Ângulo; Reforço; Fim de Linha                         | Esteira Vertical   |
| PAL                | Armação em Pórtico para Suspensão            | Alinhamento                                           | Pórtico            |
| PAN                | Armação em Pórtico para Amarração            | Ângulo; Reforço; Fim de Linha                         | Pórtico            |

Tabela 2.5: Tipos de Armações MT

| Tipo de Armação AT | Designação                                       | Tipo Apoio            | Disposição             |
|--------------------|--------------------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| GAL                | Armação em Galhardete para Suspensão             | Alinhamento           | Galhardete             |
| GAN                | Armação em Galhardete para Amarração             | Ângulo; Alinhamento   | Galhardete             |
| EVDAL              | Armação em Esteira Vertical Dupla para Suspensão | Alinhamento           | Esteira Vertical Dupla |
| EVDAN              | Armação em Esteira Vertical Dupla para Amarração | Ângulo; Alinhamento   | Esteira Vertical Dupla |
| EVFR               | Armação em Esteira Vertical para Amarração       | Reforço; Fim de Linha | Esteira Vertical       |
| EVFAN              | Armação em Esteira Vertical para Amarração       | Ângulo                | Esteira Vertical       |
| PALAN              | Armação em Pórtico para Suspensão e Amarração    | Alinhamento; Ângulo   | Pórtico                |
| PRF                | Armação em Pórtico para Amarração                | Reforço; Fim de Linha | Pórtico                |

Tabela 2.6: Tipos de Armações AT

Nos apoios de betão, além da armação mencionada nas Tabelas 2.5 e 2.6, as linhas com cabo de guarda são dotadas de uma armação adicional para a fixação deste.

As representações esquemáticas de cada tipo de armação podem ser consultadas nos Desenhos Técnicos Normativos da E-Redes de Armações de Aço para linhas MT [17] e nos Desenhos Técnicos Normativos da E-Redes de Armações de Aço para linhas AT [15].

### 2.3.6 Fixação dos condutores e amortecedores de vibração

Para conectar os condutores aos isoladores, são necessários acessórios de fixação, as chamadas pinças de fixação, existindo dois tipos: de amarração e de suspensão [Figura 2.14].

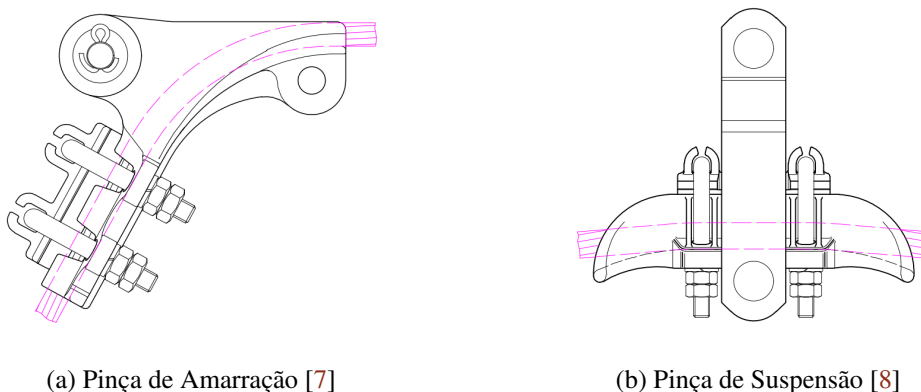


Figura 2.14: Tipos de Pinças Fixação

Nas pinças de amarração, os condutores são cortados, sendo dada continuidade através de um fiador, que se caracteriza como o troço de condutor que interliga as duas pinças. Já nas pinças de suspensão, o condutor não é cortado, podendo ser passado por dentro da pinça, sendo depois estrangulado pela mesma, de modo a ser assegurada uma boa fixação. Os cabos de guarda não necessitam de pinças de amarração, visto não serem usados isoladores nos mesmos.

Nas linhas elétricas, existe também um fenómeno denominado vibração eólica. Este acontece quando, a baixas velocidades do vento, existe uma vibração provocada por este no condutor, levando à deterioração e ao desgaste precoce do condutor. Como forma de o mitigar, é introduzido na linha o chamado amortecedor de vibração. Este é um componente de simples construção, baixo custo, baixa manutenção e eficaz na redução de vibrações na linha. O amortecedor de vibração usado nas linhas MT e AT é o *Stockbridge*, demonstrado na Figura 2.15.

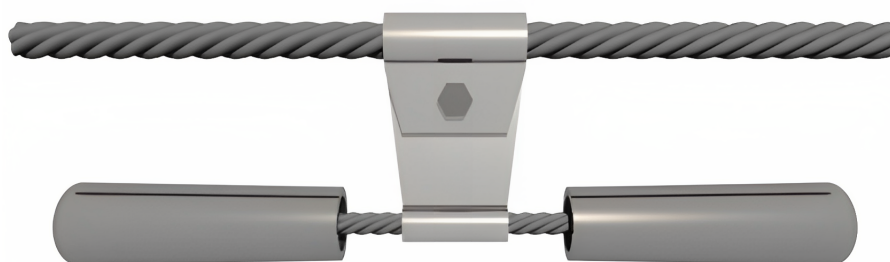


Figura 2.15: Amortecedor *Stockbridge* [3]

Composto por uma cordoalha de fios de aço, tem duas massas igualmente distribuídas, uma em cada ponta dos fios de aço, fixando-se ao condutor da linha por uma presilha central que estrangula o cabo naquele ponto. Permite uma dissipação de energia através da fricção entre a cordoalha de

fios de aço, também denominada cabo mensageiro, quando as massas oscilam com o vento. Este fenómeno denomina-se amortecimento histerético<sup>13</sup>.

É necessário também fazer um estudo do melhor local para colocação deste componente, determinando e analisando a forma de onda de vibração em condições de ressonância.

### 2.3.7 Redes de terra

O correto dimensionamento de uma rede de terra é imprescindível para assegurar a segurança de pessoas e bens em situações de defeito. Esta tem como função o escoamento de defeitos para o solo, quer eles sejam curto-circuitos ou descargas atmosféricas, distribuindo estas correntes de fuga ao longo dos eléktodos terra enterrados no solo.

O eléktodo terra é enterrado no solo e ligado a um cabo terra que, por sua vez, se interliga à base do apoio. O apoio está conectado ao cabo de guarda, que está conectado a duas subestações, a montante e a jusante, gerando assim a malha de terra, que protege a linha. A título ilustrativo, apresenta-se na Figura 2.16 um eléktodo terra.



Figura 2.16: Imagem Ilustrativa Eléktodo de Terra [20]

Os materiais do eléktodo de terra têm de ter boa condutibilidade elétrica e boa resistência à corrosão, sendo frequentemente usado aço galvanizado ou cobre. É ainda tido em conta o tipo de terreno de instalação, preferindo-se um terreno húmido, de forma a diminuir a resistência do mesmo, tendo como objetivo o melhor escoamento das correntes de fuga.

<sup>13</sup>Quando um material é deformado, ele absorve e dissipa energia. O efeito deve-se ao atrito entre os planos internos, que deslizam ou escorregam enquanto as deformações ocorrem. [36]

### 2.3.8 Conjuntos Sinaléticos

A linha em projeto deve ser equipada com sinalização que alerte para os perigos associados, devendo ser equipados com as seguintes chapas:

- Aviso de "Perigo de Morte"(colocado a 4 m do solo);
- Numeração dos apoios, para ronda aérea, faseados em múltiplos de 10;
- Contacto para avarias;
- Empresa responsável pela linha;
- Nome da linha.

Todos os desenhos relativos a conjuntos sinaléticos podem ser consultados no catálogo complementar de desenhos técnicos da E-Redes [19].

### 2.3.9 Acessórios da linha

Para além dos componentes referidos anteriormente, existem ainda equipamentos acessórios, podendo estes ser obrigatórios, face às características do projeto. Serão abordados alguns tipos de acessórios, sendo eles:

- Balizagem Aérea Diurna;
- Balizagem Aérea Noturna;
- Sinalização Avifauna.

#### 2.3.9.1 Balizagem aérea diurna

A Autoridade Nacional de Aviação Civil (ANAC), exerce funções de regulação, fiscalização e supervisão do setor da aviação civil e rege-se de acordo com o disposto no direito internacional e europeu, na Lei-Quadro das entidades reguladoras, nos presentes estatutos e na demais legislação setorial aplicável. Esta entidade emitiu uma Circular, CIA 10/03, de 6 de maio, que estabelece os critérios a respeitar na balizagem de obstáculos, sendo ela necessária sempre que um troço da linha aérea represente um obstáculo à navegação aérea.

Denominam-se balizagens diurnas as bolas de balizagem, ou balizas, colocadas ao longo dos condutores, devendo estas ser de cor branca, vermelha ou laranja, consoante o contraste com o meio envolvente. Devem ainda ser usadas duas cores, alternadas, sempre que se usem 5 balizas ou mais [2]. Um exemplo destas balizas é dado na Figura 2.17.



Figura 2.17: Imagem Ilustrativa Balizagem Diurna

Está ainda padronizado, pela mesma circular, o espaçamento entre balizas:

- 30 metros quando o diâmetro da baliza for de 60 cm;
- 35 metros quando o diâmetro da baliza for de 80 cm;
- 40 metros quando o diâmetro da baliza for de, pelo menos, 130 cm;
- 12 metros, independentemente do diâmetro adotado, quando se localizem sob os canais de aproximação/descolagem.

Já nos apoios, a sinalização é feita por faixas, que deverão corresponder, cada uma, a  $\frac{1}{7}$  da altura do apoio fora do solo, desde o topo da cabeça até 6 metros abaixo do condutor mais baixo. As faixas serão pintadas alternadamente nas cores branca e laranja ou branca e vermelha. As faixas nos extremos deverão corresponder à cor mais escura [2].

#### 2.3.9.2 Balizagem aérea noturna

A sinalização noturna é feita através da colocação de dispositivos luminosos no topo dos apoios e condutores, devendo funcionar segundo as regras [2]:

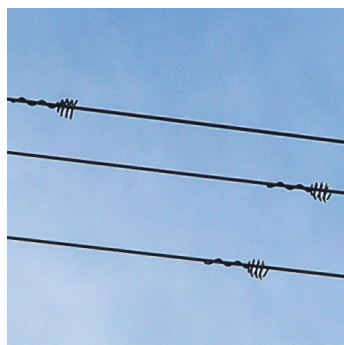
- Ligar meia hora antes do pôr do sol e desligar meia hora depois do nascer do sol;
- Manter-se ligada durante as restantes horas do dia, sempre que a visibilidade seja inferior a 1000 metros.

#### 2.3.9.3 Sinalização avifauna

Muitas vezes, as linhas aéreas são alvo de interação com seres vivos, como aves, podendo dar-se o risco de eletrocussão, quando estas entram em contacto com dois elementos condutores a potenciais diferentes.

O ICNF, salvaguardando esta forma de vida, define equipamentos a utilizar nestas situações, podendo englobar dispositivos salva-pássaros ou dispositivos anti-nidificação e anti-poiso. Estes componentes permitem as aves identificar os condutores e evitar a colisão.

Alguns dos componentes usados denominam-se por *Bird Flight Diverters*, BFD, e *Firefly Bird Flappers*, FBF, presentes na Figura 2.18. Os BFD consistem num enrolamento plástico, de forma helicoidal, ajustando-se ao condutor, já os FBF, são do género fita ou rotativo, rodando com o vento e refletindo a luz solar. Têm ainda a capacidade de absorver luminosidade, refletindo-a durante o período da noite. Este último ainda não é aplicado em massa em Portugal.



(a) *Bird Flight Diverters*



(b) *Firefly Bird Flappers* [23]

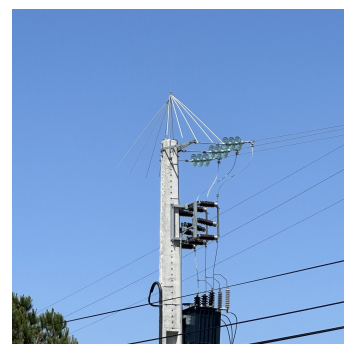
Figura 2.18: Tipos de Salva-Pássaros

Existem ainda os dispositivos anti-nidificação e anti-poiso, sendo alguns exemplos:

- Seta simétrica ou seta assimétrica, presente na Figura 2.19;
- 3 hastes tipo seta;
- Guarda-chuva, presente na Figura 2.19;
- Turbina;
- Chapa quinada ou chapa direita.



(a) Seta Assimétrica



(b) Guarda-Chuva

Figura 2.19: Alguns Exemplos Anti-Nidificação



Por vezes, e tendo sempre como objetivo a anti-nidificação em apoios de forma generalizada, é necessário criar plataformas em apoios específicos para a nidificação de certos animais, como as cegonhas-brancas. Podemos observar um exemplo de plataforma na Figura 2.20.



Figura 2.20: Plataforma Nidificação

## 2.4 Regulamentos aplicáveis a linhas MT e AT

Para a execução de um projeto de linhas MT ou AT, é necessário cumprir certas normas e regulamentos:

- **Projeto:**

- Decreto Regulamentar 1/92, de 18 de fevereiro - Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão - RSLEAT;
- DL 11/2018 de 15 de fevereiro:
  - \* artigo 3º, alínea c) - descreve quais as infraestruturas sensíveis a ter em conta;
  - \* artigo 7º e 8º - definem, respetivamente, o afastamento relativamente a infraestruturas sensíveis e a sobrepassagem sobre as mesmas.

- **Licenciamento:**

- DL 26852, de 30 de julho: referente ao regulamento de licenças para instalações elétricas;
- DL 101/2007, de 2 de abril: vem simplificar o licenciamento de instalações elétricas, quer de serviço público quer de particular, alterando o DL 26852, de 30 de julho;
- Portaria 401/76, de 6 de julho: estabelece as normas a que deverão obedecer os projetos destinados a instruir os pedidos de licença de instalações elétricas de serviço público.

## Capítulo 3

# Cálculo elétrico

Neste capítulo efetua-se uma análise do cálculo elétrico de linhas MT e AT. A sua análise é fulcral para a segurança da linha, certificando o seu correto dimensionamento, de forma a que o seu bom funcionamento esteja garantido.

### 3.1 Objetivo

O cálculo elétrico de uma linha é fulcral no decorrer do seu projeto, visto ser necessário para garantir que as limitações técnicas dos condutores são cumpridas.

É nesta etapa que, sabendo a potência a transportar, se determina a tensão nominal da linha e a secção transversal dos seus condutores. Após estes dois valores definidos, poderá calcular-se as restantes características elétricas da linha, tais como:

- Corrente nominal da linha;
- Resistência elétrica;
- Coeficiente de autoindução;
- Perdas de energia;
- Queda de tensão.

### 3.2 Tensão nominal

Para uma determinada potência a transportar, quanto maior for o nível de tensão, menor será a secção dos seus condutores, para as mesmas perdas, e, por conseguinte, quanto menor for a secção dos condutores, menores serão os esforços nos apoios e mais económica ficará a linha. Ainda assim, a subida de tensão pode implicar a utilização de outro tipo de isoladores e a aplicação de um maior número dos mesmos, havendo, assim, impacto na dimensão da cadeia [10].



O artigo 83º, do DL 43335, de 19 de novembro de 1960, estabelece os valores nominais de tensão já contemplados na Tabela 2.1, sendo o nível de tensão escolhido para a linha aquele que implicar a minimização do seu *TCO*.

Quando o projeto é para a interligação a uma linha existente, a norma é o uso do mesmo nível de tensão, uma vez que possíveis reduções de custo seriam mitigadas pelos acréscimos necessários, tais como estações transformadoras. Por vezes, tal pode não ser possível, como, por exemplo, na interligação de distritos com redes MT com valores de tensão diferentes, havendo, nesses casos, realmente necessidade de estações transformadoras.

### 3.3 Corrente nominal da linha

A intensidade da corrente nominal poderá ser calculada a partir da fórmula 3.1:

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot U \cdot \cos(\varphi)} \quad (A) \quad (3.1)$$

Onde:

- $S$  - Potência aparente a transmitir [VA];
- $U$  - Tensão nominal da linha [V];
- $\cos(\varphi)$  - Fator de potência da linha.

Com  $I$  calculado, é possível de terminar a densidade de corrente por fase,  $d$ , pela expressão 3.2:

$$d = \frac{I}{\sigma} \left( \frac{A}{mm^2} \right) \quad (3.2)$$

Onde:

- $I$  - Intensidade da corrente nominal [A];
- $\sigma$  - Secção dos condutores [ $mm^2$ ].

### 3.4 Modelo de Kuipers-Brown

Existe ainda um segundo método para calcular a corrente máxima admissível nas linhas MT e AT. O modelo em consideração tem em conta a dissipação térmica de energia elétrica entre os condutores e o meio envolvente, caracterizado pela expressão 3.3 [10]:

$$I^2 \cdot R_{cond} + \alpha_s \cdot G \cdot d - 8,55 \cdot (T_{cond} - T_{amb}) \cdot (v \cdot d)^{0,448} - \pi \cdot E \cdot C \cdot d \cdot (T_{cond}^4 - T_{amb}^4) = 0 \quad (3.3)$$

Onde:

- $I$  - Intensidade da corrente máxima do condutor [A];
- $R_{cond}$  - Resistência do condutor [ $\Omega/m$ ];
- $\alpha_s$  - Coeficiente de absorção solar [0,5];
- $G$  - Intensidade de radiação solar, incidente numa superfície [ $1000 W/m^2$ ];
- $d$  - Diâmetro do condutor [m];
- $T_{cond}$  - Temperatura de projeto dos condutores [K];
- $T_{amb}$  - Temperatura ambiente [K];
- $v$  - Velocidade do vento [ $0,6 m/s$  ou  $1,0 m/s$ ];
- $E$  - Poder emissivo do condutor relativamente a um corpo negro [ou  $0,5$  ou  $0,6$ ];
- $C$  - Constante de Stefan-Boltzmann [ $5,7 \cdot 10^{-8} W/m^2/K^4$ ]

No projeto e exploração das linhas MT e AT é comum os operadores fazerem uso deste modelo, ajustando os seus parâmetros em função das características da região e regulamentos em vigor.

Em Portugal, são normalmente usados os valores de  $0,6 m/s$  para  $v$  e  $1000 W/m^2$  para  $G$ , sendo os valores de  $T_{amb}$  estabelecidos sazonalmente, pelos valores presentes na Tabela 3.1.

| Tamb (°C) | Inverno | Primavera | Verão | Outono |
|-----------|---------|-----------|-------|--------|
| Mínimo    | 0       | 20        | 30    | 20     |
| Máximo    | 15      | 25        | 35    | 25     |

Tabela 3.1: Temperaturas Sazonais Modelo Kuipers-Brown

### 3.5 Constantes elétricas da linha

Após a tensão da linha definida e a sua corrente nominal calculada, existe a necessidade de calcular as constantes elétricas da linha, de forma a salvaguardar a idoneidade do condutor escolhido.

#### 3.5.1 Resistência elétrica

A resistência de um condutor assenta na fórmula 3.4:

$$R = \frac{\rho_{\theta} \cdot l}{\sigma} \quad (\Omega) \quad (3.4)$$

Onde:

- $\rho_\theta$  - Resistividade linear do condutor à temperatura  $\theta$  [ $\Omega \cdot km$ ];
- $l$  - Comprimento do cabo condutor [ $km$ ];
- $\sigma$  - Secção do condutor [ $mm^2$ ].

Assim sendo, a resistência quilométrica,  $R_k$ , é dada pela expressão 3.5:

$$R_k = \frac{R}{l} = \frac{\rho_\theta}{\sigma} \quad (\Omega) \quad (3.5)$$

Onde:

- $\rho_\theta$  - Resistividade linear do condutor à temperatura  $\theta$  [ $\Omega \cdot km$ ];
- $l$  - Comprimento do cabo condutor [ $km$ ];
- $\sigma$  - Secção do condutor [ $mm^2$ ].

Por fim, e como os valores de resistência quilométrica são calculados para uma temperatura de 20°C, existe a necessidade de efetuar uma correção de temperatura do valor de resistividade linear, dada pela expressão 3.6:

$$R = R_{20^\circ C} \cdot (1 + \beta(\theta - 20)) \quad (\Omega/km) \quad (3.6)$$

Onde:

- $R_{20^\circ C}$  - Resistência linear do condutor a 20°C [ $\Omega/km$ ];
- $\beta$  - Coeficiente de temperatura.

### 3.5.2 Indutância e reatância

Quando existe passagem de corrente no cabo, é criado um campo magnético, que, por sua vez, gera um fluxo, denominado fluxo magnético. Este campo magnético varia consoante a distância entre os condutores de uma linha, sendo afetado pela armação escolhida para o apoio. A indutância, também conhecida como coeficiente de autoindução, relaciona a variação entre esse mesmo fluxo e a variação da corrente no cabo. A indutância é calculada por fase e ao quilómetro, sendo dada pela expressão 3.7:

$$L_k = \left[ \frac{\mu}{2n} + 4,605 \cdot \log \left( \frac{D}{r'} \right) \right] \cdot 10^{-4} \quad (H/km) \quad (3.7)$$

Onde:

- $\mu$  - Permeabilidade relativa do condutor, onde:
  - $\mu = 1$  - condutores de cobre, alumínio, ligas de alumínio e cabos de alumínio-aço;
  - $\mu = 200$  - condutores de aço galvanizado.
- $n$  - Número de condutores, por fase;
- $D$  - Distância geométrica entre condutores, podendo ser consultada a sua fórmula de cálculo no subcapítulo 3.7 [mm];
- $r'$  - Raio fictício do condutor [mm];

O raio fictício do condutor é dado pela fórmula 3.8:

$$r' = \sqrt[n]{n \cdot r \cdot R^{n-1}} \text{ (mm)} \quad (3.8)$$

Onde:

- $r$  - Raio do condutor [mm];
- $R$  - Raio da circunferência que passa pelos condutores que formam a fase (usado no caso de linhas geminadas) [mm].

A reactância, por sua vez, é dado pela indutância multiplicada pela frequência angular, por fase e quilómetro, definida pela expressão 3.9.

$$X_k = w \cdot L_k = 2\pi f \cdot L_k \text{ (}\Omega/\text{km)} \quad (3.9)$$

Onde:

- $w$  - Velocidade angular [rad/s];
- $f$  - Frequência angular [Hz];
- $L_k$  - Indutância [H/km].

### 3.5.3 Capacidade e susceptância

A capacidade linear de um condutor depende do campo elétrico criado pela diferença de tensão na linha e consiste na relação entre a carga e a diferença de tensão entre o condutor e a terra, sendo dada pela expressão 3.10:

$$C_k = \frac{24,2}{\log\left(\frac{D}{r}\right)} \cdot 10^{-9} \text{ (F/km)} \quad (3.10)$$

Onde:

- $D$  - Distância geométrica entre condutores, podendo ser consultada a sua fórmula de cálculo no subcapítulo 3.7 [mm];
- $r'$  - Raio fictício do condutor [mm].

Já a susceptância é a multiplicação da capacidade linear pela frequência angular, por fase e quilômetro, definida pela expressão 3.11.

$$B_k = w \cdot C_k = 2\pi f \cdot C_k \text{ (S/km)} \quad (3.11)$$

Onde:

- $w$  - Velocidade angular [rad/s];
- $f$  - Frequência angular [Hz];
- $C_k$  - Capacidade [F/km].

### 3.5.4 Condutância

A condutância dá-se pelo inverso da resistência elétrica,  $R$ . Esta existe nas linhas aéreas pelas correntes de fuga que ocorrem nas cadeias de isoladores, sendo o seu valor influenciado pela humidade e poluição do ambiente à volta do cabo, aumentando com a humidade do ar. É obtida através da expressão 3.12:

$$G = \frac{1}{R} = \frac{I}{\frac{U}{\sqrt{3}}} \text{ (S)} \quad (3.12)$$

Onde:

- $I$  - Intensidade da corrente nominal [A];
- $V$  - Tensão nominal da linha [V].

No projeto de linhas MT e AT, por norma, esta é calculada através das perdas da linha e da sua tensão, como se pode ver na expressão 3.13:

$$G_k = \frac{P}{U_s^2} \cdot 10^{-3} \text{ (S/km)} \quad (3.13)$$

Onde:

- $P$  - Perdas por fase [kW/km];
- $V_s$  - Tensão simples da linha [kV].

### 3.5.5 Impedância

É dada pela soma entre a resistência elétrica e a reactância da linha, definida em função da fase e por quilómetro na expressão 3.14:

$$\underline{Z}_k = R_k + jX_k \quad (\Omega) \quad (3.14)$$

Onde:

- $R_k$  - Resistência elétrica  $[\Omega]$ ;
- $X_k$  - Reactância  $[\Omega]$ .

O seu módulo e a sua fase podem ser calculados através das expressões 3.15 e 3.16, respetivamente.

$$|\underline{Z}_k| = \sqrt{(R_k)^2 + (X_k)^2} \quad (\Omega) \quad (3.15)$$

$$\angle(\underline{Z}_k) = \arctan\left(\frac{X_k}{R_k}\right) \quad (^\circ) \quad (3.16)$$

### 3.5.6 Admitância

A admitância dá-se pela soma entre a susceptância e a condutância, definida em função da fase e por quilómetro pela expressão 3.17:

$$\underline{Y}_k = G_k + jB_k \quad (\Omega) \quad (3.17)$$

Onde:

- $G_k$  - Condutância  $[S]$ ;
- $B_k$  - Susceptância  $[S]$ .

O seu módulo e a sua fase podem ser calculados através das expressões 3.18 e 3.19, respetivamente.

$$|\underline{Y}_k| = \sqrt{(G_k)^2 + (B_k)^2} \quad (S) \quad (3.18)$$

$$\angle(\underline{Y}_k) = \arctan\left(\frac{B_k}{G_k}\right) \quad (^\circ) \quad (3.19)$$

### 3.6 Impedância característica

Por fim, a impedância característica obtém-se a partir da impedância e da admitância representada pela expressão 3.20:

$$\underline{Z}_c = \sqrt{\frac{\underline{Z}_k}{\underline{Y}_k}} \quad (\Omega) \quad (3.20)$$

Onde:

- $\underline{Z}_k$  - Impedância [ $\Omega/km$ ];
- $\underline{Y}_k$  - Admitância [ $S/km$ ].

### 3.7 Distância geométrica entre condutores

No projeto de linhas MT e AT apenas são usados apoios de betão ou metálicos da família F, podendo os mesmos ser para linhas simples ou duplas, diferindo assim o cálculo da distância geométrica entre condutores. Na Figura 3.1 apresenta-se um exemplo de um apoio simples, à esquerda, e de um apoio duplo, à direita, com as fases numeradas, de forma a ser possível executar o cálculo necessário.

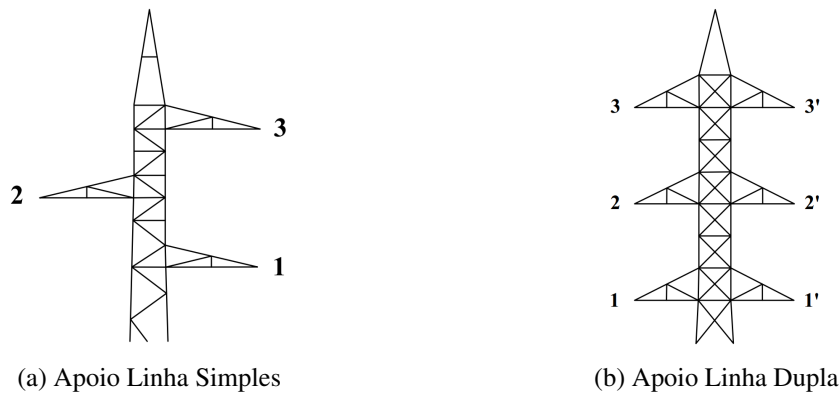


Figura 3.1: Representação de apoios para cálculo de distância geométrica entre fases

Para linhas simples, a distância geométrica entre condutores dá-se pela expressão 3.21:

$$D = \sqrt[3]{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{23}} \quad (mm) \quad (3.21)$$

Onde:

- $D$  - Distância geométrica entre condutores [ $mm$ ];
- $D_{ij}$  - Distância entre fases  $i$  e  $j$  [ $mm$ ].

Para linhas duplas, a distância geométrica entre condutores traduz-se na expressão 3.22:

$$D = \sqrt[3]{D_1 \cdot D_2 \cdot D_3} \text{ (mm)} \quad (3.22)$$

Com:

$$D_1 = \frac{\sqrt{D_{12} \cdot D_{13} \cdot D_{12'} \cdot D_{13'}}}{D_{11'}} \text{ (mm)} \quad (3.23)$$

$$D_2 = \frac{\sqrt{D_{21} \cdot D_{23} \cdot D_{21'} \cdot D_{23'}}}{D_{22'}} \text{ (mm)} \quad (3.24)$$

$$D_3 = \frac{\sqrt{D_{31} \cdot D_{32} \cdot D_{31'} \cdot D_{32'}}}{D_{33'}} \text{ (mm)} \quad (3.25)$$

Onde:

- $D$  - Distância geométrica entre condutores [mm];
- $D_{ij}$  - Distância entre fases [mm].

### 3.8 Perdas da linha

Numa linha MT ou AT existem sempre perdas nas linhas, sendo o objetivo do projetista diminuir as mesmas, aumentando a fiabilidade e a robustez do SEE. Numa linha, as perdas são obtidas através da expressão 3.26:

$$p = n \cdot R \cdot I^2 \text{ (W)} \quad (3.26)$$

Onde:

- $n$  - Número de condutores da linha;
- $R$  - Resistência elétrica [ $\Omega$ ];
- $I$  - Corrente nominal por fase [A];

### 3.9 Queda de tensão

Em todas as linhas existem quedas de tensão, que será aumentada pelas distâncias percorridas, derivado da resistência e reactância próprias do condutor. Havendo limites recomendados para este valor, e estando esse limite fixado nos 5% da tensão nominal, torna-se necessário mantê-la em valores controlados. É possível calculá-la a partir da expressão 3.27:

$$\Delta U = \sqrt{3} \cdot I \cdot (R \cdot \cos(\varphi) + X \cdot \sin(\varphi)) \text{ (V)} \quad (3.27)$$



Onde:

- $I$  - Corrente nominal da linha [A];
- $R$  - Resistência elétrica [ $\Omega$ ];
- $X_k$  - Reactância [ $\Omega$ ];
- $\varphi$  - Ângulo de defasamento.

Por fim, este valor é expresso em percentual, a partir da expressão 3.28:

$$\Delta U_{\%} = \frac{\Delta U}{U} \cdot 100 \quad (\%) \quad (3.28)$$

### 3.10 Resumo cálculo constantes elétricas

Todo o cálculo desenvolvido anteriormente é crucial para um projeto de uma linha de MT ou AT, permitindo salvaguardar o bom funcionamento da mesma, pretendendo-se sempre alcançar três valores: a impedância característica da linha, as perdas da mesma e a sua queda de tensão.

De forma a sintetizar todo o processo de cálculo, apresenta-se no diagrama presente na Figura 3.2 o processo de cálculo elétrico de uma linha:

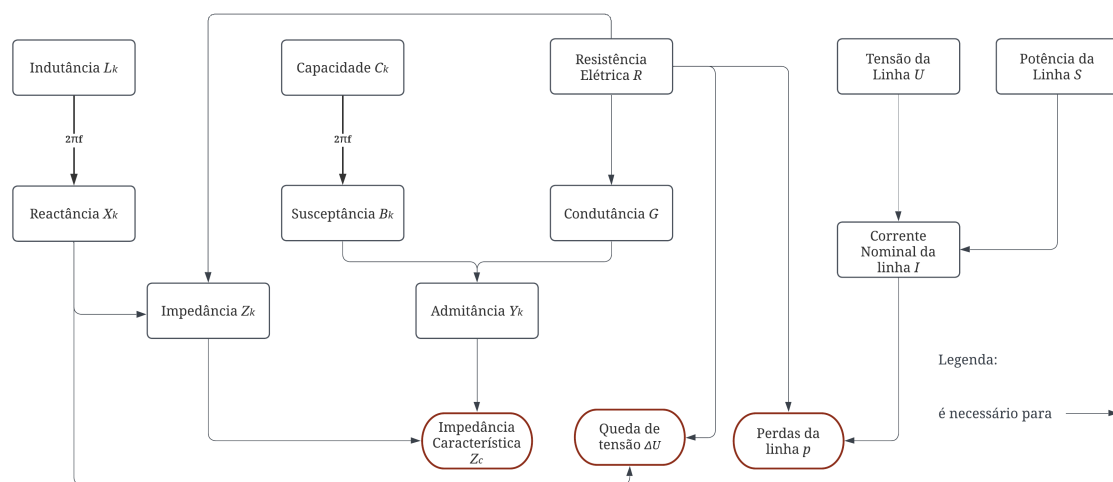


Figura 3.2: Diagrama Resumo Cálculo Elétrico de uma Linha MT ou AT

### 3.11 Campo eletromagnético

O campo eletromagnético gerado pela passagem de energia nas linhas é uma análise que deve ser feita durante a fase de projeto. São analisados, em separado, o campo elétrico e o campo magnético, este gerado por campos estáticos e de baixas frequências.

Foi emitida uma diretiva pelo conselho europeu sobre os campos eletromagnéticos e a sua exposição ao público, entre as frequências de 0 Hz e 300 GHz, denominado "*Council Recommendation on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz - 300 GHz)*" [9], tendo depois o governo português transposto para a legislação nacional, através da Portaria 1421/2004, de 23 de novembro, e do DL 11/2003, de 18 de janeiro, que limita os valores do campo eletromagnético, limites estes presentes na Tabela 3.2.

| Características de Exposição | Campo Elétrico [kV/m] (RMS) | Densidade de Fluxo Magnético [ $\mu$ T] (RMS) |
|------------------------------|-----------------------------|-----------------------------------------------|
| Público Permanente           | 5                           | 100                                           |

Tabela 3.2: Limites de exposição a campos eletromagnéticos, a 50 Hz

O campo elétrico pode ser calculado através das cargas elétricas em cada um dos condutores da linha. Para este cálculo é usado o apoio mais predominante na linha, de forma a estabelecer as distâncias entre fases e a distância ao solo.

O campo magnético varia com a corrente da linha e pode ser calculado através das correntes de todos os condutores e cabos de guarda da linha, com o apoio mais predominante na linha, de forma a perceber a distância entre fases, e a distância ao solo.

## Capítulo 4

# Cálculo mecânico

Neste capítulo irá aprofundar-se o cálculo mecânico de linhas MT e AT. A sua compreensão é essencial para a tomada de decisão e permite assegurar a estabilidade e a segurança da linha, prevendo o impacto das condições atmosféricas e os esforços que estas exercem nos apoios.

### 4.1 Objetivo

Este cálculo é fundamental no âmbito do projeto de uma linha MT e AT, visto ser nesta etapa que se assegura a segurança e estabilidade mecânica da linha. É nesta fase que se completam vários objetivos do projeto:

- Determinação da tração mecânica de montagem dos condutores e/ou cabo de guarda, consoante a situação atmosférica nesse momento, assegurando que o condutor nunca ultrapassa a sua tração de serviço;
- Dimensionamento dos apoios, de forma a que estes suportem os esforços dos condutores e/ou cabo de guarda quando sujeitos às ações atmosféricas;
- Cumprimento do RSLEAT, analisando a altura dos apoios, o afastamento entre condutores e o afastamento entre condutores e cabo de guarda, mantendo todas as distâncias mínimas regulamentares.

### 4.2 Tração mecânica máxima admissível

O primeiro passo é determinar a tração máxima admissível,  $t_{max}$ , pelo condutor e pelo cabo de guarda. Trata-se do caso mais desfavorável possível, uma vez que dependerá sempre da tração de rutura,  $t_{rutura}$ , do condutor e/ou cabo de guarda em questão e da sua secção, e corresponde ao valor teórico máximo que o condutor aguenta, sem afetar as suas propriedades e sem haver risco de rutura.  $t_{max}$  nunca deve representar mais do que 40% da tração de rutura do condutor,  $t_{rutura}$ , e

respeita a seguinte expressão 4.1:

$$t_{max} = \frac{t_{rutura}}{2,5} = \frac{T_{rutura}}{\sigma \cdot 2,5} \text{ (daN/mm}^2\text{)} \quad (4.1)$$

Onde:

- $T_{rutura}$  - Tração de rutura máxima do condutor (disponível na folha de características) [daN];
- $\sigma$  - Secção nominal do condutor [mm<sup>2</sup>];

Após ter sido calculada  $t_{max}$ , define-se a tração de serviço da linha,  $t_{serv}$ , respeitando que:

$$t_{serv} < t_{max} \quad (4.2)$$

A tração de serviço de linha é a tração máxima que se pretende atingir no estado atmosférico mais desfavorável em que a linha irá operar. Normalmente, adotam-se valores de tração de serviço entre 7 e 9 daN/mm<sup>2</sup> para condutores e entre 11 e 13 daN/mm<sup>2</sup> para cabos de guarda, podendo estes diferir nos apoios de fim de linha ou no ataque aos pórticos, pois estes terão de suportar a totalidade dos esforços aplicados neles, havendo, nestes casos, uma degradação de tração.

### 4.3 Solicitações exigidas à linha

Ao longo da vida útil da linha, os seus condutores irão sofrer solicitações elásticas provocadas pelas forças que sobre ele incidem, bem como solicitações térmicas devido às diferenças de temperatura sazonais, pelo que, após o cálculo da tração de serviço da linha, torna-se necessário entender qual a influência dos fatores externos na linha em projeto [25], representados na figura 4.1: o peso próprio do cabo, ação do vento no condutor, a variação de temperaturas e a possível ação de gelo (devido à criação de manga de gelo) [27].

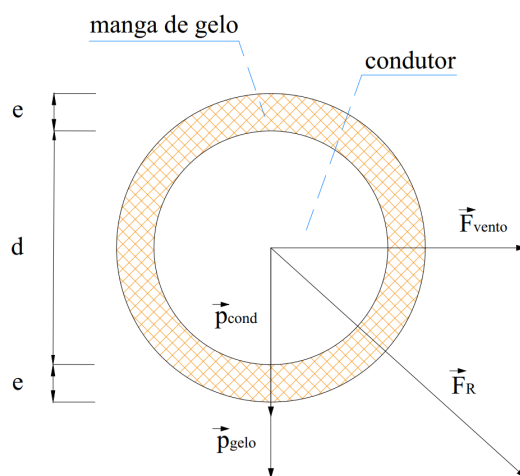


Figura 4.1: Representação das solicitações exigidas a um condutor

Onde:

- $p_{cond}$  - Peso específico do condutor [ $daN/mm$ ];
- $p_e$  - Peso específico da manga de gelo [ $daN/mm$ ];
- $F_{vento}$  - Força do vento [ $daN/mm$ ];
- $F_r$  - Força resultante de todas as forças exercidas sob o condutor [ $daN/mm$ ];
- $d$  - Diâmetro do condutor [ $mm$ ];
- $e$  - Espessura da manga de gelo [ $mm$ ];

#### 4.3.1 Ação do peso específico do condutor

O peso específico do condutor,  $p_{cond}$ , é um valor fixo que diz respeito à ação gravítica sobre o condutor. É um valor que pode ser consultado na folha de características do mesmo.

#### 4.3.2 Ação da força do vento

Devido à resistência à livre passagem do ar, o vento aplicado a todos os componentes da linha manifesta-se sob a forma de pressão, devendo esta ser absorvida pelos apoios. O vento atua numa direção horizontal e a sua força deverá considerar-se paralela a este plano, podendo ser calculada através da expressão 4.3:

$$F_{vento} = \alpha \cdot c \cdot q \cdot (d + 2 \cdot e) \cdot 10^{-3} \text{ (daN/m)} \quad (4.3)$$

Onde:

- $\alpha$  - Coeficiente de redução;
- $c$  - Coeficiente de forma;
- $q$  - Pressão dinâmica do vento [ $Pa$  ou  $N/mm^2$ ];
- $d$  - Diâmetro do condutor [ $mm$ ];

Importa perceber as variáveis acima mencionadas, visto serem de grande relevância para o cálculo adjacente:

##### 4.3.2.1 Coeficiente de redução

Como a velocidade do vento não é constante ao longo de toda a extensão da linha,  $\alpha$  pode tomar vários valores:

- 0,6 - condutores e cabos de guarda;
- 1 - isoladores, travessas e apoios.

#### 4.3.2.2 Coeficiente de forma

Este depende da rugosidade do condutor ao qual é aplicado vento. Quanto maior for o diâmetro do condutor maior será a irregularidade deste, logo, maior será a sua rugosidade, podendo  $c$  tomar os valores apresentados na Tabela 4.1:

| Diâmetro condutor - $d$ [mm] | Coeficiente de Forma - $c$ |
|------------------------------|----------------------------|
| $d < 12,5$                   | 1,2                        |
| $12,5 < d < 15,8$            | 1,1                        |
| $d > 15,8$                   | 1,0                        |

Tabela 4.1: Coeficientes de forma condutores e cabos guarda

#### 4.3.2.3 Pressão dinâmica do vento

A pressão dinâmica do vento varia consoante a altura, acima do solo, do componente sobre o qual se pretende definir  $F_{vento}$ . Estes podem assumir diferentes valores, os quais se encontram representados na Tabela 4.2.

| Altura Acima do Solo [m] | Pressão Dinâmica $q$ [Pa] |                |
|--------------------------|---------------------------|----------------|
|                          | Vento Máximo              | Vento Reduzido |
| < 30                     | 750                       | 300            |
| entre 30 e 50            | 900                       | 360            |
| > 50                     | 1050                      | 420            |

Tabela 4.2: Valores pressão dinâmica do vento

Fazendo cumprimento do RSLEAT, todas as linhas em projeto, em zonas costeiras, desde que a uma distância inferior a 5 km, ou para zonas de altitude superior a 600 m, sofrem um acréscimo de 20% no valor da pressão dinâmica do vento [27].

#### 4.3.3 Ação da variação de temperaturas e possível manga de gelo

Estando sujeita ao meio ambiente, a linha em projeto terá de se submeter a bruscas variações atmosféricas ao longo do ano. Existem três estados atmosféricos, que irão ser retratados na secção 4.4: inverno, primavera e verão. Embora atualmente já se faça projeto com temperaturas mais elevadas para o estado de verão, de forma a tornar o projeto mais conservador, o RSLEAT contempla as temperaturas,  $\theta$ , pelas quais se deve reger o cálculo para os diferentes estados atmosféricos, representadas na Tabela 4.3.

| Primavera |         |          |                   |
|-----------|---------|----------|-------------------|
| 15        |         |          |                   |
| Inverno   |         |          |                   |
| s/ gelo   |         | c/ gelo  |                   |
| -5        |         | -10      |                   |
| Verão     |         |          |                   |
| MT        | AT 60kV | AT 120kV | Extrema Segurança |
| 50        | 65      | 75       | 80                |

Tabela 4.3: Temperaturas para cada estado atmosférico

Como já referido no ponto 4.3 e representado na Tabela 4.3, por vezes, em zonas propícias à formação de gelo, existe a criação de uma manga de gelo que envolve o condutor e os cabos de guarda. Para efeitos de cálculo, esta manga é distribuída uniformemente ao longo do condutor e do cabo de guarda e afetará também a área exposta ao vento e o peso próprio dos cabos.

O RSLEAT abrange algumas zonas, acima dos 700 m de altitude, onde se deve considerar uma manga de gelo de, no mínimo, 10mm<sup>1</sup>, nos cálculos mecânicos da linha em projeto.

Atualmente, em projeto, já é costume considerar regiões com altitudes acima dos 600 m como zonas de gelo, segundo a distribuição presente na Tabela 4.4.

| Altitude (m) | e (mm) |
|--------------|--------|
| 600 - 700    | 10     |
| 700 - 800    | 12     |
| 800 - 900    | 14     |
| 900 - 1000   | 16     |

Tabela 4.4: Espessura de gelo  $e$  consoante altitude da linha

Acima dos 1000 m de altitude é necessário um estudo mais aprofundado para perceber qual o melhor  $e$  a adotar no cálculo da manga de gelo.

A partir destes valores é possível calcular  $p_e$ , através da expressão 4.4:

$$p_e = \pi_{\text{gelo}} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot [(d + 2e)^2 - d^2] \quad (\text{daN/mm}) \quad (4.4)$$

Onde:

- $\pi_{\text{gelo}}$  - Peso específico volumétrico do gelo (normalmente usado 0,9) [ $\text{kg/dm}^3$ ];
- $d$  - Diâmetro do condutor [ $\text{mm}$ ];
- $e$  - Espessura da manga de gelo [ $\text{mm}$ ];

<sup>1</sup> artigo 98° - RSLEAT

## 4.4 Estados atmosféricos

Como já referido anteriormente, são vários os fatores externos que influenciam o comportamento de uma linha. Em Portugal, foram definidos três estados atmosféricos, considerados os piores a que os condutores podem estar sujeitos, podendo variar entre eles a temperatura a que se encontra o condutor e o vento. São eles o estado de inverno, o de primavera e o de verão, como podemos ver pela Figura 4.2.

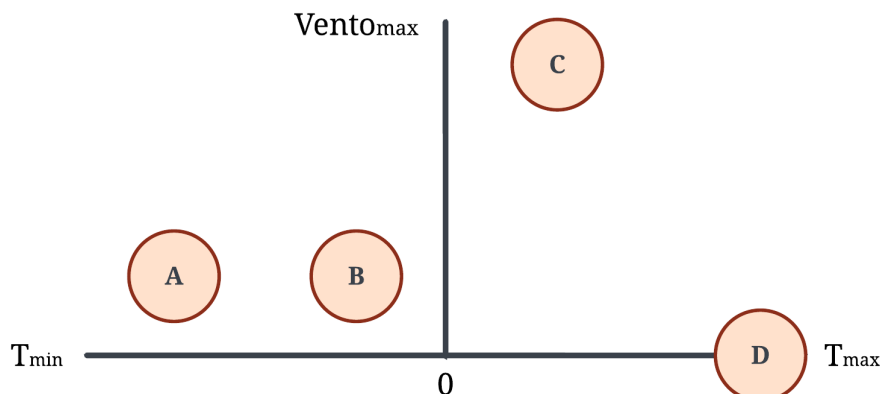


Figura 4.2: Representação gráfica estados atmosféricos

Onde:

- A - Estado de inverno com gelo;
- B - Estado de inverno sem gelo;
- C - Estado de primavera;
- D - Estado de verão.

Pela análise da Figura 4.2, pode assimilar-se que o estado de inverno se caracteriza por temperaturas dos condutores baixas, sendo de  $-5^{\circ}\text{C}$ , se não houver presença de gelo, e  $-10^{\circ}\text{C}$ , se em zonas de gelo, como se conclui na Tabela 4.3, e vento reduzido. Nas zonas de gelo existe a possibilidade de formação de manga de gelo.

Já no estado de primavera a presença de vento é propícia, pelo que se denomina por estado de vento máximo e a sua temperatura é média, admitindo-se um valor de  $15^{\circ}\text{C}$ .

Por fim, o estado de verão, que também pode ser apelidado de estado de flecha máxima, pelo facto dos condutores dilatarem, provocando um aumento da flecha, é definido pelas suas altas temperaturas de condutores, dependendo sempre da classe da linha, e pelo vento nulo. Para as linhas de 2ª classe, ou seja, as linhas MT, a temperatura estabelecida é de  $50^{\circ}\text{C}$ , sendo para as de 3ª classe, até 100 kV, de  $65^{\circ}\text{C}$ , e as acima desse valor de  $75^{\circ}\text{C}$ .



## 4.5 Coeficiente de sobrecarga

Após realizar o cálculo de  $F_{vento}$  para o estado de inverno e para o estado de primavera, pretende-se através do coeficiente de sobrecarga perceber, entre estes dois estados, qual será o mais desfavorável. O coeficiente de sobrecarga confere ao peso próprio do condutor um agravamento que reproduz  $F_{vento}$  e o  $e$  eventualmente existente, de forma a que essas influências externas se resumam ao aumento do peso próprio dos condutores [25], através da expressão 4.5:

$$m = \frac{F_r}{p_{cond}} = \frac{\sqrt{(p_{cond} + P_e)^2 + (F_{vento})^2}}{p_{cond}} = \frac{\sqrt{(p_{cond} + \pi_{gelo} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot [(d + 2e)^2 - d^2])^2 + (F_{vento})^2}}{p_{cond}} \quad (4.5)$$

Onde:

- $F_r$  - Força resultante de todas as forças exercidas sob o condutor [ $daN/mm$ ];
- $p_{cond}$  - Peso específico do condutor [ $daN/mm$ ];
- $p_e$  - Peso específico da manga de gelo [ $daN/mm$ ];
- $F_{vento}$  - Força do vento [ $daN/mm$ ];

O valor de  $m$  para o estado de verão toma o valor unitário, visto não haver nenhum agravamento ao peso dos condutores, devido à não existência de manga de gelo e de vento.

## 4.6 Equação de estados e tração de montagem

A equação de estados permite determinar a tração a aplicar num determinado vão,  $L$ , num estado atmosférico, conhecendo a tração do outro estado, os coeficientes de sobrecarga e as temperaturas de ambos os estados e as características do condutor em análise, dando-se pela seguinte expressão 4.6:

$$\theta_i + \frac{t_i}{\alpha \cdot E} - \frac{m_i^2 \cdot p_{cond}^2 \cdot L^2}{24 \cdot \alpha \cdot \sigma^2 \cdot t_i^2} = \theta_j + \frac{t_j}{\alpha \cdot E} - \frac{m_j^2 \cdot p_{cond}^2 \cdot L^2}{24 \cdot \alpha \cdot \sigma^2 \cdot t_j^2} \quad (4.6)$$

Onde:

- $\theta_i$  e  $\theta_j$  - Temperatura nos estados atmosféricos  $i$  e  $j$  [ $^{\circ}C$ ];
- $t_i$  e  $t_j$  - Tração do condutor nos estados atmosféricos  $i$  e  $j$  [ $daN/mm^2$ ];
- $E$  - Módulo de elasticidade ou módulo de Young [ $daN/mm^2$ ];
- $m_i$  e  $m_j$  - Coeficientes de sobrecarga nos estados atmosféricos  $i$  e  $j$ ;

- $p_{cond}$  - Peso específico do condutor [ $daN/mm$ ];
- $L$  - Comprimento do vão [ $m$ ];
- $\alpha$  - Coeficiente de dilatação linear térmica do condutor [ $^{\circ}C^{-1}$ ];
- $\sigma$  - Secção do condutor [ $mm^2$ ].

Por norma, existe a comparação entre o estado de verão, onde o coeficiente de sobrecarga é unitário, e o estado de primavera ou inverno. Para decidir entre os últimos dois, torna-se necessário conhecer mais alguns conceitos, retratados na secção 4.7.

É também a partir da equação de estados que se determina a tração de montagem e regulação mecânica dos condutores, fazendo variar a temperatura,  $t_j$ , do estado de verão, em intervalos de  $5^{\circ}C$ , e espelhando esses valores numa tabela que será posteriormente usada aquando da montagem da linha, consoante a temperatura no momento da passagem dos cabos.

## 4.7 Vão crítico e vão equivalente

Para determinar o pior estado atmosférico é necessário ainda conhecer alguns conceitos, tais como vão crítico,  $L_{cr}$ , e o vão equivalente,  $L_{eq}$ .

### 4.7.1 Vão crítico

Aquando da comparação entre o estado de primavera e de inverno, para determinar qual o mais desfavorável, torna-se necessário definir um limite de passagem da decisão de um estado para o outro. Assim,  $L_{cr}$  define-se como o vão para o qual a tração de serviço máxima,  $t_{serv}$ , é equalizada entre os dois estados em análise.

Assim, é tomando a equação dos estados como ponto de partida, podemos encontrar o  $L_{cr}$ , através da expressão 4.8:

$$\theta_1 + \frac{t_{serv}}{\alpha \cdot E} - \frac{m_1^2 \cdot p_{cond}^2 \cdot L_{cr}^2}{24 \cdot \alpha \cdot \sigma^2 \cdot t_{serv}^2} = \theta_2 + \frac{t_{serv}}{\alpha \cdot E} - \frac{m_2^2 \cdot p_{cond}^2 \cdot L^2}{24 \cdot \alpha \cdot \sigma^2 \cdot t_{serv}^2} \quad (4.7)$$

Obtendo-se:

$$L_{cr} = \frac{\sigma \cdot t_{serv}}{p_{cond}} \cdot \frac{\sqrt{24 \cdot \alpha \cdot (\theta_2 - \theta_1)}}{m_2^2 - m_1^2} \quad (4.8)$$

Onde:

- $\sigma$  - Secção do condutor [ $mm^2$ ];
- $t_{serv}$  - Tração de serviço do condutor [ $daN/mm^2$ ];
- $p_{cond}$  - Peso específico do condutor [ $daN/mm$ ];

- $\alpha$  - Coeficiente de dilatação linear térmica do condutor [ $^{\circ}\text{C}^{-1}$ ];
- $\theta_1$  e  $\theta_2$  - Temperatura nos estados atmosféricos de inverno e primavera, respetivamente [ $^{\circ}\text{C}$ ];
- $m_1$  e  $m_2$  - Coeficientes de sobrecarga nos estados atmosféricos de inverno e primavera, respetivamente.

#### 4.7.2 Vão Equivalente

Vão equivalente,  $L_{eq}$ , determina-se como um vão fictício no qual as variações da tensão mecânica (tração), devidas às variações da carga e da temperatura, são sensivelmente iguais às dos vãos reais do cantão<sup>2</sup>. Cantão, por sua vez, corresponde à porção de uma linha compreendida entre dois apoios, nos quais os condutores são fixados por amarrações<sup>3</sup>.

Desta forma, para determinar se o estado atmosférico mais desfavorável para o cantão é a primavera ou o inverno, e como todo o cantão está sujeito à mesma tração, torna-se necessário determinar qual o seu vão equivalente.

No entanto, a sua fórmula de cálculo difere consoante a posição relativa entre os dois apoios que o delimitam, podendo haver duas situações, que serão aprofundados na secção 4.9.1: vão em patamar e vão em desnível.

Assim sendo, apresentam-se a seguir as expressões 4.9 e 4.10 de cálculo de  $L_{eq}$ :

- **Vão em patamar:**

$$L_{eq} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N L_i^3}{\sum_{i=1}^N L_i}} \quad (m) \quad (4.9)$$

Onde:

- $\sum_{i=1}^N L_i$  - Somatório de vãos do cantão [ $m$ ].

- **Vão em desnível:**

$$L_{eq} = \frac{\sum_{i=1}^N b_i}{\sum_{i=1}^N L_i} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N \frac{L_i^5}{b_i^2}}{\sum_{i=1}^N L_i}} \quad (m) \quad (4.10)$$

Com:

$$b_i = \sqrt{L_i^2 + h_i^2} \quad (m) \quad (4.11)$$

Onde:

- $h$  - Diferença de cotas entre apoios, incluindo a altura do mesmo [ $m$ ].

<sup>2</sup>Ponto 83 | artigo 4º - RSLEAT

<sup>3</sup>Ponto 20 | artigo 4º - RSLEAT

## 4.8 Determinação do pior estado atmosférico

Após a determinação do vão crítico e do coeficiente de sobrecarga é agora possível a determinação do pior estado atmosférico, inverno ou primavera, através da análise da árvore de decisão presente na Figura 4.3.

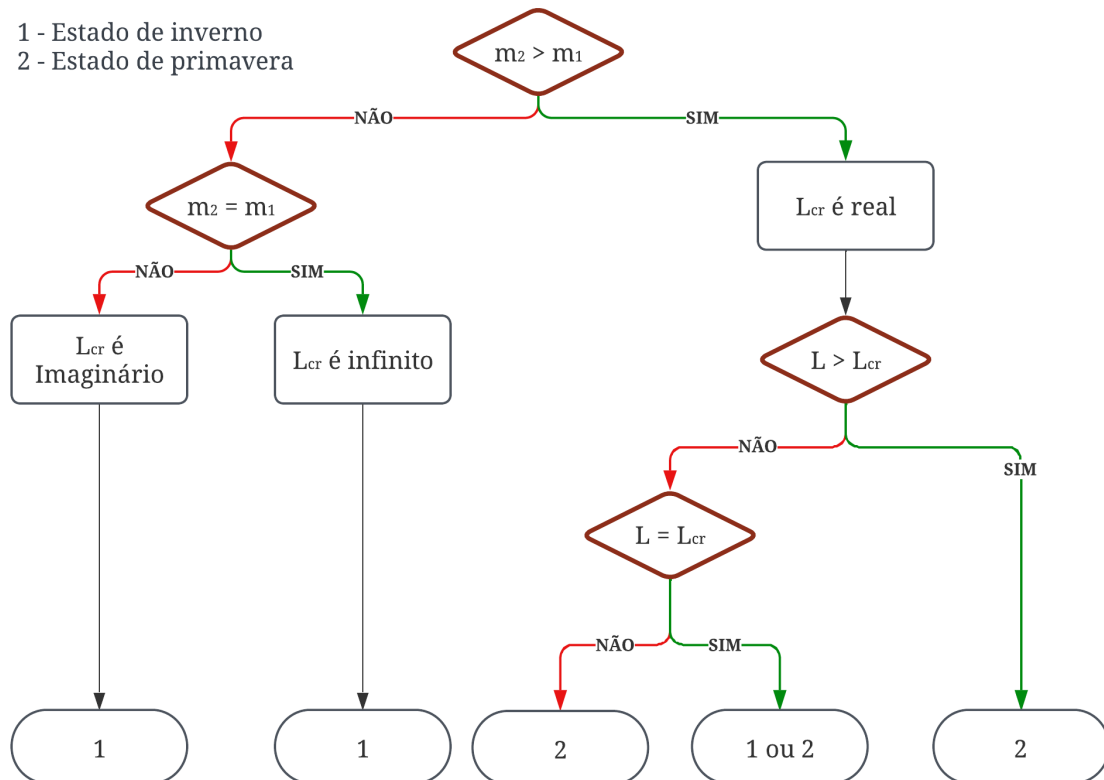


Figura 4.3: Árvore de Decisão Pior Estado Atmosférico

Onde:

- $m_1$  e  $m_2$  - Coeficientes de sobrecarga nos estados atmosféricos de inverno e primavera, respetivamente;
- $L$  - Comprimento do vão  $[m]$ ;
- $L_{cr}$  - Comprimento do vão crítico  $[m]$ .

## 4.9 Parâmetro da catenária e flecha de uma linha MT ou AT

Apesar dos condutores serem entidades flexíveis e elasticamente deformáveis, e estarem sujeitos a solicitações externas, a catenária demonstra-se uma boa aproximação da curva de equilíbrio dos condutores, com um erro praticamente desprezável, sendo usada no cálculo mecânico dos mesmos. Assim sendo, a catenária é a forma de curva tomada por um condutor, comparável a uma

corda infinitamente flexível e inextensível, suspensa entre dois apoios<sup>4</sup>, sendo dada pela expressão 4.12:

$$y = p \cdot \cosh\left(\frac{x}{p}\right) - p \quad (4.12)$$

Onde:

- $y$  - Distância medida, em projeção vertical, entre o plano onde a tangente da curva é horizontal e um ponto da catenária [ $m$ ];
- $p$  - Parâmetro da catenária [ $m$ ];
- $x$  - Distância medida, em projeção horizontal, entre o plano onde a tangente da curva é horizontal e um ponto da catenária [ $m$ ];

Por sua vez, o parâmetro da catenária,  $p$ , é dado pela expressão 4.13:

$$p = \frac{t_i \cdot \sigma}{m_i \cdot p_{cond}} \quad (m) \quad (4.13)$$

Onde:

- $t_i$  - Tração de montagem do condutor no estado atmosférico  $i$  [ $daN/mm^2$ ];
- $\sigma$  - Secção do condutor [ $mm^2$ ];
- $m_i$  - Coeficiente de sobrecarga no estado atmosférico  $i$ ;
- $p_{cond}$  - Peso específico do condutor [ $daN/mm$ ].

Como podemos depreender,  $y$  corresponde à flecha do condutor,  $f$ . A flecha do condutor define-se, como já referido anteriormente, pela distância entre o ponto do condutor ou do cabo de guarda onde a tangente é paralela à reta que passa pelos pontos de fixação e a intersecção da vertical que passa por esse ponto com esta reta, supostos o condutor ou o cabo de guarda não desviados pelo vento<sup>5</sup>.

Para simplificar o respetivo cálculo, visto empregarem-se cossenos hiperbólicos na fórmula da catenária, é frequentemente usada a equação da parábola, recorrendo a uma aproximação parabólica, como se pode observar na expressão 4.14 e na Figura 4.4:

$$f = \frac{x^2}{2 \cdot p} \quad (4.14)$$

---

<sup>4</sup>Ponto 21 | artigo 4º - RSLEAT

<sup>5</sup>Ponto 39 | artigo 4º - RSLEAT

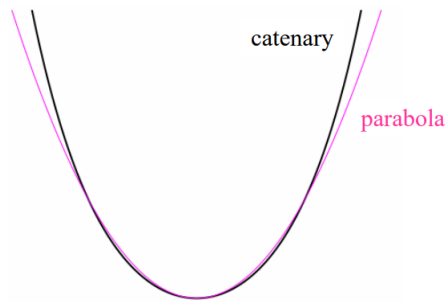


Figura 4.4: Aproximação parabólica entre catenária e parábola [24]

Esta aproximação permite usar a fórmula presente na expressão 4.14 tanto para vãos em patamar como vãos em desnível, conceitos que analisaremos de seguida.

#### 4.9.1 Vão em patamar e vão em desnível

##### 4.9.1.1 Vão em patamar

Vão no qual os pontos de fixação de um condutor em dois apoios consecutivos estão no mesmo plano horizontal<sup>6</sup>, como se pode perceber na Figura 4.5.

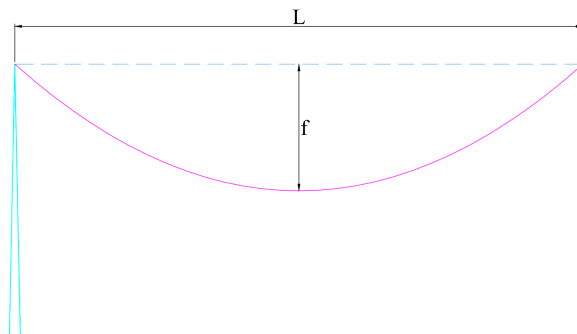


Figura 4.5: Vão em patamar

Sendo  $L$  o comprimento do vão, a flecha máxima,  $f$ , dá-se a meio do vão, pelo que a flecha máxima é representada pela expressão 4.15:

$$f = \frac{\left(\frac{L}{2}\right)^2}{2 \cdot p} = \frac{L^2}{8 \cdot p} = \frac{m \cdot p_{cond} \cdot L^2}{8 \cdot \sigma \cdot t_i} \quad (m) \quad (4.15)$$

Onde:

- $m$  - Coeficiente de sobrecarga;
- $p_{cond}$  - Peso específico do condutor [ $daN/mm$ ];
- $L$  - Comprimento do vão [ $m$ ];

---

<sup>6</sup>Ponto 82 | artigo 4º - RSLEAT

- $\sigma$  - Secção do condutor [ $mm^2$ ];
- $t_i$  - Tração de montagem do condutor no estado atmosférico  $i$  [ $daN/mm^2$ ].

#### 4.9.1.2 Vão em desnível

O vão em desnível corresponde a um vão no qual os pontos de fixação de um condutor em dois apoios consecutivos não estão no mesmo plano horizontal<sup>7</sup>, exemplificado na Figura 4.6.

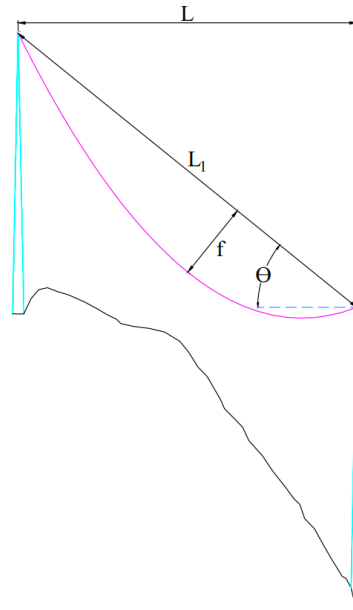


Figura 4.6: Vão em desnível

Neste caso, existem duas medidas de comprimento,  $L_1$ , que corresponde ao vão real, e  $L$ , que corresponde ao comprimento de  $L_1$  no plano horizontal, ou seja,  $L = L_1 \cdot \cos(\theta)$ . Para este tipo de vãos, a flecha é dada pela expressão 4.16:

$$f = \frac{L \cdot L_1}{8 \cdot p} = \frac{m \cdot p_{cond} \cdot L \cdot L_1}{8 \cdot \sigma \cdot t_i} \quad (m) \quad (4.16)$$

## 4.10 Estabilidade dos apoios

Como já referido na secção 2.3.4, é crucial fazer o correto dimensionamento do apoio, para que este suporte os esforços mecânicos nele aplicados, estando este sujeito a forças de 3 planos:  $F_x$ , forças longitudinais,  $F_y$ , forças transversais e  $F_z$ , forças verticais. Para este cálculo de estabilidade do apoio, encontram-se descritas no RSLEAT, entre os artigos 56º e 62º, todas as prescrições regulamentares a tomar em consideração, denominadas de hipóteses de cálculo. Por norma, a hipótese 1 retrata a situação de vento perpendicular à linha, e a hipótese 2 a situação sem vento. Já a hipótese 3 transparece a situação em que existe um cabo que rebenta, deixando o apoio em torção.

<sup>7</sup>Ponto 81 | artigo 4º - RSLEAT

De modo conservativo, e tendo por base o livro *Recomendações para Linhas aéreas de alta tensão até 30 kV*, da DGEG, serão usados vãos completos ao invés de meios vãos, em todas as fórmulas de seguida apresentadas, na formulação da ferramenta de cálculo.

#### 4.10.1 Notação hipóteses de cálculo

São vários os parâmetros que compõem as hipóteses de cálculo, pelo que se apresenta de seguida toda a notação usada, para uma maior facilidade de compreensão das mesmas [18]:

- $F_x$  - Esforço no sentido da linha principal ou no sentido da bissetriz do ângulo da linha principal (eixo xx') [daN];
- $F_y$  - Esforço no sentido normal à linha principal ou no sentido da bissetriz do ângulo da linha principal (eixo yy') [daN];
- $F_z$  - Esforço vertical (eixo zz') [daN];
- $A_1$  - Vão a montante do apoio [m];
- $A_2$  - Vão a jusante do apoio [m];
- $cond$  - Número de condutores;
- $cg$  - Número de cabos de guarda;
- $d$  - Número de linhas derivadas;
- $isol$  - Número de isoladores;
- $w_{cond}$  - Esforço unitário devido ao vento sobre o condutor [daN/m], dado pela expressão 4.17 [12]:

$$w_{cond} = \frac{F_{vento_{cond}}}{2} \cdot 0,981 \quad (4.17)$$

- $w'_{cond}$  - Esforço vertical unitário do condutor [daN/m], dado pela expressão 4.18 [12]:

$$w'_{cond} = \frac{P_{cond}}{2} \quad (4.18)$$

- $w_{cg}$  - Esforço unitário devido ao vento sobre o cabo de guarda [daN/m], dado pela expressão 4.19 [12]:

$$w_{cg} = \frac{F_{vento_{cg}}}{2} \cdot 0,981 \quad (4.19)$$

- $w'_{cg}$  - Esforço vertical unitário do cabo de guarda [daN/m], dado pela expressão 4.20 [12]:

$$w'_{cg} = \frac{P_{cg}}{2} \quad (4.20)$$



- $w_{isol}$  - Esforço unitário devido ao vento sobre uma cadeia de isoladores [ $daN/m$ ], dado pela expressão 4.21 [12]:

$$w_{isol} = \frac{F_{vento_{isol}}}{2} \cdot 0,981 \quad (4.21)$$

- $w'_{isol}$  - Esforço vertical unitário sobre uma cadeia de isoladores [ $daN/m$ ], dado pela expressão 4.22 [12]:

$$w'_{isol} = \frac{P_{isol}}{2} \quad (4.22)$$

- $w'_a$  - Esforço vertical unitário sobre a armação [ $daN/m$ ];
- $T_{cond}$  - Tração horizontal do condutor, à temperatura de 15°C com sobrecarga de vento [ $daN$ ];
- $T_{cg}$  - Tração horizontal do cabo de guarda, à temperatura de 15°C com sobrecarga de vento [ $daN$ ];
- $T_{cond_{max}}$  - Tração horizontal máxima do condutor [ $daN$ ];
- $T_{cg_{max}}$  - Tração horizontal máxima do cabo de guarda [ $daN$ ];
- $\alpha$  - Ângulo da linha principal [ $grados$ ];
- $\beta$  - Metade do ângulo da linha principal [ $grados$ ].

#### 4.10.2 Apoios de alinhamento e ângulo - caso geral

Nos artigos 56º e 57º encontram-se descritas as hipóteses de cálculo para este tipo de apoios, nunca consideradas simultaneamente. Em apoios de alinhamento ou de ângulo, representados na Figura 4.7, não são de considerar ações excepcionais, pelo que apenas se analisará as ações normais.

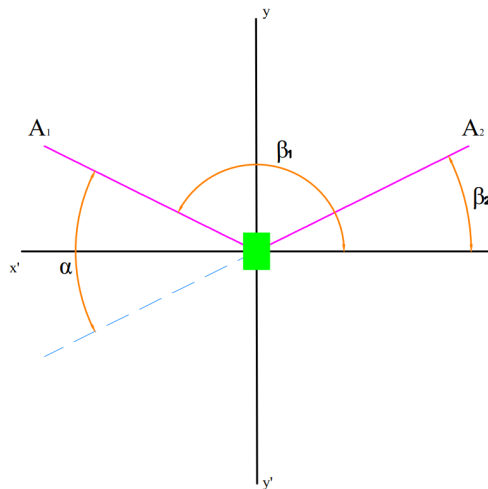


Figura 4.7: Esquema apoios de alinhamento e ângulo - caso geral

• **Hipótese 1 [33]**

- A sobrecarga de vento atuando, segundo a direção da bissetriz do ângulo, sobre o apoio, as travessas e os isoladores e sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio;
- Simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das trações exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda à temperatura de 15°C, com vento atuando segundo a direção da bissetriz do ângulo;
- Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

As fórmulas desta hipótese podem ser consultadas nas expressões 4.23, 4.24 e 4.25:

$$F_x = cond \cdot \left| \sum_{i=1}^2 T_{cond_i} \cdot \cos \beta_i \right| + cg \cdot \left| \sum_{i=1}^2 T_{cg_i} \cdot \cos \beta_i \right| \quad (4.23)$$

$$F_y = cond \cdot \left( \sum_{i=1}^2 \left( w_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} \cdot \cos^2 \beta_i + w_{isol_i} \right) + \sum_{i=1}^2 T_{cond_i} \cdot \sin \beta_i \right) + cg \cdot \left( \sum_{i=1}^2 \left( w_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} \cdot \cos^2 \beta_i \right) + \sum_{i=1}^2 T_{cg_i} \cdot \sin \beta_i \right) \quad (4.24)$$

$$F_z = cond \cdot \sum_{i=1}^2 \left( w'_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_{isol_i} \right) + cg \cdot \sum_{i=1}^2 \left( w'_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_a \right) \quad (4.25)$$

• **Hipótese 2 [33]**

- A força horizontal, de valor igual a um quinto do da resultante das forças provenientes da ação do vento segundo a direção da bissetriz do ângulo sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio, atuando no eixo do apoio, na direção normal à bissetriz do ângulo, à altura daquela resultante;
- Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

As fórmulas desta hipótese podem ser consultadas nas expressões 4.26 e 4.27:

$$F_x = \frac{1}{5} \cdot \left( cond \cdot \sum_{i=1}^2 w_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} \cdot \cos^2 \beta_i + cg \cdot \sum_{i=1}^2 w_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} \cdot \cos^2 \beta_i \right) \quad (4.26)$$

$$F_z = cond \cdot \sum_{i=1}^2 \left( w'_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_{isol_i} \right) + cg \cdot \sum_{i=1}^2 \left( w'_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_a \right) \quad (4.27)$$

### 4.10.3 Apoios de derivação - caso geral

No artigo 58º encontram-se descritas as hipóteses de cálculo para este tipo de apoios, nunca consideradas simultaneamente. Em apoios de derivação, sejam eles em alinhamento ou em ângulo, representados na Figura 4.8, não são de considerar ações excepcionais, pelo que apenas se analisará as ações normais.

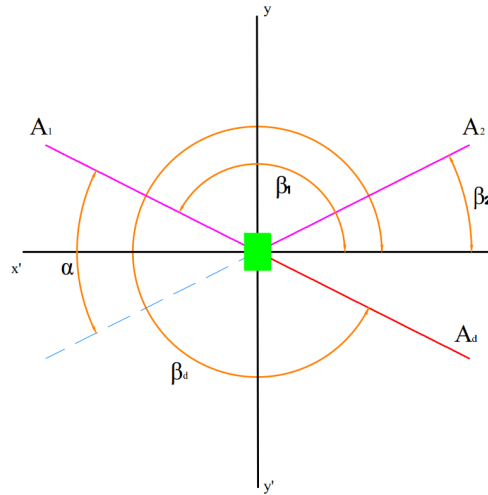


Figura 4.8: Esquema apoios de derivação - caso geral

#### • Hipótese 1 [33]

- A sobrecarga de vento atuando, normalmente à direção da linha principal se o apoio for de alinhamento ou segundo a direção da bissetriz do ângulo da linha principal se o apoio for de ângulo, sobre o apoio, as travessas e os isoladores e sobre os condutores e os cabos de guarda da linha principal nos dois meios vãos adjacentes ao apoio;
- Simultaneamente, a sobrecarga de vento atuando, com a direção anteriormente considerada, sobre os condutores e os cabos de guarda no meio vão adjacente das linhas derivadas;
- Simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das trações exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas à temperatura de 15°C, com vento atuando segundo a direção atrás considerada;
- Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas;

As fórmulas desta hipótese podem ser consultadas nas expressões 4.28, 4.29 e 4.30:

$$F_x = cond \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cond_i} \cdot \cos \beta_i \right| + cg \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cg_i} \cdot \cos \beta_i \right| \quad (4.28)$$

$$F_y = cond \cdot \left( \sum_{i=1}^d \left( w_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} \cdot \cos^2 \beta_i + w_{isol_i} \right) + \left| \sum_{i=1}^d T_{cond_i} \cdot \sin \beta_i \right| \right) + cg \cdot \left( \sum_{i=1}^d \left( w_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} \cdot \cos^2 \beta_i \right) + \left| \sum_{i=1}^d T_{cg_i} \cdot \sin \beta_i \right| \right) \quad (4.29)$$

$$F_z = cond \cdot \sum_{i=1}^d \left( w'_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_{isol_i} \right) + cg \cdot \sum_{i=1}^d \left( w'_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_a \right) \quad (4.30)$$

• **Hipótese 2 [33]**

- A sobrecarga de vento atuando, na direção da linha principal se o apoio for de alinhamento ou segundo a normal à bissetriz do ângulo da linha principal se o apoio for de ângulo, sobre o apoio, as travessas e os isoladores e sobre os condutores e os cabos de guarda da linha principal nos dois meios vãos adjacentes ao apoio;
- Simultaneamente, a sobrecarga de vento atuando, com a direção anteriormente considerada, sobre os condutores e os cabos de guarda no meio vão adjacente das linhas derivadas;
- Simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das trações exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas à temperatura de 15°C, com vento atuando segundo a direção atrás considerada;
- Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas.

As fórmulas desta hipótese podem ser consultadas nas expressões 4.31, 4.32 e 4.33:

$$F_x = cond \cdot \left( \sum_{i=1}^d \left( w_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} \cdot \sin^2 \beta_i + w_{isol_i} \right) + \left| \sum_{i=1}^d T_{cond_i} \cdot \cos \beta_i \right| \right) + cg \cdot \left( \sum_{i=1}^d \left( w_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} \cdot \sin^2 \beta_i \right) + \left| \sum_{i=1}^d T_{cg_i} \cdot \cos \beta_i \right| \right) \quad (4.31)$$

$$F_y = cond \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cond_i} \cdot \sin \beta_i \right| + cg \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cg_i} \cdot \sin \beta_i \right| \quad (4.32)$$

$$F_z = cond \cdot \sum_{i=1}^d \left( w'_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_{isol_i} \right) + cg \cdot \sum_{i=1}^d \left( w'_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_a \right) \quad (4.33)$$

#### 4.10.4 Apoios de reforço em alinhamento e reforço em ângulo - caso geral

Nos artigos 59º e 60º encontram-se descritas as hipóteses de cálculo para este tipo de apoios, nunca consideradas simultaneamente. Em apoios de reforço em alinhamento e reforço em ângulo, representados na Figura 4.9, poderão existir ações excepcionais, pelo que analisarão ambas: as normais e as excepcionais.

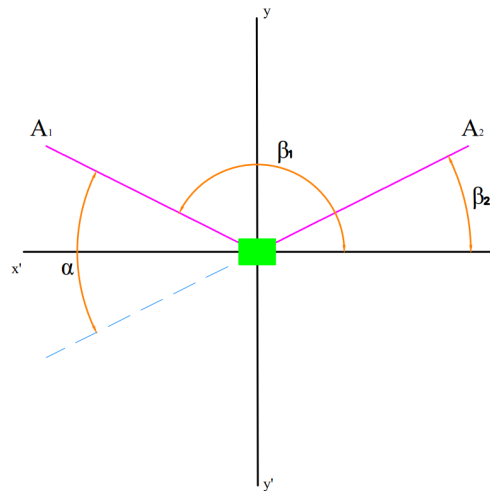


Figura 4.9: Esquema apoios de reforço em alinhamento e reforço em ângulo - caso geral

##### 4.10.4.1 Ações normais

###### • Hipótese 1 [33]

- A sobrecarga de vento atuando, segundo a direção da bissetriz do ângulo, sobre o apoio, as travessas e os isoladores e sobre os condutores e os cabos de guarda nos dois meios vãos adjacentes ao apoio;
- Simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das trações exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda à temperatura de 15°C, com vento atuando segundo a direção da bissetriz do ângulo;
- Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

As fórmulas desta hipótese podem ser consultadas nas expressões 4.34, 4.35 e 4.36:

$$F_x = cond \cdot \left| \sum_{i=1}^2 T_{cond_i} \cdot \cos \beta_i \right| + cg \cdot \left| \sum_{i=1}^2 T_{cg_i} \cdot \cos \beta_i \right| \quad (4.34)$$

$$F_y = cond \cdot \left( \sum_{i=1}^2 \left( w_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} \cdot \cos^2 \beta_i + w_{isol_i} \right) + \sum_{i=1}^2 T_{cond_i} \cdot \sin \beta_i \right) + cg \cdot \left( \sum_{i=1}^2 \left( w_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} \cdot \cos^2 \beta_i \right) + \sum_{i=1}^2 T_{cg_i} \cdot \sin \beta_i \right) \quad (4.35)$$

$$F_z = cond \cdot \sum_{i=1}^2 \left( w'_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_{isol_i} \right) + cg \cdot \sum_{i=1}^2 \left( w'_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_a \right) \quad (4.36)$$

• **Hipótese 2 [33]**

- A força horizontal, de valor igual a dois terços da soma das componentes horizontais das trações máximas unilaterais exercidas por todos os condutores e os cabos de guarda, atuando no eixo do apoio, segundo a direção normal à bissetriz do ângulo, à altura da resultante dessas atrações;
- Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

As fórmulas desta hipótese podem ser consultadas nas expressões 4.37, 4.38 e 4.39:

$$F_x = \frac{2}{3} \cdot (cond \cdot T_{cond_{max}} \cdot \cos \beta + cg \cdot T_{cg_{max}} \cdot \cos \beta)^8 \quad (4.37)$$

$$F_x = \frac{1}{2} \cdot (cond \cdot T_{cond_{max}} \cdot \cos \beta + cg \cdot T_{cg_{max}} \cdot \cos \beta)^9 \quad (4.38)$$

$$F_z = cond \cdot \sum_{i=1}^2 \left( w'_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_{isol_i} \right) + cg \cdot \sum_{i=1}^2 \left( w'_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_a \right) \quad (4.39)$$

#### 4.10.4.2 Ações excepcionais

• **Hipótese 3 [33]**

- Componentes horizontais das trações máximas exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda, considerando a rotura de um qualquer dos condutores ou dos cabos de guarda;
- Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

---

<sup>8</sup>para linhas simples

<sup>9</sup>para linhas duplas, linhas com dois ternos ou linhas de condutores múltiplos

As fórmulas desta hipótese podem ser consultadas nas expressões 4.40, 4.41 e 4.42:

$$F_x = T_{cond_{max}} \cdot \cos\beta + (cond - 1) \cdot \left| \sum_{i=1}^2 T_{cond_{max_i}} \cdot \cos\beta_i \right| + cg \cdot \left| \sum_{i=1}^2 T_{cond_{max_i}} \cdot \cos\beta_i \right| \quad (4.40)$$

$$F_y = T_{cond_{max}} \cdot \sin\beta + (cond - 1) \cdot \left| \sum_{i=1}^2 T_{cond_{max_i}} \cdot \sin\beta_i \right| + cg \cdot \left| \sum_{i=1}^2 T_{cond_{max_i}} \cdot \sin\beta_i \right| \quad (4.41)$$

$$F_z = (cond - 1) \cdot \sum_{i=1}^2 \left( w'_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_{isol_i} \right) + cg \cdot \sum_{i=1}^2 \left( w'_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_a \right) \quad (4.42)$$

#### 4.10.5 Apoios de reforço em derivação - caso geral

No artigo 61º encontram-se descritas as hipóteses de cálculo para este tipo de apoios, nunca consideradas simultaneamente. Em apoios de reforço em derivação, representados na Figura 4.10, poderão existir ações excepcionais, pelo que analisarão ambas: as normais e as excepcionais.

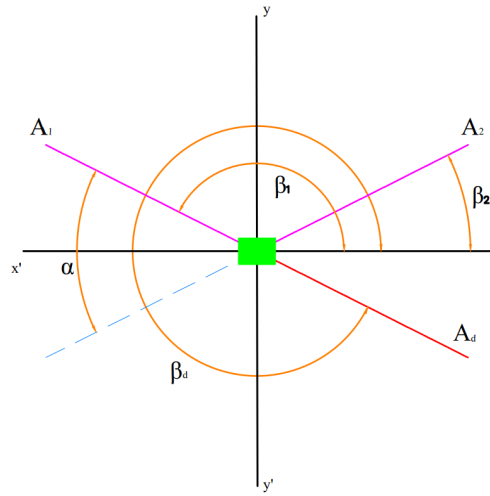


Figura 4.10: Esquema apoios de reforço em derivação - caso geral

##### 4.10.5.1 Ações normais

###### • Hipótese 1 [33]

- A sobrecarga de vento atuando, normalmente à direção da linha principal se o apoio for de alinhamento ou segundo a direção da bissetriz do ângulo da linha principal se o apoio for de ângulo, sobre o apoio, as travessas e os isoladores e os condutores e os cabos de guarda da linha principal nos dois meios vãos adjacentes ao apoio;

- Simultaneamente, a sobrecarga do vento atuando, com a direção anteriormente considerada, sobre os condutores e os cabos de guarda no meio vão adjacente das linhas derivadas;
- Simultaneamente, a resultante das componentes horizontais das trações exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas à temperatura de 15°C, com vento atuando segundo a direção atrás considerada;
- Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas;

As fórmulas desta hipótese podem ser consultadas nas expressões 4.43, 4.44 e 4.45:

$$F_x = cond \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cond_i} \cdot \cos \beta_i \right| + cg \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cg_i} \cdot \cos \beta_i \right| \quad (4.43)$$

$$F_y = cond \cdot \left( \sum_{i=1}^d \left( w_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} \cdot \cos^2 \beta_i + w_{isol_i} \right) + \left| \sum_{i=1}^d T_{cond_i} \cdot \sin \beta_i \right| \right) + cg \cdot \left( \sum_{i=1}^d \left( w_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} \cdot \cos^2 \beta_i \right) + \left| \sum_{i=1}^d T_{cg_i} \cdot \sin \beta_i \right| \right) \quad (4.44)$$

$$F_z = cond \cdot \sum_{i=1}^d \left( w'_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_{isol_i} \right) + cg \cdot \sum_{i=1}^d \left( w'_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_a \right) \quad (4.45)$$

• **Hipótese 2 [33]**

- A força horizontal, de valor igual a dois terços da soma das componentes horizontais das trações máximas unilaterais exercidas por todos os condutores e os cabos de guarda da linha principal, atuando no eixo do apoio e à altura da resultante dessas trações, na direção da linha principal se o apoio for de alinhamento ou na direção normal à bissetriz do ângulo da linha principal se o apoio for de ângulo;
- Simultaneamente, à resultante das componentes horizontais das trações máximas exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda das linhas derivadas;
- Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas;

As fórmulas desta hipótese podem ser consultadas nas expressões 4.46, 4.47 4.48 e 4.49:

$$F_x = \frac{2}{3} \cdot (cond \cdot T_{cond_{max}} \cdot \cos \beta + cg \cdot T_{cg_{max}} \cdot \cos \beta) + cond \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cond_i} \cdot \cos \beta_i \right| + cg \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cg_i} \cdot \cos \beta_i \right|^{10} \quad (4.46)$$



$$F_x = \frac{1}{2} \cdot (cond \cdot T_{cond_{max}} \cdot \cos\beta + cg \cdot T_{cg_{max}} \cdot \cos\beta) + cond \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cond_i} \cdot \cos\beta_i \right| + cg \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cg_i} \cdot \cos\beta_i \right|^{11} \quad (4.47)$$

$$F_y = cond \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cond_i} \cdot \sin\beta_i \right| + cg \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cg_i} \cdot \sin\beta_i \right| \quad (4.48)$$

$$F_z = cond \cdot \sum_{i=1}^d \left( w'_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_{isol_i} \right) + cg \cdot \sum_{i=1}^d \left( w'_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_a \right) \quad (4.49)$$

#### 4.10.5.2 Ações excecionais

##### • Hipótese 3 [33]

- As componentes horizontais da tração máxima exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda, considerando a rotura de um qualquer dos condutores ou dos cabos de guarda;
- Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda da linha principal e das linhas derivadas.

As fórmulas desta hipótese podem ser consultadas nas expressões 4.50, 4.51 e 4.52:

$$F_x = T_{cond_{max}} \cdot \cos\beta + (cond - 1) \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cond_{max_i}} \cdot \cos\beta_i \right| + cg \cdot \left| \sum_{i=1}^d T_{cg_{max_i}} \cdot \cos\beta_i \right| \quad (4.50)$$

$$F_y = T_{cond_{max}} \cdot \sin\beta + (cond - 1) \cdot \sum_{i=1}^d T_{cond_{max_i}} \cdot \sin\beta_i + cg \cdot \sum_{i=1}^d T_{cg_{max_i}} \cdot \sin\beta_i \quad (4.51)$$

$$F_z = (cond - 1) \cdot \sum_{i=1}^d \left( w'_{cond_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_{isol_i} \right) + cg \cdot \sum_{i=1}^d \left( w'_{cg_i} \cdot \frac{A_i}{2} + w'_a \right) \quad (4.52)$$

<sup>10</sup>para linhas simples

<sup>11</sup>para linhas duplas, linhas com dois ternos ou linhas de condutores múltiplos

#### 4.10.6 Apoios de fim de linha - caso geral

No artigo 62º encontram-se descritas as hipóteses de cálculo para este tipo de apoios, nunca consideradas simultaneamente. Em apoios de fim de linha, representados na Figura 4.11, poderão existir ações excepcionais, pelo que analisarão ambas: as normais e as excepcionais.

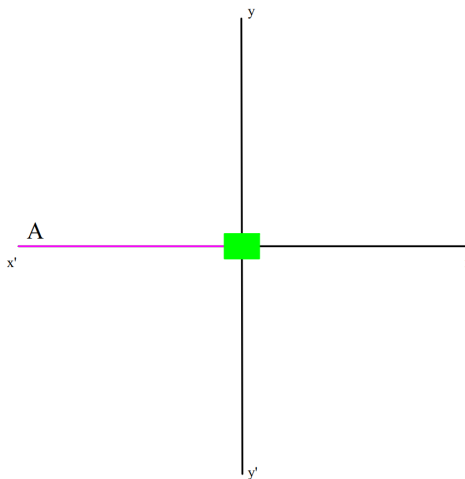


Figura 4.11: Esquema apoios de fim de linha - caso geral

##### 4.10.6.1 Ações normais

###### • Hipótese 1 [33]

- A sobrecarga de vento atuando, normalmente à direção da linha, sobre o apoio, as travessas e os isoladores e sobre os condutores e os cabos de guarda no meio vão adjacente ao apoio;
- Simultaneamente, a resultante das trações exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda à temperatura de 15°C, com vento atuando segundo a direção atrás considerada;
- Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

As fórmulas desta hipótese podem ser consultadas nas expressões 4.53, 4.54 e 4.55:

$$F_x = cond \cdot T_{cond} + cg \cdot T_{cg} \quad (4.53)$$

$$F_y = cond \cdot \left( w_{cond} \cdot \frac{A}{2} + w_{isol} \right) + cg \cdot w_{cg} \cdot \frac{A}{2} \quad (4.54)$$

$$F_z = cond \cdot \left( w'_{cond} \cdot \frac{A}{2} + w'_{isol} \right) + cg \cdot \left( w'_{cg} \cdot \frac{A}{2} + w'_a \right) \quad (4.55)$$

#### 4.10.6.2 Ações excecionais

- **Hipótese 2 [33]**

- As componentes horizontais das trações máximas exercidas pelos condutores e pelos cabos de guarda, considerando a rotura de um qualquer dos condutores ou dos cabos de guarda;
- Simultaneamente, o peso próprio do apoio, das travessas, dos isoladores, dos condutores e dos cabos de guarda.

As fórmulas desta hipótese podem ser consultadas nas expressões 4.56, 4.57 e 4.58:

$$F_x = T_{cond_{max}} \cdot \cos\beta + (cond - 1) \cdot \left| \sum_{i=1}^2 T_{cond_{max_i}} \cdot \cos\beta_i \right| + cg \cdot \left| \sum_{i=1}^2 T_{cg_{max_i}} \cdot \cos\beta_i \right| \quad (4.56)$$

$$F_y = T_{cond_{max}} \cdot \sin\beta + (cond - 1) \cdot \sum_{i=1}^2 T_{cond_{max_i}} \cdot \sin\beta_i + cg \cdot \sum_{i=1}^2 T_{cg_{max_i}} \cdot \sin\beta_i \quad (4.57)$$

$$F_z = (cond - 1) \cdot \left( w'_{cond} \cdot \frac{A}{2} + w'_{isol} \right) + cg \cdot \left( w'_{cg} \cdot \frac{A}{2} + w'_a \right) \quad (4.58)$$

### 4.11 Distâncias mínimas regulamentares

Na secção IV do RSLEAT, são contempladas as distâncias de segurança para que não ocorram contactos acidentais com a linha em projeto, sendo estabelecidas de forma a que as linhas não sejam alcançáveis, sem meios especiais, de quaisquer lugares acessíveis a pessoas<sup>12</sup>. Esta distância mínima é também influenciada por  $U$ , a tensão nominal da linha, em kV.

Durante a fase de levantamento topográfico são identificados todas os elementos capazes de condicionar o traçado e/ou a altura da linha, que depois são tidos em conta durante a fase de projeto, regendo-se pelas normas do RSLEAT.

#### 4.11.1 Distância dos condutores ao solo

O presente regulamento refere, no artigo 27º, que se deverá observar, nas condições de flecha máxima, com os condutores desviados ou não pelo vento, entre os condutores nus e o solo, uma distância  $D$ , arredondada ao décímetro, não inferior à expressão 4.59:

$$D = 6,0 + 0,005 \cdot U \quad (m) \quad (4.59)$$

---

<sup>12</sup>artigo 26º - RSLEAT

#### 4.11.2 Distância dos condutores às árvores

O presente regulamento refere, no artigo 28º, que se deverá observar, nas condições de flecha máxima, com os condutores desviados ou não pelo vento, entre os condutores nus e as árvores, uma distância  $D$ , arredondada ao decímetro, não inferior à expressão 4.60:

$$D = 2,0 + 0,0075 \cdot U \text{ (m)} \quad (4.60)$$

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a 2,5 m.

É efetuado o corte e decote de árvores ao longo da linha, numa faixa de serviço definida com 5 metros de largura, dividida ao meio pelo eixo da linha.

Existe ainda uma faixa de proteção, de forma a garantir a segurança de exploração das linhas, com uma largura máxima de:

- 15 metros, para linhas de 2ª classe;
- 25 metros, para linhas de 3ª classe de tensão nominal igual ou inferior a 60 kV;
- 45 metros, para linhas de 3ª classe de tensão nominal superior a 60 kV.

#### 4.11.3 Distância dos condutores aos edifícios

O presente regulamento refere, no artigo 29º, que se deverá observar, nas condições de flecha máxima, com os condutores desviados ou não pelo vento, entre os condutores nus e qualquer parte saliente suscetível de ser escalada por pessoas em edifícios, uma distância  $D$ , arredondada ao decímetro, não inferior à expressão 4.61:

$$D = 3,0 + 0,0075 \cdot U \text{ (m)} \quad (4.61)$$

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a 4 m.

#### 4.11.4 Distância dos condutores a obstáculos diversos

O presente regulamento refere, no artigo 30º, que se deverá observar, nas condições de flecha máxima, com os condutores desviados ou não pelo vento, entre os condutores nus e qualquer parte saliente suscetível de ser escalado por pessoas em edifícios, caso se localize a uma cota superior a 3 metros, uma distância  $D$ , arredondada ao decímetro, não inferior à expressão 4.62:

$$D = 2,0 + 0,0075 \cdot U \text{ (m)} \quad (4.62)$$

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a 3 m.

#### 4.11.5 Distância entre os condutores

O presente regulamento refere, no artigo 31º, que se deverá observar, atendendo às oscilações provocadas pelo vento, entre os condutores nus, de forma a não se poderem aproximar perigosamente, uma distância  $D$ , arredondada ao decímetro, não inferior às expressões 4.63 e 4.64:

$$D = 0,75 \cdot k \cdot \sqrt{f+d} + \frac{U}{200} \text{ (m)}^{13} \quad (4.63)$$

$$D = k \cdot \sqrt{f+d} + \frac{U}{150} \text{ (m)}^{14} \quad (4.64)$$

Onde:

- $f$  - Flecha do condutor [m];
- $d$  - comprimento das cadeias de isoladores suscetíveis de oscilarem transversalmente [m];
- $k$  - coeficiente dependente do tipo de condutor:
  - 0,6 - condutores de cobre, bronze, aço e alumínio-aço;
  - 0,7 - condutores de alumínio e de ligas de alumínio.

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a 0,45 m, para linhas de 2ª classe e de 1 cm/kV, com um mínimo de 0,5 m, para as linhas de 3ª classe.

#### 4.11.6 Distância entre os condutores e os cabos de guarda

O presente regulamento refere, no artigo 32º, que a distância entre os condutores e os cabos de guarda, próximo das fixações dos apoios, não deverá ser inferior à distância entre condutores calculada segundo as fórmulas descritas na secção 4.11.5.

#### 4.11.7 Distância entre os condutores e os apoios

O presente regulamento refere, no artigo 33º, que se deverá observar esta distância em duas hipóteses distintas:

- Condutores em repouso, à temperatura mais desfavorável;
- Condutores desviados sob a ação do vento, considerando metade da pressão dinâmica do vento máximo habitual, à temperatura de 15°C.

---

<sup>13</sup>para linhas de 2ª classe

<sup>14</sup>para linhas de 3ª classe

Deve então ser considerada uma distância  $D$ , arredondada ao décímetro, não inferior às expressões 4.65 e 4.66:

$$D = 0,10 + 0,0065 \cdot U \text{ (m)}^{15} \quad (4.65)$$

$$D = 0,0065 \cdot U \text{ (m)}^{16} \quad (4.66)$$

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a 0,15 m.

#### 4.11.8 Distância dos condutores às estradas

O presente regulamento refere, nos artigos 91º e 92º, que se deverá observar, nas condições de flecha máxima, entre os condutores e as estradas, uma distância  $D$ , arredondada ao décímetro, não inferior à expressão 4.67:

$$D = 6,0 + 0,01 \cdot U \text{ (m)} \quad (4.67)$$

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a 7 m.

#### 4.11.9 Distância dos condutores aos cursos de água não navegáveis

O presente regulamento refere, no artigo 93º, que se deverá observar, nas condições de flecha máxima, entre os condutores e o mais alto nível das águas, uma distância  $D$ , arredondada ao décímetro, não inferior à expressão 4.68:

$$D = 6,0 + 0,005 \cdot U \text{ (m)} \quad (4.68)$$

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a 6 m.

#### 4.11.10 Distância dos condutores aos cursos de água navegáveis

O presente regulamento refere, no artigo 94º, que se deverá observar, nas condições de flecha máxima, entre os condutores e o mais alto nível das águas, uma distância  $D$ , arredondada ao décímetro, não inferior à expressão 4.69:

$$D = 1,5 + 0,005 \cdot U + h \text{ (m)} \quad (4.69)$$

Onde:

- $h$  - maior altura dos barcos que passam no local, medida acima do nível das águas [m].

---

<sup>15</sup>para condutores em repouso

<sup>16</sup>para condutores nus desviados pelo vento

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a  $2 + h$  m.

#### 4.11.11 Distância dos condutores a teleféricos

O presente regulamento refere, no artigo 95º, que se deverá observar, nas condições mais desfavoráveis, entre os condutores e as instalações dos teleféricos, uma distância  $D$ , arredondada ao decímetro, não inferior à expressão 4.70:

$$D = 3,3 + 0,01 \cdot U \text{ (m)} \quad (4.70)$$

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a 4 m.

#### 4.11.12 Distância dos condutores a caminhos de ferro não eletrificados

O presente regulamento refere, no artigo 100º, que se deverá observar, nas condições de flecha máxima, entre os condutores e os carris, uma distância  $D$ , arredondada ao decímetro, não inferior à expressão 4.71:

$$D = 6,3 + 0,01 \cdot U \text{ (m)} \quad (4.71)$$

Já no artigo 103º é definido a distância horizontal mínima de 5 m entre os apoios da linha e a zona do caminho de ferro.

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a 7 m.

#### 4.11.13 Distância dos condutores a caminhos de ferro com eletrificação prevista

O presente regulamento refere, no artigo 101º, que se deverá observar, nas condições de flecha máxima, entre os condutores e os carris, uma distância  $D$ , arredondada ao decímetro, não inferior à expressão 4.72:

$$D = 11 + 0,01 \cdot U + 0,005 \cdot L_{eixo} \text{ (m)} \quad (4.72)$$

Onde:

- $L_{eixo}$  - menor das distâncias dos apoios da linha ao eixo da via [m].

Já no artigo 103º é definido a distância horizontal mínima de 5 m entre os apoios da linha e a zona do caminho de ferro.

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a 13,5 m.

#### 4.11.14 Distância dos condutores à instalação da linha de contacto

O presente regulamento refere, no artigo 102º, que se deverá observar, nas condições de flecha máxima, entre os condutores e a linha de contacto, uma distância  $D$ , arredondada ao decímetro,

não inferior à expressão 4.73:

$$D = 1,5 + 0,01 \cdot U + 0,005 \cdot L_{eixo} \text{ (m)} \quad (4.73)$$

Onde:

- $L_{eixo}$  - distância entre o ponto de cruzamento e o apoio mais próximo da linha [m].

Já no artigo 103º é definido a distância horizontal mínima de 5 m entre os apoios da linha e a zona da linha de contacto.

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a 3 m.

#### 4.11.15 Distância entre linhas

O presente regulamento refere, no artigo 109º, que se deverá observar, nas condições de flecha mais desfavoráveis, no cruzamento entre linhas AT, MT e BT, uma distância  $D$ , arredondada ao decímetro, não inferior à expressão 4.74:

$$D = 1,5 + 0,01 \cdot U + 0,005 \cdot L_{eixo} \text{ (m)} \quad (4.74)$$

Onde:

- $L_{eixo}$  - distância entre o ponto de cruzamento e o apoio mais próximo da linha [m].

O valor de  $D$  não deverá ser inferior a 2 m.

#### 4.11.16 Distância entre condutores da linha inferior e apoios da linha superior

O presente regulamento refere, no artigo 110º, que se deverá observar, nas condições de flecha mais desfavoráveis, com os condutores desviados ou não pelo vento, no cruzamento entre linhas AT, MT e BT, uma distância  $D$ , entre os condutores da linha que passa inferiormente e os apoios da linha que passa superiormente, arredondada ao decímetro, não inferior à expressão 4.75:

$$D = 2 + 0,0075 \cdot U \text{ (m)} \quad (4.75)$$

#### 4.11.17 Distância entre condutores e linhas de telecomunicação

O presente regulamento refere, no artigo 113º, que a distância entre os condutores e linhas de telecomunicação, não deverá ser inferior à distância entre condutores calculada segundo as fórmulas descritas na secção 4.11.15.

Já no artigo 114º é definido que os apoios não deverão ser colocados a uma distância inferior a 2 m das linhas de telecomunicação.



### 4.11.18 Valores de referência em prática

A E-Redes assume valores mais conservativos, tendo por base as distâncias mínimas regulamentares descritas anteriormente. Na Tabela 4.5 encontram-se espelhadas as distâncias mínimas recomendadas para MT e AT pelo operador da RND, as quais podem ser também consultadas no documento de protocolos de ensaios para linhas aéreas de MT e AT [16].

| Obstáculo                                        | Distância mínima recomendada MT [m] | Distância mínima recomendada AT [m]            | Distância horizontal dos apoios ao obstáculo [m] | Ângulo mínimo de cruzamento [grados] |
|--------------------------------------------------|-------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Ao solo                                          | 7                                   | 8                                              |                                                  |                                      |
| Às árvores                                       | 2,5                                 | 3,5                                            |                                                  |                                      |
| Aos edifícios                                    | 4                                   | 5                                              |                                                  |                                      |
| A obstáculos diversos                            | 3                                   | 8                                              |                                                  |                                      |
| Entre condutores                                 | 0,45                                | 0,5                                            |                                                  |                                      |
| Entre condutores e cabos de guarda               | 0,45                                | 0,5                                            |                                                  |                                      |
| Aos apoios                                       | 0,15                                | 0,5 (em repouso)<br>0,4 (desviados pelo vento) |                                                  |                                      |
| Às estradas                                      | 7                                   | 9 a 10                                         | 5 (AE, IP, IC)<br>3 (outras vias de comunicação) |                                      |
| Aos cursos de água não navegáveis                | 7                                   | 8                                              |                                                  |                                      |
| Aos cursos de água navegáveis                    | 2 + h                               | 2 + h                                          |                                                  |                                      |
| Aos teleféricos                                  | 4                                   | 5                                              |                                                  |                                      |
| Aos caminhos-de-ferro não electrificados         | 7                                   | 7                                              | 5                                                | 16,7                                 |
| Aos caminhos-de-ferro c/ electrificação prevista | 13,5                                | 13,5                                           | 5                                                | 16,7                                 |
| À linha de contacto                              | 3                                   | 3                                              | 5                                                | 16,7                                 |
| Às linhas AT/MT/BT                               | 2                                   | 3                                              |                                                  |                                      |
| Aos apoios da linha superior                     | -                                   | 3                                              |                                                  |                                      |
| Às linhas de telecomunicações (cruz. superior)   | 2                                   | 3                                              | 2 - linhas MT<br>3 - linhas AT                   | 16,7                                 |

Tabela 4.5: Distâncias mínimas recomendadas E-Redes

## 4.12 Particularidades de vãos em suspensão

Quando existem cantões numa linha, ou seja, são incorporados vãos em suspensão, é necessária a realização de alguns estudos adicionais para verificar a estabilidade da linha, tais como a análise do desvio transversal das cadeias de isoladores, o ângulo dos condutores nas cadeias e a existência de apoios enforcados, sendo necessário tomar medidas adicionais, nesses casos.

### 4.12.1 Desvio transversal das cadeias de isoladores

Por as cadeias se encontrarem em suspensão, a força do vento toma aqui um papel importante, visto haver um deslocamento lateral, sendo necessário assegurar o correto distanciamento aos apoios. O desvio transversal causado pelo vento,  $\delta$ , representado na Figura 4.12, depende das forças do vento sobre o condutor e a cadeia e dos pesos específicos da cadeia de isoladores e do condutor, segundo a expressão 4.76:

$$\delta = \tan^{-1} \left( \frac{F_{vento_{cond}} + \frac{F_{vento_{isol}}}{2}}{p_{cond} + \frac{p_{isol}}{2}} \right) \text{ (grados)} \quad (4.76)$$

Onde:

- $F_{vento_{cond}}$  - Força do vento sobre o condutor [ $daN$ ];
- $F_{vento_{isol}}$  - Força do vento sobre a cadeia de isoladores [ $daN$ ];
- $p_{cond}$  - Peso específico do condutor [ $daN$ ];
- $p_{isol}$  - Peso específico da cadeia de isoladores [ $daN$ ];

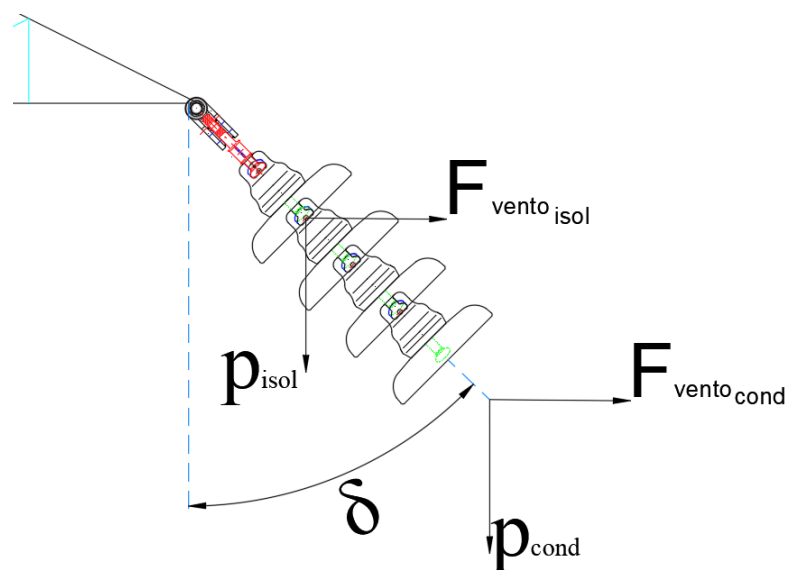


Figura 4.12: Desvio transversal de uma cadeia de isoladores

Para este tipo de desvio também se tornam importantes os conceitos de vão em patamar e vão em desnível, pois, no segundo caso, o peso do condutor a suportar pelo apoio, e, respetivamente, pela cadeia de isoladores, é maior.

#### 4.12.2 Ângulo de condutores nos acessórios de fixação

Em cadeias de suspensão, o ângulo máximo que deve ser formado no acessório de fixação, de modo que o cabo não sofra uma inflexão, nesse ponto, é de 167 graus [10]. O cálculo desse mesmo ângulo está presente na Figura 4.13 e é dado pela expressão 4.77:

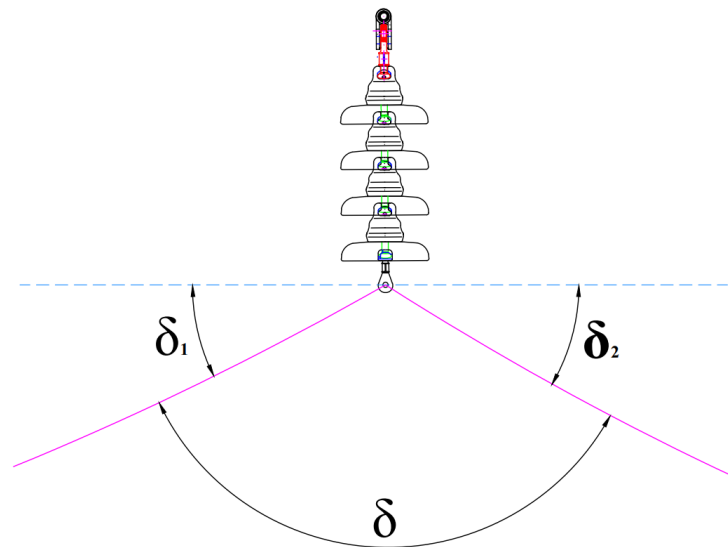


Figura 4.13: Ângulo condutor nos acessórios de fixação

$$\delta = 200 - (\delta_1 + \delta_2) \text{ (grados)} \quad (4.77)$$

Onde:

- $\delta_1$  - Ângulo entre o plano horizontal e o cabo condutor, do lado a montante da cadeia [grados];
- $\delta_2$  - Ângulo entre o plano horizontal e o cabo condutor, do lado a jusante da cadeia [grados].

A contribuição a montante e a jusante dos acessórios de fixação está expressa na expressão 4.78.

$$\tan \delta_i = \frac{h \pm 4 \cdot f}{L}, \text{ com } i = 1; 2 \text{ (grados)} \quad (4.78)$$

Onde:

- $h$  - Altura, medida pelo ponto de fixação do condutor [ $m$ ];
- $f$  - Flecha do condutor [ $m$ ];
- $L$  - Comprimento do vão [ $m$ ].

### 4.12.3 Apoio enforcado

Por vezes, num apoio de suspensão com um alto declive face aos seus vãos subjacentes, as cadeias de isoladores ficam sujeitas a forças ascendentes, por norma, no estado de flecha mínima, o inverno, havendo, então, a possibilidade de enforcamento da cadeia, como se pode ver na Figura 4.14.

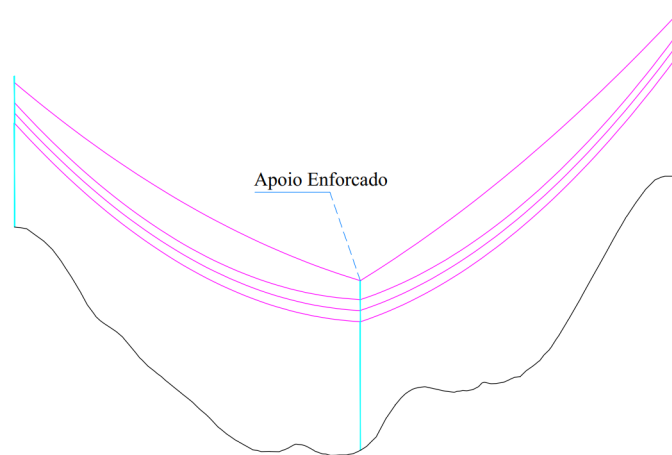


Figura 4.14: Apoio Enforcado

Neste tipo de situações é norma a troca da cadeia de suspensão por uma de amarração [34], colocando-a também no sentido ascendente, isto é, os isoladores são invertidos face à sua disposição habitual, de forma a melhor proteger os isoladores da acumulação de águas e poeiras.

## Capítulo 5

# Software de cálculo desenvolvido

Após a análise teórica, imprescindível para o bom funcionamento de uma ferramenta desta tipologia, neste capítulo foi explorado o *software* desenvolvido no decorrer da dissertação, com a finalidade de otimizar o processo de cálculo de linhas de transmissão de energia elétrica de MT e AT, reduzir o risco de erros e agilizar o projeto.

### 5.1 Escolha do programa de desenvolvimento do *software*

Existem inúmeras ferramentas no mercado cujo objetivo é o cálculo mecânico de linhas aéreas, tais como o *PLS-CADD*, já referido anteriormente, o *SIT-DM*, ferramenta usada pela E-Redes, ou o *CLinhas*, este último gratuito e de livre utilização. Estas ferramentas permitem verificar a estabilidade da linha em projeto e exportar o traçado da mesma em formato vetorial.

No entanto, o *PLS-CADD* é uma ferramenta paga e o *SIT-DM* é uma ferramenta proprietária e de uso exclusivo pela operadora da RND. Já o *CLinhas* apenas verifica se o apoio selecionado cumpre os requisitos no que respeita aos seus esforços máximos, impossibilitando o dimensionamento automático dos apoios, criando uma necessidade de desenvolvimento de um *software* gratuito que o fizesse.

O programa escolhido para o desenvolvimento desta ferramenta foi o *Microsoft Excel*, visto oferecer uma interface fácil de utilizar, permitir o desenvolvimento do algoritmo necessário e, ao mesmo tempo, tirar proveito de código *VBA*, *Visual Basic for Applications*, uma linguagem de programação que permite a criação de macros<sup>1</sup> e a automatização de processos.

#### 5.1.1 Vantagens e desvantagens do programa *Microsoft Excel*

Esta ferramenta é de fácil interface, intuitiva e permite ao utilizador o desenvolvimento de algoritmos matemáticos sem necessidade de conhecimentos sobre programação. Permite ainda a exportação dos resultados em formato PDF, caso o utilizador o queira.

---

<sup>1</sup> Abreviatura de macroinstruções, designam-se por uma série de comandos e instruções que permitem agrupar, num único comando, a realização de tarefas de modo automático.

Ao aproveitar-se das funcionalidades do *VBA*, implementada em todas as aplicações da *Microsoft*, este oferece uma maior liberdade ao projetista de criar e desenvolver funcionalidades de auxílio ao utilizador final da aplicação, bem como eliminar tarefas repetitivas, que podem ser substituídas por macros.

Ainda assim, o *Microsoft Excel* não permite a exportação do traçado da linha em formato vetorial, pelo que se apresenta como uma limitação face aos outros programas mencionados.

## 5.2 Esquema da Aplicação

De modo a uma melhor compreensão da ferramenta desenvolvida, apresenta-se na Figura 5.1 a linha condutora da mesma.

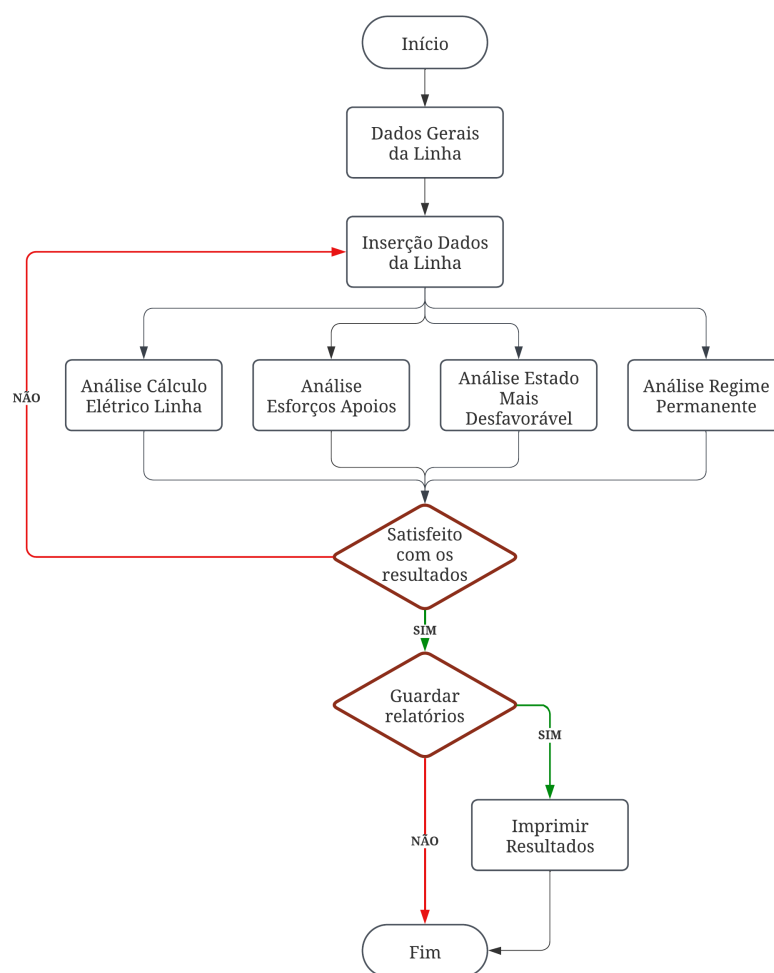


Figura 5.1: Fluxograma da ferramenta *Excel* desenvolvida

### 5.3 Bases de dados utilizadas

Como base para todos os cálculos realizados, existem cinco folhas de bases de dados, ocultas no *Excel*, que se apresentam de seguida:

- Cabos - foram usados os cabos normalizados e tipicamente utilizados em linhas de MT e AT, presentes na folha *Cabos E-Redes*;
- Isoladores - foram usados os isoladores normalizados e tipicamente utilizados em linhas de MT e AT, presentes na folha *Isoladores*;
- Armações - foram usadas as armações normalizadas e tipicamente utilizadas em linhas de MT e AT, já referenciadas na secção 2.3.5, presentes na folha *Armações*; nesta base de dados é calculada a distância geométrica entre fases de cada tipo de armação, segundo as fórmulas apresentadas na secção 3.7, bem como a distância do seu último condutor ao topo do apoio;
- Apoios de betão armado - foram utilizados os apoios constantes do catálogo da Cavan [37], presentes na folha *PBetão*;
- Apoios metálicos - foram utilizados os apoios constantes do catálogo da Metalgalva [32], presentes na folha *PFerro*; foram calculados nesta folha os esforços máximos dos apoios metálicos, através das hipóteses de cálculo apresentadas no mesmo catálogo, apresentando-se o modo de cálculo na secção 5.4.

Todas as bases de dados podem ser consultadas nos anexos A a E.

### 5.4 Cálculo Esforços Máximos - Apoios Metálicos

Nos apoios de betão, presentes no catálogo Cavan, é apresentada a equação da linha vetorial do cálculo do coeficiente de esforço, tal como se pode visualizar na Figura 5.2.

$$\text{com vento } q = 750 \text{ Pa na direcção Principal} \\ F_{vp} / 4000 + F_{svp} / 2000 = 1$$

$$\text{com vento } q = 750 \text{ Pa na direcção Secundária} \\ F_{pvs} / 3346 + F_{svs} / 1673 = 1$$

$$\text{com vento } q = 900 \text{ Pa na direcção Principal} \\ F_{vp} / 3876 + F_{svp} / 1938 = 1$$

$$\text{com vento } q = 900 \text{ Pa na direcção Secundária} \\ F_{pvs} / 2925 + F_{svs} / 1462 = 1$$

Figura 5.2: Equações de cálculo dos apoios AK06/4000 e MK06/4000 [37]

Já nos apoios metálicos, esta equação não é apresentada de forma clara e direta, sendo apresentadas várias condições de utilização, como se observa na Figura 5.3.

**Acções dos Cabos[daN]**

| Artº<br>RSLEAT   | Hip. de<br>Cálc. | Coef. de<br>Seg. | Ft0  | Ft0  | Fv0 | Ft1  | Ft1  | Fv1 | Ft(i) | Ft(i) | Fv(i) |
|------------------|------------------|------------------|------|------|-----|------|------|-----|-------|-------|-------|
| Ref. Âng.<br>60° | Hip. 1           | 1,50             | 1446 | 123  | 343 | 2525 | 49   | 784 | 2525  | 49    | 784   |
| 60°              | Hip. 3           | 1,25             | 1054 | 123  | 343 | 1078 | 2941 | 490 | 2034  | 49    | 784   |
| 60°              | Hip. 3           | 1,25             | 539  | 1530 | 245 | 2034 | 49   | 784 | 2034  | 49    | 784   |
| F. Linha<br>62°  | Hip. 1           | 1,50             | 172  | 1250 | 245 | 245  | 2402 | 490 | 245   | 2402  | 490   |
| 62°              | Hip. 2           | 1,25             | 0    | 1250 | 245 | 0    | 2941 | 490 | 0     | 2490  | 490   |
| 62°              | Hip. 2           | 1,25             | 0    | 1530 | 245 | 0    | 2490 | 490 | 0     | 2490  | 490   |

i=2,3

Figura 5.3: Condições de utilização do apoio F95CA [32]

Assim, e de forma a serem calculados os esforços máximos para os apoios metálicos, foram feitos os seguintes cálculos:

- Para cada condição de utilização, foi feito o somatório das contribuições de cada braço para a força exercida naquele plano, a partir das expressões 5.1, para apoios simples, e 5.2, para apoios duplos:

$$F_j = \sum_{i=0}^3 F_{ji}, \text{ com } j = t, v \text{ e } l \text{ (daN)} \quad (5.1)$$

$$F_j = \sum_{i=0}^6 F_{ji}, \text{ com } j = t, v \text{ e } l \text{ (daN)} \quad (5.2)$$

- Após o somatório anterior, entre todas as condições de utilização apresentadas para aquele apoio, aceitou-se o máximo valor dos somatórios efetuados anteriormente, para cada uma das forças  $F_t$ ,  $F_v$  e  $F_l$  calculadas, como o esforço máximo do apoio naquele plano ortogonal.

## 5.5 Funcionalidades da ferramenta de cálculo

Como referenciado no *Excel* desenvolvido, as folhas de inserção de dados são apenas as folhas *Dados Gerais* e *Esforços Apoios*, sendo as restantes apenas de consulta dos cálculos realizados, como se poderá depreender ao longo deste capítulo.

Após o preenchimento dos dados poderão ser analisadas várias folhas de dados, que serão descritas na secção 5.6, tais como:

- *Esforços Apoios* - além de ser nesta folha que são inseridos todos os dados relativos à fisionomia da linha, como, por exemplo, os vãos e as trações, aqui poderá ser analisado qual



o apoio calculado, bem como possibilita a interação do utilizador, sendo possível escolher outro apoio, de modo a poder realizar a comparação com o apoio calculado;

- *Cálculo Elétrico* - folha onde é feita a análise da componente elétrica da linha, conforme o método de cálculo referido no capítulo 3, de modo a assegurar a segurança de bens e pessoas; funciona através dos *inputs* feitos nas folhas de inserção de dados;
- *Regime Permanente\_Kuipers-Brown* - através dos dados inseridos na folha *Dados Gerais*, esta folha calcula a capacidade máxima de transporte, pelo modelo de Kuipers-Brown;
- *Estado + Desfavoravel cond* - é analisado qual o estado mais crítico para o condutor naquele vão, de forma a perceber qual o estado em que os apoios serão sujeitos a maiores solicitações externas;
- *Estado + Desfavoravel cg* - é analisado qual o estado mais crítico para o cabo de guarda naquele vão, de forma a perceber qual o estado em que os apoios serão sujeitos a maiores solicitações externas;
- *Relatório Técnico* - Quando estiver terminada a análise dos esforços nos apoios e o resultado for satisfatório, esta folha pode ser consultada de modo a analisar os elementos gerais da linha.

Apesar de não ter ligação direta com as restantes folhas, é ainda possível analisar mais uma funcionalidade, sendo ela:

- *Vão Equivalente* - O utilizador pode calcular o vão equivalente, quer ele seja em patamar ou em desnível, a partir de uma interface simples e intuitiva.

## 5.6 Análise da ferramenta de cálculo

Nesta secção será feita a análise das várias folhas do *Excel*, de forma a entender melhor o seu funcionamento.

Este *software* é composto por três tipos de folhas:

- As visíveis, estando disponíveis para o utilizador interagir livremente;
- As ocultas, não necessitando de ocupar o espaço de trabalho do utilizador encontram-se ocultas, no entanto, estão disponíveis para serem consultadas, bastando desocultá-las;
- As invisíveis, sendo essas as folhas ocultas por macro, não necessitando o utilizador de as consultar para o bom funcionamento da ferramenta de cálculo, não sendo possível desocultá-las (sem recurso ao painel de macros, protegido por *password*).

Todas as folhas visíveis encontram-se protegidas, de forma a salvaguardar as mesmas, apenas estando os valores visíveis ao utilizador. As únicas células que não se encontram protegidas são aquelas que requerem intervenção direta do utilizador.

É de salientar que todo o *software* foi dimensionado para linhas com até 75 apoios, estando essa parametrização espelhada em todas as folhas. Para facilitar a organização e percepção deste documento, tentou-se sempre priorizar a boa visualização das tabelas, em detrimento da totalidade das mesmas.

### 5.6.1 Folha *Início*

A folha *Início*, representada na Figura 5.4 caracteriza-se por ser sempre a primeira a brindar o utilizador quando este abre o programa.

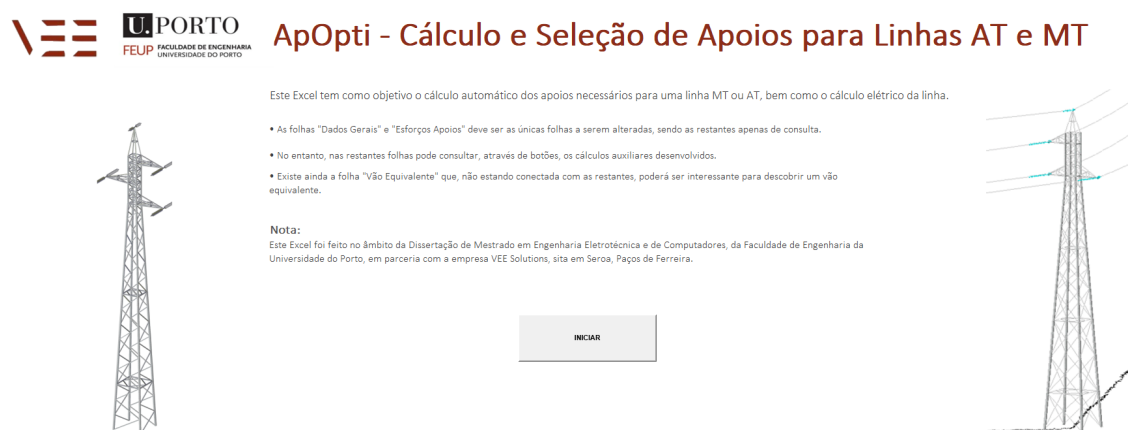


Figura 5.4: Folha *Início* da ferramenta de cálculo

Tem uma interface simples e intuitiva, guiando o utilizador pela aplicação através do botão *Iniciar*. Contém informações importantes ao bom funcionamento da ferramenta. Identifica ainda o nome da ferramenta: *ApOpti*.

### 5.6.2 Folha *Dados Gerais*

Após o utilizador dar o comando para iniciar, é direcionado para a segunda folha, *Dados Gerais*. Esta folha pode ter duas interfaces, mediante a escolha do utilizador de uma linha com derivação ou sem derivação, estando essas presentes nas Figuras 5.5 e 5.6.

| Introdução Dados Gerais Linha |                              | APAGAR                    |                                |          |
|-------------------------------|------------------------------|---------------------------|--------------------------------|----------|
| Condutor:                     | BEAR 325 ( 264-AL1/62-ST1A ) | Adicionar<br>Novo<br>Cabo | Tipo Linha                     | AT       |
| Ternos:                       | Simplex                      |                           | Tipo Tensão [kV]               | 60 kV    |
| Cabo guarda:                  | GUINEA 130 ( 80AL1/47-ST1A ) |                           | Potência a Alimentar [MVA]     | 50 MVA   |
| Número Cabos Guarda:          | 1                            |                           | Cos $\varphi$                  | 1        |
| Isolador Pretendido:          | 6x U70BS                     |                           | Altura da Linha [m]            | < 30     |
| Linha c/ derivação            | Não                          |                           | Pressão Dinâmica do Vento [Pa] | 750 Pa   |
|                               |                              |                           | Margem de Segurança Apoios [%] | 0%       |
|                               |                              |                           | Zona Gelo                      | s/ gelo  |
|                               |                              |                           |                                | Seguinte |

Figura 5.5: Folha *Dados Gerais* da ferramenta de cálculo - sem derivação

| Introdução Dados Gerais Linha |                                  | APAGAR                    |                                |         |
|-------------------------------|----------------------------------|---------------------------|--------------------------------|---------|
| Condutor:                     | BEAR 325 ( 264-AL1/62-ST1A )     | Adicionar<br>Novo<br>Cabo | Tipo Linha                     | AT      |
| Ternos:                       | Simples                          |                           | Tipo Tensão [kV]               | 60 kV   |
|                               |                                  |                           | Potência a Alimentar [MVA]     | 50 MVA  |
| Cabo guarda:                  | GUINEA 130 ( 80AL1/47-ST1A )     |                           | Cos $\varphi$                  | 1       |
| Número Cabos Guarda:          | 1                                |                           | Altura da Linha [m]            | < 30    |
| Isolador Pretendido:          | 6x U70BS                         |                           | Pressão Dinâmica do Vento [Pa] | 750 Pa  |
| Linha c/ derivação            | Sim                              |                           | Margem de Segurança Apoios [%] | 0%      |
|                               |                                  |                           | Zona Gelo                      | s/ gelo |
| Seguinte                      |                                  |                           |                                |         |
| Condutor derivação:           | PARTRIDGE 160 ( 136AL1/22-ST1A ) |                           |                                |         |
| Número Condutores:            | 3                                |                           |                                |         |
| Cabo guarda derivação:        | GUINEA 130 ( 80AL1/47-ST1A )     |                           |                                |         |
| Número Cabos Guarda:          | 1                                |                           |                                |         |

Figura 5.6: Folha *Dados Gerais* da ferramenta de cálculo - com derivação

Esta folha é de extrema importância, pois será a partir dela que se irão recolher dados fundamentais para os cálculos a realizar, pelo que o seu correto preenchimento é crucial.

### 5.6.2.1 Formatações condicionais

De forma a ajudar o utilizador a preencher corretamente esta folha, são introduzidas algumas formatações condicionais que se descrevem de seguida:

- Todas as células estão a amarelo claro indicando que devem ser preenchidas, mudando de cor quando o utilizador introduzir informação;
- Após o tipo de linha - MT ou AT - escolhido, quando for seleccionar o isolador, caso escolha um não concordante<sup>2</sup>, esse vai ser realçado a amarelo fluorescente;
- Quando escolher o campo *Tipo linha*, o campo *Tipo de Tensão* será automaticamente preenchido: com 60 kV, no caso de linhas AT, e 30 kV, no caso de linhas MT, sendo que, neste caso último, o utilizador poderá escolher, recorrendo a uma lista suspensa, os restantes níveis de tensão MT;
- De modo a fazer cumprir o RSLEAT, quando escolher a *Altura da Linha*, caso seja seleccionada a opção "< 30", o campo *Pressão Dinâmica do Vento* será automaticamente preenchido com 750 Pa, e para a opção "entre 30 e 50", 900 Pa. Não foi considerada neste *software* a opção de "> 50" ou 1050 Pa pela falta de solicitações nominais dos eixos *x*, *y* e *z* dos apoios considerados.

<sup>2</sup>não concordante, neste caso, significa seleccionar 3 isoladores para uma linha AT, onde se deve preconizar 6 isoladores.

### 5.6.2.2 Validações de dados

Foi também introduzida validação de dados em alguns campos, de forma a limitar os valores inseridos:

- Apenas podem ser seleccionados condutores e cabos de guarda através da lista suspensa, que preconiza a base de dados de cabos do *software*;
- *Ternos* - apenas podem ser seleccionadas as opções *Simples*, *Dupla*, *Simples\_Geminada* e *Dupla\_Geminada*;
- *Número Cabos Guarda* - apenas podem ser seleccionados 0, 1 ou 2;
- $\cos\phi$  - pode variar entre 0 e 1;
- *Margem de Segurança Apoios* - pode variar entre 0% e 100%.

### 5.6.2.3 Macros e Botões

É ainda empregue o uso de macros, as quais facilitam a compreensão e funcionamento da folha em análise:

- *Ternos* - caso seja seleccionada a opção *Simples\_Geminada* ou *Dupla\_Geminada*, aparecerá uma célula para introduzir a largura do separador de fase, este que está, por predefinição, preenchido com 200 *mm*, podendo depois escolher entre esse valor e 400 *mm*. Caso contrário, essa célula é eliminada da visualização;
- *Zona Gelo* - caso o utilizador selecione a opção *c/ gelo* na lista suspensa da célula, aparecerá uma célula com o valor pré-introduzido de 10 *mm* para a espessura da manga de gelo, podendo depois escolher entre esse valor e 12, 14 e 16 *mm* na lista suspensa da célula. Caso contrário, essa célula é igualmente eliminada da visualização;
- *Conductor*, *Ternos* ou *Tipo Linha* - sempre que um destes três campos é alterado, se os outros dois forem diferentes de zero, é recalculada a corrente máxima de transporte pelo Método Kuipers-Brown, na folha *Regime Permanente\_Kuipers-Brown*.

A título exemplificativo apresenta-se a Figura 5.7.

| Introdução Dados Gerais Linha |                              | APAGAR                         |                  |          |
|-------------------------------|------------------------------|--------------------------------|------------------|----------|
| Condutor:                     | BEAR 325 ( 264-AL1/62-ST1A ) | Adicionar Novo Cabo            | Tipo Linha       | AT       |
| Ternos:                       | Simplex_Geminada             |                                | Tipo Tensão [kV] | 60 kV    |
| Cabo guarda:                  | GUINEA 130 ( 80AL1/47-ST1A ) | Potência a Alimentar [MVA]     | 50 MVA           |          |
| Número Cabos Guarda:          | 1                            | Cos $\varphi$                  | 1                |          |
| Isolador Pretendido:          | 6x U70BS                     | Altura da Linha [m]            | < 30             |          |
| Linha c/ derivação            | Não                          | Pressão Dinâmica do Vento [Pa] | 750 Pa           |          |
|                               |                              | Margem de Segurança Apoios [%] | 0%               |          |
|                               |                              | Zona Gelo                      | c/ gelo          |          |
|                               |                              | Espessura Manga Gelo [mm]      | 10               |          |
|                               |                              | Separadores Fase [mm]          | 200              | Seguinte |

Figura 5.7: Folha *Dados Gerais* em zona com gelo e com separador central

Existe ainda o uso de botões, que, ao serem premidos, executam macros, auxiliando o utilizador a manobrar a folha:

- Botão *Adicionar Novo Cabo* - o utilizador pode querer realizar os cálculos com um cabo que não se encontra na lista de cabos previamente preenchida, pelo que, ao carregar neste botão, poderá inserir um novo cabo, através do formulário presente na Figura 5.8. Deste modo, esta base de dados passa a ser dinâmica, pelo que pode, a qualquer momento, ser atualizada;

Novo Cabo

Material\*:

Peso Unitário [daN/m]:

Nomenclatura:

Tração Rutura [daN]:

Secção [mm<sup>2</sup>]:

Módulo Elasticidade Final [N/mm<sup>2</sup>]:

Diâmetro [mm]:

Resistência Elétrica 20°C [ohm/km]:

\* O material apenas poderá ser ACSR, AA, ST, Cu, OPGW e ADSS!

Introduzir Cabo

Cancelar

Figura 5.8: Formulário introdução de um novo cabo

- Botão *APAGAR* - o utilizador pode querer recomeçar a sua introdução de dados pelo que lhe é apresentada essa opção através deste botão. Para evitar possíveis cliques acidentais no mesmo, o utilizador tem ainda de responder se tem a certeza de que quer apagar tudo, de forma a prosseguir com a ação, restituindo o estado inicial da folha;
- Botão *Seguinte* - no final da inserção da folha *Dados Gerais*, para prosseguir para a folha *Esforços Apoios*, onde poderá introduzir os valores da linha, tais como tipos de apoio, vãos e trações, o utilizador deve premir este botão.

### 5.6.3 Folha *Esforços Apoios*

A seguir a completar a introdução dos *Dados Gerais*, o utilizador prossegue para a folha *Esforços Apoios*, de modo a inserir os restantes dados necessários ao cálculo dos apoios da linha. Um exemplo da folha pode ser consultado na Figura 5.9.

Figura 5.9: Folha *Esforços Apoios*

A folha será dividida em várias secções, de modo a tornar mais perceptível o seu entendimento.

#### 5.6.3.1 Topo da folha *Esforços Apoios*

No topo da folha, são apresentadas as características do condutor e do cabo de guarda que serão utilizados nos cálculos dos esforços, bem como o valor de  $q$  escolhido, a margem de segurança dos apoios selecionada e a nomenclatura dos apoios que será utilizada na inserção dos dados da linha.

Importa salientar dois aspetos do topo desta folha: as notas presentes na folha e a tabela com as nomenclaturas dos tipos de apoio, de modo a facilitar a interpretação do utilizador.

As notas representam alertas ao utilizador, que este deve seguir para que o bom funcionamento da folha esteja assegurado. Sem as mesmas, o utilizador poderia cometer erros na inserção dos dados, comprometendo os cálculos. As quatro notas presentes no *software*, espelham o seguinte:

- **Nota 1:** Todas as células sombreadas desta cor não devem ser mexidas.
- **Nota 2:** Todas as células devem ser preenchidas, mesmo que com 0.
- **Nota 3:** Todas as células realçadas a amarelo ou vermelho, revelam dados não concordantes.
- **Nota 4:** A partir do apoio 2, o Vão Montante,  $T_{ccmontante}$  e  $T_{cgmontante}$  são preenchidos automaticamente.

Já a tabela com a apresentação das nomenclaturas dos tipos de apoio também se encontra no topo da folha para que o utilizador possa consultar se o necessitar, visto na inserção se usarem abreviaturas. Essa informação pode ser consultada na Tabela 5.1.

| Nomenclaturas Apoios |                                  |
|----------------------|----------------------------------|
| ALI                  | Alinhamento                      |
| ANG                  | Ângulo                           |
| R.ALI                | Reforço em alinhamento           |
| R.ANG                | Reforço em ângulo                |
| D.ALI                | Derivação em alinhamento         |
| D.ANG                | Derivação em ângulo              |
| R.D.ALI              | Reforço derivação em alinhamento |
| R.D.ANG              | Reforço derivação em ângulo      |
| IL                   | Início de linha                  |
| FL                   | Fim de linha                     |

Tabela 5.1: Nomenclaturas dos tipos de apoio

### 5.6.3.2 Tabela inserção de dados

Nesta tabela, localizada logo abaixo das características dos cabos e das notas, apresentam-se todos os dados necessários, para que o utilizador os possa introduzir, de modo a terminar o cálculo de esforços e seleção de apoios. Um exemplo da tabela sem derivações é apresentado na Figura 5.10, e de uma com derivações na Figura 5.11.

| n_apoio | Material Apoio | H apoio [m] | Função Apoio | Tipo Armação | Linha Principal  |                 |                 |                                                |                                               |                                                |                                               |
|---------|----------------|-------------|--------------|--------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
|         |                |             |              |              | Vão montante [m] | Vão jusante [m] | Ângulo [grados] | TCC <sub>montante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | TCC <sub>jusante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | TCG <sub>montante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | TCG <sub>jusante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] |
| 1       | Betão          | 22          | IL           | EVFR         | 0.00             | 100.00          | 0.00            | 0.00                                           | 4.00                                          | 0.00                                           | 0.00                                          |
| 2       | Betão          | 24          | ALI          | GAL          | 100.00           | 120.00          | 0.00            | 0.00                                           | 6.00                                          | 6.00                                           | 8.00                                          |
| 3       | Betão          | 26          | D.ALI        | GAL          | 120.00           | 150.00          | 0.00            | 6.00                                           | 6.00                                          | 8.00                                           | 8.00                                          |
| 4       | Metálico       | 24          | ANG          | Metálica     | 150.00           | 220.00          | 10.00           | 6.00                                           | 6.00                                          | 8.00                                           | 8.00                                          |
| 5       | Metálico       | 24          | R.D.ANG      | Metálica     | 220.00           | 190.00          | 15.00           | 6.00                                           | 6.00                                          | 8.00                                           | 8.00                                          |
| 6       | Betão          | 26          | R.ALI        | GAL          | 190.00           | 210.00          | 0.00            | 6.00                                           | 6.00                                          | 8.00                                           | 8.00                                          |
| 7       | Metálico       | 24          | D.ANG        | Metálica     | 210.00           | 210.00          | 15.00           | 6.00                                           | 6.00                                          | 8.00                                           | 8.00                                          |
| 8       | Betão          | 22          | R.ANG        | GAN          | 210.00           | 180.00          | 30.00           | 6.00                                           | 6.00                                          | 8.00                                           | 8.00                                          |
| 9       | Metálico       | 18          | R.D.ALI      | Metálica     | 180.00           | 150.00          | 0.00            | 6.00                                           | 4.00                                          | 8.00                                           | 6.00                                          |
| 10      | Betão          | 20          | FL           | EVFR         | 150.00           | 0.00            | 0.00            | 4.00                                           | 0.00                                          | 6.00                                           | 0.00                                          |

Figura 5.10: Inserção de dados sem derivação

| n_apoio | Material Apoio | H apoio [m] | Função Apoio | Tipo Armação | Linha Principal  |                 |                 |                                                |                                               |                                                |                                               | Derivação              |                                |                                           |                                           |
|---------|----------------|-------------|--------------|--------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------|--------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------------|
|         |                |             |              |              | Vão montante [m] | Vão jusante [m] | Ângulo [grados] | TCC <sub>montante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | TCC <sub>jusante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | TCG <sub>montante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | TCG <sub>jusante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | Vão <sub>der</sub> [m] | Ângulo <sub>der</sub> [grados] | TCC <sub>der</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | TCG <sub>der</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] |
| 1       | Betão          | 22          | IL           | EVFR         | 0.00             | 100.00          | 0.00            | 0.00                                           | 4.00                                          | 0.00                                           | 0.00                                          | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                                      | 0.00                                      |
| 2       | Betão          | 24          | ALI          | GAL          | 100.00           | 120.00          | 0.00            | 0.00                                           | 6.00                                          | 0.00                                           | 0.00                                          | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                                      | 0.00                                      |
| 3       | Betão          | 26          | D.ALI        | GAL          | 120.00           | 150.00          | 0.00            | 6.00                                           | 6.00                                          | 0.00                                           | 0.00                                          | 80.00                  | 20.00                          | 4.00                                      | 6.00                                      |
| 4       | Metálico       | 24          | ANG          | Metálica     | 150.00           | 220.00          | 10.00           | 6.00                                           | 6.00                                          | 0.00                                           | 0.00                                          | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                                      | 0.00                                      |
| 5       | Metálico       | 24          | R.D.ANG      | Metálica     | 220.00           | 190.00          | 15.00           | 6.00                                           | 6.00                                          | 0.00                                           | 0.00                                          | 120.00                 | -40.00                         | 0.00                                      | 7.00                                      |
| 6       | Betão          | 26          | R.ALI        | GAL          | 190.00           | 210.00          | 0.00            | 6.00                                           | 6.00                                          | 0.00                                           | 0.00                                          | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                                      | 0.00                                      |
| 7       | Metálico       | 24          | D.ANG        | Metálica     | 210.00           | 210.00          | 15.00           | 6.00                                           | 6.00                                          | 0.00                                           | 0.00                                          | 0.00                   | 10.00                          | 5.00                                      | 7.00                                      |
| 8       | Betão          | 22          | R.ANG        | GAN          | 210.00           | 180.00          | 30.00           | 6.00                                           | 6.00                                          | 0.00                                           | 0.00                                          | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                                      | 0.00                                      |
| 9       | Metálico       | 18          | R.D.ALI      | Metálica     | 180.00           | 150.00          | 0.00            | 6.00                                           | 4.00                                          | 0.00                                           | 0.00                                          | 70.00                  | -15.00                         | 4.00                                      | 6.00                                      |
| 10      | Betão          | 20          | FL           | EVFR         | 150.00           | 0.00            | 0.00            | 4.00                                           | 0.00                                          | 6.00                                           | 0.00                                          | 0.00                   | 0.00                           | 0.00                                      | 0.00                                      |

Figura 5.11: Inserção de dados com derivação

A apresentação da zona relativa à derivação é controlada pelo utilizador quando preenche os *Dados Gerais*.

A partir do apoio 2 e até ao 75, as colunas do vão a montante, da tração do condutor a montante e do cabo de guarda a montante encontram-se protegidas contra edição. Isto deve-se ao facto de que, em todas as situações, o vão a montante,  $A_1$ , ser igual ao vão a jusante do apoio anterior,  $A_2$ . O mesmo se aplica no que respeita às trações do condutor,  $T_{cond}$ , e do cabo de guarda,  $T_{cg}$ .

### 5.6.3.3 Tabela apoios calculados e escolhidos

Logo após a tabela de inserção de dados seguem-se quatro colunas, como se demonstra na Figura 5.12, onde nas primeiras duas se apresentam o apoio calculado e o seu coeficiente de esforço, respetivamente. Já nas últimas duas, existe a possibilidade do utilizador interagir com a tabela, escolhendo outro apoio, de forma a comparar com o calculado ou a realizar outras análises necessárias, apresentando-se assim o apoio escolhido e o seu respetivo coeficiente de esforço.

| Apoios Calculados     |                          | Apoios Escolhidos |                                     |
|-----------------------|--------------------------|-------------------|-------------------------------------|
| Apoio Calculado       | Coeficiente Esforço Real | Apoio Escolhido   | Coeficiente Esforço Real Novo Apoio |
| 22 AK08 / 6000 / 2800 | 95%                      |                   |                                     |
| 24 AM10 / 5000        | 94%                      |                   |                                     |
| 26 AK10 / 7500 / 3400 | 88%                      |                   |                                     |
| F20CA/24              | 91%                      |                   |                                     |
| F95CD/24              | 86%                      |                   |                                     |
| 26 AK08 / 6000 / 2800 | 88%                      |                   |                                     |
| F95CD/24              | 57%                      |                   |                                     |
| 22 AK08 / 6000 / 2800 | 87%                      |                   |                                     |
| F95CD/18              | 67%                      |                   |                                     |
| 20 AK08 / 6000 / 2800 | 97%                      |                   |                                     |

Figura 5.12: Apoios calculados e apoios escolhidos

Estas colunas funcionam apenas como compiladores, ou seja, existem colunas auxiliares, ocultas na folha, que calculam, para cada altura, cada pressão dinâmica do vento  $q$  e se o poste se encontra em reforço ou não, qual o apoio melhor dimensionado, tendo em conta a margem de segurança estabelecida, compilando-se, depois, nestas células, os valores desejados.

### 5.6.3.4 Tabela cálculo esforços apoios

Continuando a percorrer a tabela da esquerda para a direita, encontra-se de seguida o cálculo dos esforços dos apoios, presente na Figura 5.13.

| Vento perpendicular à linha |         |        | Sem Vento |         |        | Esforços Máximos |         |        |
|-----------------------------|---------|--------|-----------|---------|--------|------------------|---------|--------|
| Hipótese 1                  |         |        |           |         |        |                  |         |        |
| H1 Fx                       | H1 Fy   | H1 Fz  | H2 Fx     | H2 Fy   | H2 Fz  | Fx max           | Fy max  | Fz max |
| 4677.84                     | 125.94  | 156.90 | 0.00      | 0.00    | 0.00   | 4677.84          | 125.94  | 156.90 |
| 2211.52                     | 271.33  | 334.51 | 42.79     | 0.00    | 334.51 | 2211.52          | 271.33  | 334.51 |
| 2626.70                     | 821.79  | 483.34 | 2714.22   | 416.03  | 483.34 | 2714.22          | 821.79  | 483.34 |
| 21.24                       | 956.42  | 489.94 | 71.70     | 0.00    | 489.94 | 71.70            | 956.42  | 489.94 |
| 3053.26                     | 759.49  | 650.28 | 6596.58   | 197.82  | 650.28 | 6596.58          | 759.49  | 650.28 |
| 0.00                        | 446.37  | 521.02 | 4592.91   | 0.00    | 521.02 | 4592.91          | 446.37  | 521.02 |
| 3202.79                     | 1630.00 | 649.70 | 3292.16   | 1065.58 | 649.70 | 3292.16          | 1630.00 | 649.70 |
| 190.35                      | 2035.40 | 510.66 | 4466.00   | 0.00    | 510.66 | 4466.00          | 2035.40 | 510.66 |
| 579.12                      | 770.10  | 540.04 | 4978.98   | 312.58  | 540.04 | 4978.98          | 770.10  | 540.04 |
| 4677.84                     | 174.56  | 208.70 | 0.00      | 0.00    | 0.00   | 4677.84          | 174.56  | 208.70 |

Figura 5.13: Cálculo esforços apoios



Como já visto na secção 4.10, o cálculo dos esforços difere para cada função de apoio, pelo que estas colunas apenas funcionam como seletores, ou seja, existem colunas auxiliares, ocultas na folha, que calculam os esforços, para cada tipo de apoio, cada uma das hipóteses de cálculo, nos três planos ortogonais, compilando-se, por fim, nestas células, os valores desejados.

### 5.6.3.5 Tabela esforços máximos apoios calculados e escolhidos

Torna-se interessante ainda perceber quais os esforços máximos do apoio que foi calculado, ou do apoio que foi escolhido pelo utilizador, pelo que estes valores se apresentam na tabela de esforços máximos, presente na Figura 5.14.

| Apoios Calculados |                 |                 | Apoios Escolhidos         |                           |                           |
|-------------------|-----------------|-----------------|---------------------------|---------------------------|---------------------------|
| Fx Máximo Apoio   | Fy Máximo Apoio | Fz Máximo Apoio | Fx Máximo Apoio Escolhido | Fy Máximo Apoio Escolhido | Fz Máximo Apoio Escolhido |
| 5203              | 2428            | -               |                           |                           |                           |
| 2500              | 5000            | -               |                           |                           |                           |
| 3400              | 7500            | -               |                           |                           |                           |
| 200               | 1725            | 2750            |                           |                           |                           |
| 8480              | 9072            | 3355            |                           |                           |                           |
| 5203              | 2428            | -               |                           |                           |                           |
| 8480              | 9072            | 3355            |                           |                           |                           |
| 5203              | 2428            | -               |                           |                           |                           |
| 8480              | 9072            | 3355            |                           |                           |                           |
| 5203              | 2428            | -               |                           |                           |                           |

Figura 5.14: Esforços máximos apoios calculados e apoios escolhidos

### 5.6.3.6 Formatações condicionais

De forma a ajudar o utilizador a preencher corretamente esta folha, são introduzidas algumas formatações condicionais que se descrevem de seguida:

- A célula *Material Apoio* será realçada a vermelho quando estiver selecionada uma altura não concordante com a do material do apoio;
- A célula *Material Apoio* será realçada a vermelho quando estiver selecionada uma armação não concordante com a do material do apoio;
- A célula *Função Apoio* será realçada a amarelo sempre que existam mais do que dois apoios com função "IL" ou "FL" na mesma linha;
- A célula *Função Apoio* será realçada a amarelo sempre que existam apoios de derivação na linha e a opção *Linha c/ derivação* na folha *Dados Gerais* estiver marcada como *Não*;
- A célula *Tipo Armação* será realçada a amarelo quando estiver selecionada uma armação não concordante com a *Função Apoio*;

- Para cada *Função Apoio* serão sombreadas **desta cor** todas as células que não devem ser mexidas.

Foi realçado a amarelo sempre que houvesse informações não concordantes, mas não fossem impeditivas do cálculo. Foi realçado a vermelho sempre que houvesse informações não concordantes que fossem impeditivas do cálculo.

#### 5.6.3.7 Validações de dados

Introduziu-se validação de dados em alguns campos, de forma a limitar os valores inseridos, tornando o cálculo realista:

- *Material Apoio*, *H apoio*, *Função Apoio* e *Tipo Armação* - escolha realizada a partir de listas suspensas;
- *Vão montante*, *Vão jusante* e *Vão<sub>Deriv</sub>* - podem variar entre 0 e 800 metros;
- *Ângulo* e *Ângulo<sub>Deriv</sub>* - apenas admite valores compreendidos entre -200 e 200 graus;
- *T<sub>ccmontante</sub>*, *T<sub>ccjusante</sub>*, *T<sub>cgmontante</sub>*, *T<sub>cgjusante</sub>*, *T<sub>ccDeriv</sub>* e *T<sub>cgDeriv</sub>* - limitados a valores entre 0 e 15 daN/mm<sup>2</sup>.

#### 5.6.3.8 Macros e Botões

Nesta folha o uso de macros é preponderante para o bom funcionamento e a agilidade da folha em análise:

- *Material Apoio* - sempre que este campo é alterado, o campo *Tipo Armação* é alterado em concordância: para "Metálica", quando o material selecionado for "Metálico", e para "GAL", quando o material selecionado for "Betão". É ainda apagado algum apoio que tivesse sido escolhido, pelo utilizador, na tabela retratada na secção 5.6.3.3;
- *Material Apoio* - se este campo for apagado, todas as células, dessa linha, com dados, serão apagadas;
- *Função Apoio* - sempre que este parâmetro é alterado, existe uma leitura de todas as células, daquela linha, que o utilizador terá de introduzir e, sempre que um parâmetro não seja necessário para o cálculo dos esforços da nova função do apoio, este é colocado a zero.

Existe ainda o uso de botões, que, ao serem premidos, executam macros, auxiliando o utilizador a manobrar a folha:

- Botão APAGAR - à semelhança da folha *Dados Gerais*, o utilizador, carregando neste botão, recomeça a sua introdução de dados. Para evitar possíveis cliques acidentais no mesmo, o utilizador tem ainda de responder se tem a certeza de que quer apagar tudo, de forma a prosseguir com a ação, restituindo o estado inicial da folha;

- Botão *Mostrar Cálculo Esforços Apoios* - por padrão, o cálculo dos esforços, apresentados na secção 5.6.3.4, encontra-se oculto na folha, de forma a melhorar a visualização da mesma. No entanto, ao premir este botão, a mesma é apresentada ao utilizador, de forma a facultar-lhe os dados necessários às suas verificações;
- Botão *Ocultar Cálculo Esforços Apoios* - produz o efeito contrário ao botão *Mostrar Cálculo Esforços Apoios*, ocultando a tabela de cálculo dos esforços;
- Botão *Ver Dados Gerais* - coloca a vista do utilizador na folha *Dados Gerais*;
- Botão *Ver Cálculos Elétricos* - coloca a vista do utilizador na folha *Cálculo Elétrico*;
- Botão *Ver Relatório Técnico* - coloca a vista do utilizador na folha *Relatório Técnico*;
- Botão *Imprimir Relatórios* - Macro que permite guardar os resultados do cálculo realizado. Clicando neste botão, o utilizador é brindado com um ecrã que lhe pergunta onde quer guardar os relatórios, seguido dos nomes que quer dar a cada um dos relatórios: *Relatório Técnico*, *Cálculo Elétrico*, *Regime Permanente\_Kuipers-Brown*, *Estado + Desfavoravel cond* e *Estado + Desfavoravel cg*. Pergunta, adicionalmente, se pretende guardar a folha *Vão Equivalente*. Por fim, guarda todos os documentos, em formato PDF, na localização escolhida.

Os botões descritos encontram-se presentes na Figura 5.15.

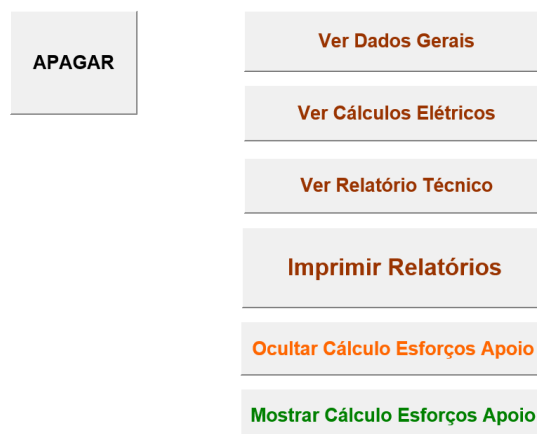


Figura 5.15: Botões folha *Esforços Apoios*

### 5.6.4 Folha Cálculo Elétrico

Após a introdução de todos os dados necessários ao cálculo elétrico, nesta folha, podem consultar-se os dados elétricos da linha, calculados segundo as fórmulas presentes no capítulo 3. Apresenta-se na Figura 5.16 a folha em análise.

| Cálculo Elétrico          |          |                    |                           |          |                    |
|---------------------------|----------|--------------------|---------------------------|----------|--------------------|
| Comprimento linha         | 1.53     | km                 | Corrente Nominal          | 481.13   | A                  |
| Resistência Elétrica      | 1.28E-01 | $\Omega/\text{km}$ | Reatância                 | 3.80     | $\Omega/\text{km}$ |
| Separadores Fase          | 0        | mm                 | Susceptância              | 3.02E-05 | S/km               |
| r fictício                | 11.73    | mm                 | Impedância                | 3.80     | $\Omega$           |
| Coefficiente Auto-Indução | 1.21E-02 | H/km               | Admitância                | 7.80     | S                  |
| Capacidade                | 9.63E-08 | F/km               | Impedância Característica | 0.70     | $\Omega$           |
| Condutância               | 7.80     | S                  | Perdas da Linha           | 0.14     | MW                 |

| % Perdas Linha e Queda Tensão |         |   |
|-------------------------------|---------|---|
| Queda de Tensão               | 163.37  | V |
| % Queda Tensão                | 0.2723% | % |

Ver Dados Gerais

Ver Esforços Apoios

Ver Relatório Técnico

Ocultar Cálculos Auxiliares

Ver Vão Equivalente

Ver Estado + Desfavorável

Mostrar Cálculos Auxiliares

Figura 5.16: Folha Cálculo Elétrico

O cálculo do coeficiente de auto-indução e da capacidade fez-se através da soma das contribuições individuais de cada apoio para este cálculo, no que respeita a estes dois valores.

#### 5.6.4.1 Formatações condicionais

Nesta folha apenas houve necessidade de aplicar uma formatação condicional:

- Não havendo ligação direta entre a folha *Regime Permanente\_Kuipers-Brown* e esta, sempre que o valor da corrente nominal,  $I$ , for superior à calculada pelo Método de Kuipers-Brown, este será realçada a amarelo, por existirem informações não concordantes, mas não impeditivas do cálculo.

#### 5.6.4.2 Macros e Botões

Através do uso de botões, que, ao serem premidos, executam macros, aumentou-se a facilidade de utilização desta folha:

- Botão *Mostrar Cálculos Auxiliares* - ao premir este botão, o utilizador consegue visualizar o cálculo do coeficiente de auto-indução e da capacidade para cada apoio;
- Botão *Ocultar Cálculos Auxiliares* - produz o efeito contrário ao botão *Mostrar Cálculos Auxiliares*, ocultando a tabela de cálculo dos coeficientes de auto-indução e das capacidades;

- Botão *Ver Esforços Apoios* - coloca a vista do utilizador na folha *Esforços Apoios*;
- Botão *Ver Vão Equivalente* - coloca a vista do utilizador na folha *Vão Equivalente*;
- Botão *Ver Estado + Desfavorável* - é perguntado ao utilizador se quer ir para a folha do condutor ou do cabo de guarda, e mediante a resposta do mesmo, coloca a vista do utilizador na folha respetiva.

Os restantes botões foram já apresentados na secção 5.6.3.8.

### 5.6.5 Folha *Regime Permanente\_Kuipers-Brown*

Nesta folha, apresenta-se a capacidade máxima de transporte da linha, tendo em conta os valores preenchidos na folha *Dados Gerais*. Um exemplo desta folha pode ser consultado na Figura 5.17.

| Regime Permanente - Método Kuipers-Brown            |          |                |                  |
|-----------------------------------------------------|----------|----------------|------------------|
| Condutor                                            |          | Tipo Linha     | Tipo Tensão [kV] |
| BEAR 325 ( 264-AL1/62-ST1A )                        |          | Simples        | 60               |
| Resistência a 20°C / km (CC)                        | 0.1090   | Tínicial 32 °C |                  |
| Resistência a 20°C / km (CA)                        | 0.1098   | Tfinal 75 °C   |                  |
| Coef. Absorção Solar                                | 0.5      |                |                  |
| Intensidade da radiação solar (W/m <sup>2</sup> )   | 1000     |                |                  |
| Velocidade Vento Transversal (m/s)                  | 0.6      |                |                  |
| Poder emissível Corpo Negro                         | 0.6      |                |                  |
| Constante Stefan (W/m <sup>2</sup> K <sup>4</sup> ) | 5.70E-08 |                |                  |
|                                                     |          | Corrente       | 676.41 A         |
|                                                     |          | Potência       | 70.29 MVA        |

Figura 5.17: Folha *Regime Permanente\_Kuipers-Brown*

#### 5.6.5.1 Macros e Botões

É apenas utilizada uma macro nesta folha:

- Estando este cálculo dependente das temperaturas ambiente e do condutor,  $T_{amb}$  e  $T_{cond}$ , respetivamente, cada vez que algum desses parâmetros é alterado na folha, o valor da corrente é recalculado.

Todos os botões utilizados foram já apresentados nas secções 5.6.3.8 e 5.6.4.2, pelo que não serão aqui apresentados.

### 5.6.6 Folhas *Estado + Desfavoravel cond* e *Estado + Desfavoravel cg*

Nestas folhas, é feita a análise do vão crítico para o condutor e para o cabo de guarda, respetivamente, através da fórmula 4.8, e determinado o estado mais desfavorável para aquele vão. Apresentam-se de seguida, nas Figuras 5.18 e 5.19, as folhas em análise.

| Estado Mais Desfavorável Condutor |                              |                        |                                          |                                              |                          |
|-----------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|
| Condutor                          |                              | Altura da Linha        | Zona Gelo                                | Tensão Linha<br>(Temperatura Correspondente) |                          |
| Cabo Pretendido:                  | BEAR 325 ( 264-AL1/62-ST1A ) | < 30                   | s/ gelo                                  | AT 60kV (65°C)                               |                          |
| Número Condutores:                | 3                            |                        |                                          |                                              |                          |
| Vão                               | Distância à origem<br>[km]   | Cumprimento Vão<br>[m] | Tensão Serviço<br>[daN/mm <sup>2</sup> ] | Vão crítico                                  | Estado Mais Desfavorável |
| 1 - 2                             | 100.00                       | 100.00                 | 4.00                                     | 122.52                                       | Inverno                  |
| 2 - 3                             | 220.00                       | 120.00                 | 6.00                                     | 183.78                                       | Inverno                  |
| 3 - 4                             | 370.00                       | 150.00                 | 6.00                                     | 183.78                                       | Inverno                  |
| 4 - 5                             | 590.00                       | 220.00                 | 6.00                                     | 183.78                                       | Primavera                |
| 5 - 6                             | 780.00                       | 190.00                 | 6.00                                     | 183.78                                       | Primavera                |
| 6 - 7                             | 990.00                       | 210.00                 | 6.00                                     | 183.78                                       | Primavera                |
| 7 - 8                             | 1200.00                      | 210.00                 | 6.00                                     | 183.78                                       | Primavera                |
| 8 - 9                             | 1380.00                      | 180.00                 | 6.00                                     | 183.78                                       | Inverno                  |
| 9 - 10                            | 1530.00                      | 150.00                 | 4.00                                     | 122.52                                       | Primavera                |

Figura 5.18: Folha *Estado + Desfavoravel cond*

| Estado Mais Desfavorável Cabo Guarda |                              |                        |                                          |                                              |                          |
|--------------------------------------|------------------------------|------------------------|------------------------------------------|----------------------------------------------|--------------------------|
| Cabo Guarda                          |                              | Altura da Linha        | Zona Gelo                                | Tensão Linha<br>(Temperatura Correspondente) |                          |
| Cabo Pretendido:                     | GUINEA 130 ( 80AL1/47-ST1A ) | < 30                   | s/ gelo                                  | AT 60kV (65°C)                               |                          |
| Número Condutores:                   | 1                            |                        |                                          |                                              |                          |
| Vão                                  | Distância à origem<br>[km]   | Cumprimento Vão<br>[m] | Tensão Serviço<br>[daN/mm <sup>2</sup> ] | Vão crítico                                  | Estado Mais Desfavorável |
| 1 - 2                                | 100.00                       | 100.00                 | 6.00                                     | 96.92                                        | Primavera                |
| 2 - 3                                | 220.00                       | 120.00                 | 8.00                                     | 129.23                                       | Inverno                  |
| 3 - 4                                | 370.00                       | 150.00                 | 8.00                                     | 129.23                                       | Primavera                |
| 4 - 5                                | 590.00                       | 220.00                 | 8.00                                     | 129.23                                       | Primavera                |
| 5 - 6                                | 780.00                       | 190.00                 | 8.00                                     | 129.23                                       | Primavera                |
| 6 - 7                                | 990.00                       | 210.00                 | 8.00                                     | 129.23                                       | Primavera                |
| 7 - 8                                | 1200.00                      | 210.00                 | 8.00                                     | 129.23                                       | Primavera                |
| 8 - 9                                | 1380.00                      | 180.00                 | 8.00                                     | 129.23                                       | Primavera                |
| 9 - 10                               | 1530.00                      | 150.00                 | 6.00                                     | 96.92                                        | Primavera                |

Figura 5.19: Folha *Estado + Desfavoravel cg*

#### 5.6.6.1 Macros e Botões

Nenhuma macro é usada nestas folhas e todos os botões utilizados foram já apresentados nas secções 5.6.3.8 e 5.6.4.2.

#### 5.6.7 Folha *Relatório Técnico*

Nesta folha é feita uma compilação da informação calculada pela ferramenta de cálculo, permitindo extrair os elementos gerais da linha em projeto. A folha em análise pode ser consultada na Figura 5.20.

| N.º | Apoio                  |               |                          | Ângulo [grd] | Vão Topográfico [m] | Distância à Origem [m] | Tração do condutor a montante [daN/mm <sup>2</sup> ] | Tração do condutor a jusante [daN/mm <sup>2</sup> ] | Tração do cabo de guarda a montante [daN/mm <sup>2</sup> ] | Tração do cabo de guarda a jusante [daN/mm <sup>2</sup> ] |
|-----|------------------------|---------------|--------------------------|--------------|---------------------|------------------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|
|     | Tipo                   | Tipo Armiação | Taxa de Esforço do Apoio |              |                     |                        |                                                      |                                                     |                                                            |                                                           |
| 1   | 22 AK08 / 6000 / 2800  | EVFR          | 99%                      | -            | 100.00              | 0.00                   | 0.0                                                  | 4.0                                                 | 0.0                                                        | 6.0                                                       |
| 2   | 24 AM10 / 5000         | GAL           | 98%                      | -            | 120.00              | 100.00                 | 4.0                                                  | 6.0                                                 | 6.0                                                        | 8.0                                                       |
| 3   | 26 AK10 / 7500 / 3400  | GAL           | 95%                      | -            | 150.00              | 220.00                 | 6.0                                                  | 6.0                                                 | 8.0                                                        | 8.0                                                       |
| 4   | F65CD/24               | Metálica      | 39%                      | 10.00        | 220.00              | 370.00                 | 6.0                                                  | 6.0                                                 | 8.0                                                        | 8.0                                                       |
| 5   | F95CD/24               | Metálica      | 90%                      | 15.00        | 190.00              | 590.00                 | 6.0                                                  | 6.0                                                 | 8.0                                                        | 8.0                                                       |
| 6   | 26 AK08 / 6000 / 2800  | GAL           | 88%                      | -            | 210.00              | 780.00                 | 6.0                                                  | 6.0                                                 | 8.0                                                        | 8.0                                                       |
| 7   | F95CD/24               | Metálica      | 70%                      | 15.00        | 210.00              | 990.00                 | 6.0                                                  | 6.0                                                 | 8.0                                                        | 8.0                                                       |
| 8   | 22 AK14 / 11000 / 4500 | GAN           | 100%                     | 30.00        | 180.00              | 1200.00                | 6.0                                                  | 6.0                                                 | 8.0                                                        | 8.0                                                       |
| 9   | F95CD/18               | Metálica      | 75%                      | -            | 150.00              | 1380.00                | 6.0                                                  | 4.0                                                 | 8.0                                                        | 6.0                                                       |
| 10  | 20 AK10 / 7500 / 3400  | EVFR          | 82%                      | -            | 0.00                | 1530.00                | 4.0                                                  | 0.0                                                 | 6.0                                                        | 0.0                                                       |

Figura 5.20: Folha *Relatório Técnico*

Quando o utilizador estiver satisfeito com os resultados, poderá gerar os PDF's deste documento, através do botão *Imprimir Resultados*, imprimindo os relatórios mais relevantes, estando, nesta folha, também presentes os dados gerais da linha.

### 5.6.7.1 Macros e Botões

Nenhuma macro é usada nesta folha e todos os botões utilizados foram já apresentados nas secções 5.6.3.8 e 5.6.4.2, pelo que não serão aqui apresentados.

## 5.6.8 Folha Vão Equivalente

Apesar de não ter ligação direta com as restantes folhas do *Excel*, poderá ser proveitoso ao utilizador o cálculo do vão equivalente, pelo que se apresenta esse mesmo cálculo nesta folha, podendo ser consultado na Figura 5.21.

| Determinação Vão Equivalente |                   |                                    |
|------------------------------|-------------------|------------------------------------|
| Nº vão                       | Vão a jusante [m] | Diferença entre cotas apoios h [m] |
| 1                            | 100               | 40                                 |
| 2                            | 100               | 10                                 |
| 3                            | 200               | 20                                 |
| 4                            |                   |                                    |
| 5                            |                   |                                    |
| 6                            |                   |                                    |
| 7                            |                   |                                    |
| 8                            |                   |                                    |
| 9                            |                   |                                    |
| 10                           |                   |                                    |
| 11                           |                   |                                    |
| 12                           |                   |                                    |
| 13                           |                   |                                    |
| 14                           |                   |                                    |
| 15                           |                   |                                    |

**Iniciar Cálculo**

**Tipo de Vão**  
Em desnível

**Vão equivalente  $L_{eq}$**   
46.42

**NOTA 1:**  
Foram considerados apenas 15 vãos por cantão, seguindo o RSLEAT

Figura 5.21: Folha *Vão Equivalente*, para vãos em desnível

No caso de vãos em patamar, a coluna *Diferença entre cotas apoios h* estaria oculta, visto não ser necessária para o cálculo.

O cálculo utiliza as fórmulas 4.9 e 4.10, anteriormente apresentadas, e respeita o RSLEAT, tendo no máximo 15 vãos por cantão.

### 5.6.8.1 Macros e Botões

Nenhuma macro é usada nesta folha. No entanto, é utilizado um botão que inicia o cálculo:

- Botão *Iniciar Cálculo* - Quando o botão é premido, este pergunta ao utilizador se é um vão em patamar ou em desnível; após essa pergunta, irá perguntar quantos vãos tem o cantão; se tiver sido escolhido em patamar, vai perguntar ao utilizador apenas quais os vãos a considerar; no caso de ter sido escolhido em desnível, irá perguntar o comprimento e o desnível para cada vão do cantão, apresentando no fim o valor do vão equivalente.

Os restantes botões utilizados foram já apresentados nas secções 5.6.3.8 e 5.6.4.2.

### 5.6.9 Folhas ocultas

Além das bases de dados retratadas na secção 5.3, existe uma folha denominada *Esforços Calc*, que também se encontra oculta, que permite a visualização do coeficiente de esforço de todos os apoios, em percentagem, tendo em conta os dados introduzidos na folha *Esforços Apoios*.

Através de uma lista suspensa, que se pode encontrar no topo da folha retratada e presente na Figura 5.22, o utilizador consegue perceber, para cada caso, qual a taxa de esforço de cada apoio.

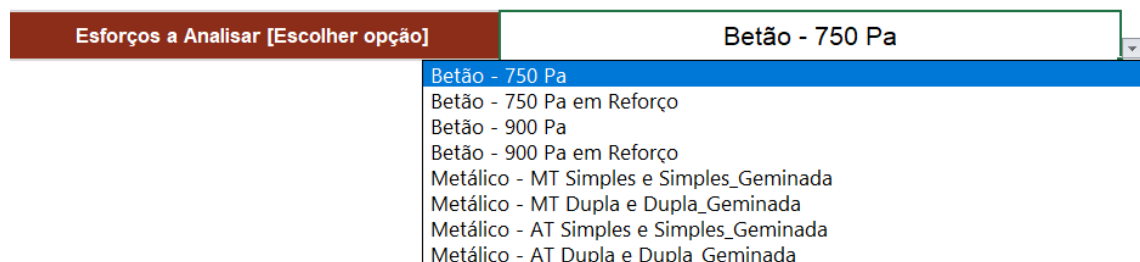


Figura 5.22: Lista suspensa folha *Esforços Calc*

A partir desta folha, é possível consultar os coeficientes de esforço dos seguintes casos:

- Betão:
  - 750 Pa;
  - 750 Pa, em reforço;
  - 900 Pa;
  - 900 Pa, em reforço.
- Metálico:
  - MT - para linhas simples ou simples geminadas;
  - MT - para linhas duplas ou duplas geminadas;
  - AT - para linhas simples ou simples geminadas;
  - AT - para linhas duplas ou duplas geminadas.



Esta folha dá ao utilizador liberdade de explorar diferentes possibilidades sem ter de mexer nos dados da linha na folha *Esforços Apoios*, pelo que pode ser uma mais-valia ao projeto.

### 5.6.10 Folhas invisíveis

As folhas invisíveis nesta ferramenta de cálculo, são as folhas de cálculo dos coeficientes de esforço dos apoios para todos os casos descritos na secção 5.6.9, e que se encontram espelhadas na folha *Esforços Calc*, pelo que não existe vantagem em mantê-las visíveis.

Além dessas folhas, existe apenas mais uma que se encontra invisível, que se denomina por *Intervalos Auxiliares*. Nesta folha, são denominados todos os intervalos necessários ao bom funcionamento da ferramenta de cálculo, através da funcionalidade *Gestor de nomes* do *Excel*, pelo que não necessita de estar disponível ao utilizador, nem convém ser alterada.

Um exemplo dos intervalos nomeados através desta funcionalidade pode ser consultado na Figura 5.23.

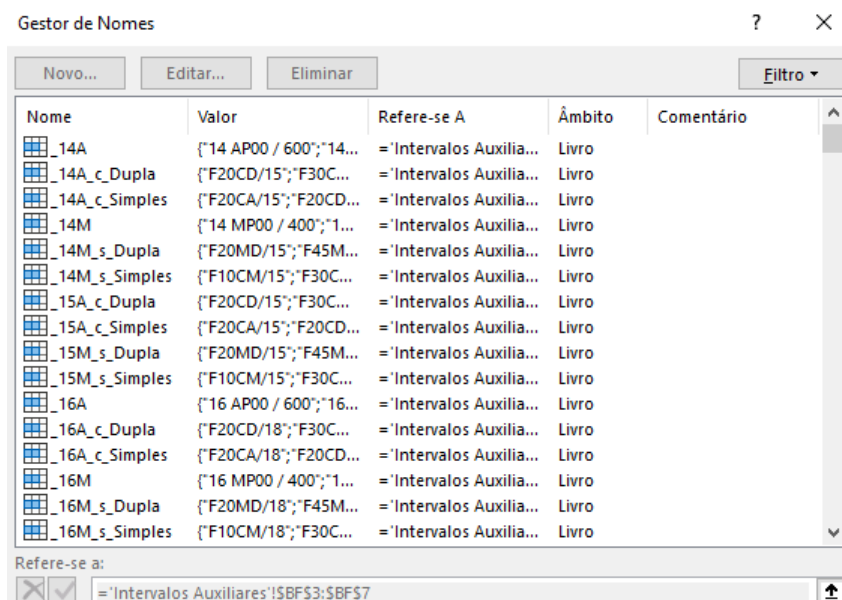


Figura 5.23: Alguns intervalos nomeados na funcionalidade *Gestor de nomes*

Ao ocultar estas folhas através de macros, não sendo permitido desocultá-las, o espaço de trabalho encontra-se mais limpo e intuitivo, contribuindo para o foco do utilizador no cálculo e seleção dos apoios para linhas MT e AT.

## Capítulo 6

# Verificações e resultados

Neste capítulo, realizaram-se algumas verificações, de modo a comprovar o correto funcionamento da ferramenta de cálculo *ApOpti*.

Posteriormente, esses resultados foram comparados com linhas já existentes, sendo possível analisar os seus resultados e estudar as suas potenciais diferenças.

### 6.1 Verificação do desempenho do *ApOpti*

Para testar o desempenho do *ApOpti*, foi concebida uma linha fictícia de AT, com 10 apoios, com 4 derivações e com 1530 metros de comprimento. Essa mesma linha está já representada nas Figuras utilizadas ao longo do capítulo 5, para possibilitar a verificação de qualquer dado necessário.

Foi utilizado, para a linha principal, o condutor *BEAR 325 (264-AL1/62-ST1A)* e o cabo de guarda *GUINEA 130 (80AL1/47-ST1A)*. Nas derivações, localizadas nos apoios 3, 5, 7 e 9, aplicou-se o condutor *PARTRIDGE 160 (136-AL1/22-ST1A)* e o cabo de guarda *GUINEA 130 (80AL1/47-ST1A)*.

A linha em análise tem o  $\cos\phi$  unitário e transporta 50 MVA. Está inserida numa zona sem gelo e a sua altura localiza-se abaixo dos 30 metros, pelo que foi analisada a um  $q$  de 750 Pa. Foi definida para este projeto uma margem de segurança de 0% para os apoios.

Todos os cálculos dos esforços nos apoios foram feitos e validados de forma manual, verificação que se pode consultar no Anexo F.

Os dados inseridos no *ApOpti* encontram-se resumidos na Tabela 6.1.

| Apoio | Material | Altura | Função  | Armação  | Vão jussante [m] | Ângulo [grados] | Tcc <sub>jussante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | Tcg <sub>jussante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | Vão <sub>Deriv</sub> [m] | Ângulo <sub>Deriv</sub> [grados] | Tcc <sub>Deriv</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | Tcg <sub>Deriv</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] |
|-------|----------|--------|---------|----------|------------------|-----------------|------------------------------------------------|------------------------------------------------|--------------------------|----------------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------|
| 1     | Betão    | 22     | IL      | EVFR     | 100              | -               | 4                                              | 6                                              | -                        | -                                | -                                           | -                                           |
| 2     | Betão    | 24     | ALI     | GAL      | 120              | -               | 6                                              | 8                                              | -                        | -                                | -                                           | -                                           |
| 3     | Betão    | 26     | D.ALI   | GAL      | 150              | -               | 6                                              | 8                                              | 80                       | 20                               | 4                                           | 6                                           |
| 4     | Metálico | 24     | ANG     | Metálica | 220              | 10              | 6                                              | 8                                              | -                        | -                                | -                                           | -                                           |
| 5     | Metálico | 24     | R.D.ANG | Metálica | 190              | 15              | 6                                              | 8                                              | 120                      | -40                              | 5                                           | 7                                           |
| 6     | Betão    | 26     | R.ALI   | GAL      | 210              | -               | 6                                              | 8                                              | -                        | -                                | -                                           | -                                           |
| 7     | Metálico | 24     | D.ANG   | Metálica | 210              | 15              | 6                                              | 8                                              | 100                      | 10                               | 5                                           | 7                                           |
| 8     | Betão    | 22     | R.ANG   | GAN      | 180              | 30              | 6                                              | 8                                              | -                        | -                                | -                                           | -                                           |
| 9     | Metálico | 18     | R.D.ALI | Metálica | 150              | -               | 4                                              | 6                                              | 70                       | -15                              | 4                                           | 6                                           |
| 10    | Betão    | 20     | FL      | EVFR     | -                | -               | -                                              | -                                              | -                        | -                                | -                                           | -                                           |

Tabela 6.1: Dados linha em análise

Primeiramente, foi feito cálculo dos esforços, para as hipóteses 1 e 2 de cálculo, de todos os apoios presentes na linha, a partir das fórmulas presentes na secção 4.10. Os seus resultados podem ser consultados nas Tabelas 6.2 e 6.3.

|       | Hipótese 1 |         |         |                       |         |         | Comparação |
|-------|------------|---------|---------|-----------------------|---------|---------|------------|
|       | ApOpti     |         |         | Calculado Manualmente |         |         |            |
| Apoio | Fx         | Fy      | Fz      | Fx                    | Fy      | Fz      |            |
| 1     | 4677.84    | 223.19  | 260.51  | 4677.84               | 223.20  | 260.68  | OK         |
| 2     | 2211.52    | 485.27  | 562.47  | 2211.52               | 485.30  | 563.74  | OK         |
| 3     | 2529.28    | 1538.92 | 806.85  | 2529.24               | 1538.67 | 807.26  | OK         |
| 4     | 0.00       | 1853.64 | 873.31  | 0.00                  | 1853.09 | 873.94  | OK         |
| 5     | 2394.33    | 1560.96 | 1140.71 | 2394.39               | 1561.04 | 1141.34 | OK         |
| 6     | 0.00       | 835.35  | 935.48  | 0.00                  | 835.40  | 936.16  | OK         |
| 7     | 3258.09    | 2785.31 | 1139.56 | 3258.08               | 2785.13 | 1140.22 | OK         |
| 8     | 0.00       | 3991.14 | 914.76  | 0.00                  | 3990.88 | 915.42  | OK         |
| 9     | 602.52     | 1445.60 | 920.25  | 602.52                | 1445.49 | 920.77  | OK         |
| 10    | 4677.84    | 320.43  | 364.13  | 4677.84               | 320.45  | 364.38  | OK         |

Tabela 6.2: Comparação cálculo esforços apoios - hipótese 1

|       | Hipótese 2 |         |         |                       |         |         | Comparação |
|-------|------------|---------|---------|-----------------------|---------|---------|------------|
|       | ApOpti     |         |         | Calculado Manualmente |         |         |            |
| Apoio | Fx         | Fy      | Fz      | Fx                    | Fy      | Fz      |            |
| 1     | 0.00       | 0.00    | 0.00    | 0.00                  | 0.00    | 0.00    | OK         |
| 2     | 85.58      | 0.00    | 562.47  | 85.58                 | 0.00    | 562.84  | OK         |
| 3     | 2626.55    | 821.81  | 806.85  | 2625.65               | 821.92  | 807.27  | OK         |
| 4     | 143.04     | 0.00    | 873.31  | 143.05                | 0.00    | 873.94  | OK         |
| 5     | 6157.29    | 593.78  | 1140.71 | 6157.34               | 593.97  | 1141.34 | OK         |
| 6     | 4592.91    | 0.00    | 935.48  | 4592.91               | 0.00    | 936.16  | OK         |
| 7     | 3355.69    | 1747.53 | 1139.56 | 3355.68               | 1747.44 | 1140.22 | OK         |
| 8     | 4466.00    | 0.00    | 914.76  | 4466.03               | 0.00    | 915.42  | OK         |
| 9     | 4994.59    | 620.83  | 920.25  | 4995.17               | 620.57  | 920.77  | OK         |
| 10    | 0.00       | 0.00    | 0.00    | 0.00                  | 0.00    | 0.00    | OK         |

Tabela 6.3: Comparação cálculo esforços apoios - hipótese 2

Como podemos depreender das tabelas acima, todos os valores foram validados manualmente, obtendo-se valores iguais na maioria dos apoios. Os valores que diferem dos calculados pelo

*ApOpti* apenas apresentam diferenças menores que 1. Uma justificação para estas incongruências prende-se com a existência de pequenos erros de aproximação, pelo facto de, nos cálculos manuais, somente se terem usado valores com três casas decimais.

De seguida, procedeu-se à análise do cálculo dos coeficientes de esforço, de modo a perceber se este estaria a ser feito corretamente. A comparação dos resultados obtidos encontra-se na Tabela 6.4.

| Apoio | Coeficiente de Esforço |                       | Comparação |
|-------|------------------------|-----------------------|------------|
|       | ApOpti                 | Calculado Manualmente |            |
| 1     | 99%                    | 99%                   | OK         |
| 2     | 98%                    | 98%                   | OK         |
| 3     | 95%                    | 95%                   | OK         |
| 4     | 39%                    | 39%                   | OK         |
| 5     | 90%                    | 90%                   | OK         |
| 6     | 88%                    | 88%                   | OK         |
| 7     | 70%                    | 70%                   | OK         |
| 8     | 100%                   | 100%                  | OK         |
| 9     | 75%                    | 75%                   | OK         |
| 10    | 82%                    | 82%                   | OK         |

Tabela 6.4: Comparação cálculo coeficiente esforço apoios

Todos os valores se encontram concordantes, pelo que se conclui que a ferramenta efetua eficazmente este cálculo.

De modo a perceber se a componente elétrica da linha também está a ser corretamente realizada, compararam-se os valores do *ApOpti* com os da validação manual da folha *Cálculo Elétrico*. Essa comparação encontra-se na Tabela 6.5.

| Cálculo                                | Cálculo Elétrico |                       | Comparação |
|----------------------------------------|------------------|-----------------------|------------|
|                                        | ApOpti           | Calculado Manualmente |            |
| Corrente Nominal [A]                   | 481.13           | 481.13                | OK         |
| Resistência Elétrica [ $\Omega$ /km]   | 1.2813E-01       | 1.2813E-01            | OK         |
| r fictício [mm]                        | 11.73            | 11.73                 | OK         |
| Coeficiente Auto-Indução [H/km]        | 1.2083E-02       | 1.2083E-02            | OK         |
| Capacidade [F/km]                      | 9.6272E-08       | 9.6271E-08            | OK         |
| Condutância [S]                        | 7.80             | 7.81                  | OK         |
| Reactância [ $\Omega$ /km]             | 3.80             | 3.80                  | OK         |
| Susceptância [S/km]                    | 3.0244E-05       | 3.0262E-05            | OK         |
| Impedância [ $\Omega$ ]                | 3.80             | 3.80                  | OK         |
| Admitância [S]                         | 7.80             | 7.81                  | OK         |
| Impedância Característica [ $\Omega$ ] | 0.70             | 0.70                  | OK         |
| Perdas da Linha [MW]                   | 0.14             | 0.14                  | OK         |
| Queda de Tensão [V]                    | 163.37           | 163.37                | OK         |
| Queda Tensão [%]                       | 0.2723%          | 0.2723%               | OK         |

Tabela 6.5: Comparação cálculo elétrico da linha

É possível concluir, assim, que o cálculo elétrico efetuado pelo *ApOpti* se encontra de acordo com o cálculo efetuado manualmente, comprovando a fiabilidade da ferramenta desenvolvida.

Por fim, foi feita a validação do cálculo do vão crítico, imprescindível para a obtenção do estado atmosférico mais desfavorável. A comparação entre a validação manual e o *ApOpti* encontra-se na Tabela 6.6.

| Vão Crítico |          |                       |                |                       |            |
|-------------|----------|-----------------------|----------------|-----------------------|------------|
| Vão Crítico | Condutor |                       | Cabo de guarda |                       | Comparação |
|             | ApOpti   | Calculado Manualmente | ApOpti         | Calculado Manualmente |            |
| 1 - 2       | 150.44   | 148.49                | 84.31          | 85.34                 | OK         |
| 2 - 3       | 225.67   | 222.73                | 112.42         | 113.78                | OK         |
| 3 - 4       | 225.67   | 222.73                | 112.42         | 113.78                | OK         |
| 4 - 5       | 225.67   | 222.73                | 112.42         | 113.78                | OK         |
| 5 - 6       | 225.67   | 222.73                | 112.42         | 113.78                | OK         |
| 6 - 7       | 225.67   | 222.73                | 112.42         | 113.78                | OK         |
| 7 - 8       | 225.67   | 222.73                | 112.42         | 113.78                | OK         |
| 8 - 9       | 225.67   | 222.73                | 112.42         | 113.78                | OK         |
| 9 - 10      | 150.44   | 148.49                | 84.31          | 85.34                 | OK         |

Tabela 6.6: Comparação cálculo vão crítico

Comprova-se, deste modo, que o cálculo do vão crítico se encontra dentro dos limites toleráveis, havendo apenas pequenas diferenças, devido a arredondamentos nos cálculos.

### 6.1.1 Verificação em CLinhas

De forma a assegurar a validade dos apoios calculados pelo *ApOpti* e a verificação manual dos esforços, estes resultados foram confirmados no programa *CLinhas*, encontrando-se na Tabela 6.7 os dados extraídos desse mesmo programa.

| APOIOS |       |                        | CARGAS |       |       |              |              |              |    |
|--------|-------|------------------------|--------|-------|-------|--------------|--------------|--------------|----|
| N.     | F+I+R | TIPO                   | FXmax  | FYmax | FZmax | FX           | FY           | FZ           | Ve |
| 1      | A B F | 22 AK08 / 6000 / 2800  | 5203   | 2428  | -     | 4678<br>39   | 239<br>0     | 302<br>302   | 1  |
| 2      | A A N | 24 AM10 / 5000         | 2500   | 5000  | -     | 2212<br>86   | 518<br>0     | 647<br>647   | 1  |
| 3      | A A N | 26 AK10 / 7500 / 3400  | 3400   | 7500  | -     | 2522<br>2533 | 1540<br>819  | 843<br>843   | 1  |
| 4      | A A N | F65CD/24               | 1742   | 6055  | 2695  | 0<br>143     | 1886<br>0    | 965<br>965   | 1  |
| 5      | A B R | F95CD/24               | 8480   | 9072  | 3355  | 2387<br>4604 | 1558<br>2207 | 1184<br>1184 | 1  |
| 6      | A B R | 26 AK08 / 6000 / 2800  | 5203   | 2428  | -     | 0<br>4593    | 868<br>0     | 1029<br>1029 | 1  |
| 7      | A A N | F95CD/24               | 8480   | 9072  | 3355  | 3248<br>3260 | 2789<br>1747 | 1183<br>1183 | 1  |
| 8      | A B R | 22 AK14 / 11000 / 4500 | 9768   | 3996  | -     | 0<br>4593    | 4024<br>0    | 1008<br>1008 | 1  |
| 9      | A B R | F95CD/18               | 8480   | 9072  | 3355  | 637<br>4593  | 1448<br>619  | 959<br>959   | 1  |
| 10     | A B R | 20 AK10 / 7500 / 3400  | 6589   | 2987  | -     | 4678<br>3119 | 337<br>0     | 408<br>408   | 1  |

Tabela 6.7: Cálculo apoios no programa CLinhas

Pode assim comprovar-se o correto funcionamento da ferramenta de cálculo *ApOpti*.

## 6.2 Casos de Estudo

Todos os casos de estudo apresentados são casos reais, com o seu estudo feito com recurso a *PLS-CADD* e *CLinhas*. Procedeu-se a diversas comparações, de modo a perceber se o *ApOpti* se encontra bem dimensionado.

É de referir que a validação de apoios feita pelo *PLS-CADD* é feita a partir dos vãos gravíticos<sup>1</sup> e não dos vãos reais adjacentes ao apoio, pelo que nem sempre foi possível validar o funcionamento do *ApOpti* a partir deste.

Todos os nomes e/ou nomenclaturas que possam identificar a linha em estudo foram ocultados.

### 6.2.1 Linha Simples - 30 kV

Esta linha simples, a 30 kV, pretende interligar dois troços subterrâneos. É constituída por 5 apoios, com uma extensão de 592,70 metros. Apresenta-se na Figura 6.1 o esquema da ligação.

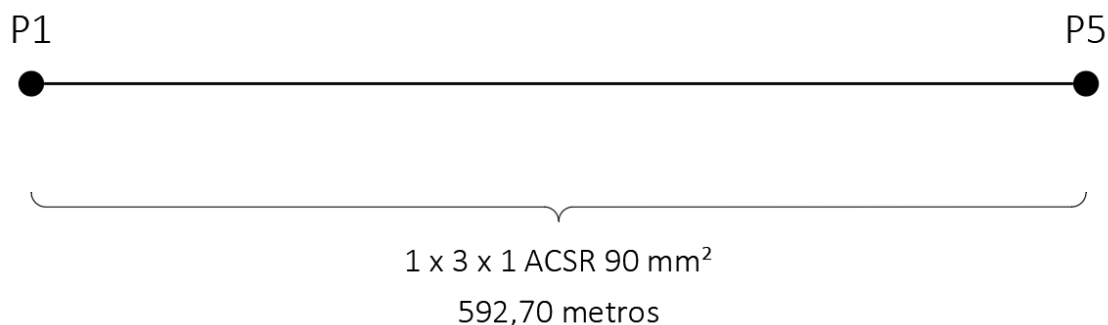


Figura 6.1: Esquema de ligação - linha simples, a 30 kV - caso A

A linha em análise tem o  $\cos\phi$  unitário e transporta 6.42 MVA. Está inserida numa zona sem gelo e a sua altura localiza-se abaixo dos 30 metros, pelo que foi analisada a um  $q$  de 750 Pa. Foi definida para este projeto uma margem de segurança de 22% para os apoios.

Foi utilizado o condutor *ACSR 90 (80AL1/13-ST1A)*.

Os dados inseridos no *ApOpti* foram resumidos na Tabela 6.8.

| Apoio | Material | Altura | Função | Armação   | Vão<br>jusante<br>[m] | Ângulo<br>[grados] | Tcc <sub>jusante</sub><br>[daN/mm <sup>2</sup> ] | Tcg <sub>jusante</sub><br>[daN/mm <sup>2</sup> ] |
|-------|----------|--------|--------|-----------|-----------------------|--------------------|--------------------------------------------------|--------------------------------------------------|
| 1     | Betão    | 14     | IL     | HRFSC 120 | 104.81                | -                  | 8                                                | 0                                                |
| 2     | Betão    | 22     | ANG    | GAN 80    | 180.29                | -47.17             | 8                                                | 0                                                |
| 3     | Betão    | 24     | ALI    | GAL       | 209.56                | -                  | 8                                                | 0                                                |
| 4     | Betão    | 16     | ANG    | GAN 80    | 98.04                 | -11.48             | 8                                                | 0                                                |
| 5     | Betão    | 14     | FL     | HRFSC 120 | -                     | -                  | -                                                | -                                                |

Tabela 6.8: Resumo dados linha - caso A

<sup>1</sup>Caracterizado pelo comprimento horizontal medido entre os pontos mais baixos das catenárias adjacentes de um determinando apoio.[21]

De seguida, na Tabela 6.9, apresenta-se a comparação entre os apoios dimensionados pelo *PLS-CADD* e os apoios calculados pelo *ApOpti*.

| Apoio | PLS-CADD              | Coefficiente de Esforço<br>PLS-CADD | ApOpti                | Coefficiente de Esforço<br>ApOpti | Comparação |
|-------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------|
| 1     | 14 MK06 / 4000 / 2000 | 71%                                 | 14 MK06 / 4000 / 2000 | 71%                               | OK         |
| 2     | 22 MM06 / 2750        | 67%                                 | 22 MM06 / 2750        | 67%                               | OK         |
| 3     | 24 MP02 / 1000        | 44%                                 | 24 MP02 / 1000        | 44%                               | OK         |
| 4     | 16 MP02 / 1000        | 74%                                 | 16 MP02 / 1000        | 74%                               | OK         |
| 10    | 14 MK06 / 4000 / 2000 | 71%                                 | 14 MK06 / 4000 / 2000 | 71%                               | OK         |

Tabela 6.9: Comparação entre *PLS-CADD* e *ApOpti* - caso A

Por fim foi feita a validação a partir do programa *Clinhas*, validação essa presente na Tabela 6.10.

| APOIOS |       |                       | CARGAS |       |       |      |      |     |    |
|--------|-------|-----------------------|--------|-------|-------|------|------|-----|----|
| N.     | F+I+R | TIPO                  | FXmax  | FYmax | FZmax | FX   | FY   | FZ  | Ve |
| 1      | A B F | 14 MK06 / 4000 / 2000 | 3346   | 1673  | -     | 2110 | 147  | 138 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 20   | 0    | 138 |    |
| 2      | A A N | 22 MM06 / 2750        | 1300   | 2750  | -     | 0    | 1873 | 311 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 48   | 0    | 311 |    |
| 3      | A A N | 24 MP02 / 1000        | 520    | 1000  | -     | 0    | 469  | 359 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 76   | 0    | 359 |    |
| 4      | A A N | 16 MP02 / 1000        | 520    | 1000  | -     | 0    | 766  | 321 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 59   | 0    | 321 |    |
| 5      | A B F | 14 MK06 / 4000 / 2000 | 3346   | 1673  | -     | 2110 | 140  | 135 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 19   | 0    | 135 |    |

Tabela 6.10: Validação apoios no programa *Clinhas* - caso A

Conclui-se que o dimensionamento de apoios realizado pelo *ApOpti*, para linhas de 30 kV, está de acordo com o previsto pelos programas *PLS-CADD* e *CLinhas*.

Por fim, apresenta-se o cálculo elétrico para a linha em análise, na Tabela 6.11.

| Cálculo Elétrico                     |            |                                        |            |
|--------------------------------------|------------|----------------------------------------|------------|
| Corrente Nominal [A]                 | 123.55     | Susceptância [S/km]                    | 1.5861E-05 |
| Resistência Elétrica [ $\Omega$ /km] | 4.2558E-01 | Impedância [ $\Omega$ ]                | 1.86       |
| r fictício [mm]                      | 6.00       | Admitância [S]                         | 2.35       |
| Coefficiente Auto-Indução [H/km]     | 5.7798E-03 | Impedância Característica [ $\Omega$ ] | 0.89       |
| Capacidade [F/km]                    | 5.0488E-08 | Perdas da Linha [MW]                   | 0.01       |
| Condutância [S]                      | 2.35       | Queda de Tensão [V]                    | 53.98      |
| Reactância [ $\Omega$ /km]           | 1.82       | Queda Tensão [%]                       | 0.18%      |

Tabela 6.11: Cálculo elétrico da linha - caso A

### 6.2.2 Linha Simples - 60 kV

Esta linha simples, a 60 kV, pretende interligar uma subestação e um troço subterrâneo. É constituída por 19 apoios, com uma extensão de 4033,09 metros. Apresenta-se na Figura 6.2 o esquema da ligação.

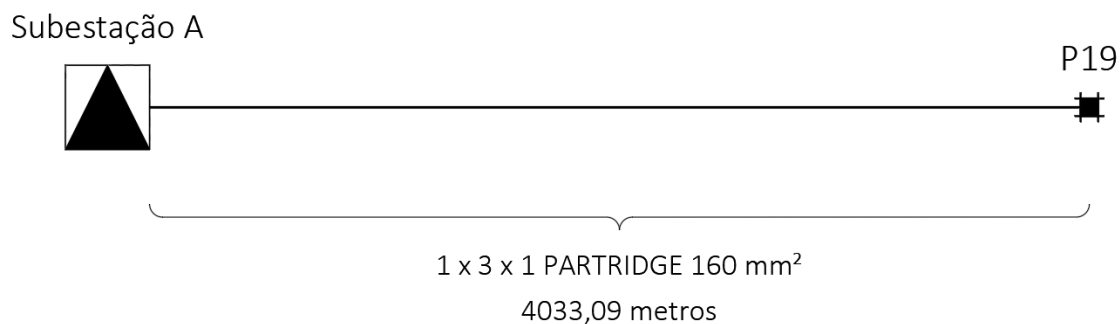


Figura 6.2: Esquema de ligação - linha simples, a 60 kV - caso B

A linha em análise tem o  $\cos\phi$  unitário e transporta 25 MVA. Está inserida numa zona sem gelo e a sua altura localiza-se acima dos 30 metros, pelo que foi analisada a um  $q$  de 900 Pa. Foi definida para este projeto uma margem de segurança de 20% para os apoios.

Foi utilizado o condutor *PARTRIDGE 160 ( 136AL1/22-ST1A )* e o cabo de guarda *CAB17KA-24FO ( AS/AA 32/113 )*.

Os dados inseridos no *ApOpti* foram resumidos na Tabela 6.12.

| Apoio | Material | Altura | Função | Armação  | Vão montante [m] | Vão jusante [m] | Ângulo [grados] | Tcc <sub>montante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | Tcc <sub>jusante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | Tcg <sub>montante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | Tcg <sub>jusante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] |
|-------|----------|--------|--------|----------|------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1     | Metálico | 15     | R.ANG  | Metálica | 31.09            | 167.11          | -35.57          | 2                                              | 8                                             | 5                                              | 11                                            |
| 2     | Betão    | 24     | ANG    | GAN      | 167.11           | 316.65          | -31.05          | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 3     | Betão    | 28     | ANG    | GAN      | 316.65           | 241.63          | 26.23           | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 4     | Metálico | 24     | ANG    | Metálica | 241.63           | 207.94          | 40.98           | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 5     | Betão    | 28     | ALI    | GAL      | 207.94           | 192.38          | -               | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 6     | Betão    | 30     | ANG    | GAN      | 192.38           | 311.34          | 14.52           | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 7     | Metálico | 30     | ANG    | Metálica | 311.34           | 284.88          | -37.78          | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 8     | Metálico | 30     | ANG    | Metálica | 284.88           | 225.11          | 12.29           | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 9     | Betão    | 30     | ANG    | GAN      | 225.11           | 237.65          | -12.15          | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 10    | Metálico | 18     | R.ANG  | Metálica | 237.65           | 243.01          | 48.28           | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 11    | Betão    | 28     | ALI    | GAL      | 243.01           | 246.88          | -               | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 12    | Betão    | 26     | ALI    | GAL      | 246.88           | 233.70          | -               | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 13    | Betão    | 28     | ALI    | GAN      | 233.70           | 253.17          | -               | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 14    | Metálico | 30     | ALI    | Metálica | 253.17           | 193.17          | -               | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 15    | Betão    | 24     | ANG    | GAN      | 193.17           | 211.95          | 11.02           | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 16    | Betão    | 30     | ALI    | GAL      | 211.95           | 207.03          | -               | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 17    | Betão    | 28     | ALI    | GAL      | 207.03           | 169.41          | -               | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 18    | Metálico | 15     | R.ANG  | Metálica | 169.41           | 60.32           | 45.59           | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 19    | Metálico | 15     | FL     | Metálica | 60.32            | 0.00            | -               | 8                                              | 6                                             | 11                                             | 8                                             |

Tabela 6.12: Resumo dados linha - caso B

De seguida, na Tabela 6.13, apresenta-se a comparação entre os apoios dimensionados pelo *PLS-CADD* e os apoios calculados pelo *ApOpti*.



| Apoio | PLS-CADD              | Coefficiente de Esforço<br>PLS-CADD | ApOpti                | Coefficiente de Esforço<br>ApOpti | Comparação |
|-------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|-----------------------------------|------------|
| 1     | F95CD/15              | 68%                                 | F95CD/15              | 68%                               | OK         |
| 2     | 24 AK06 / 4000 / 2000 | 90%                                 | 24 AM10 / 5000        | 70%                               | NOK        |
| 3     | 28 AK06 / 4000 / 2000 | 83%                                 | 28 AM10 / 5000        | 65%                               | NOK        |
| 4     | F65CD/24              | 77%                                 | F65CD/24              | 77%                               | OK         |
| 5     | 28 AP04 / 1600        | 57%                                 | 28 AP02 / 1200        | 67%                               | NOK        |
| 6     | 30 AM06 / 2750        | -                                   | 30 AK06 / 4000 / 2000 | 56%                               | NOK        |
| 7     | F65CD/30              | 80%                                 | F65CD/30              | 80%                               | OK         |
| 8     | F45CA/30              | 50%                                 | F45CA/30              | 50%                               | OK         |
| 9     | 30 AM06 / 2750        | -                                   | 30 AK06 / 4000 / 2000 | 49%                               | NOK        |
| 10    | F95CA/18              | 89%                                 | F165CD/18             | 52%                               | NOK        |
| 11    | 28 AP04 / 1600        | 69%                                 | 28 AP04 / 1600        | 69%                               | OK         |
| 12    | 26 AP04 / 1600        | 68%                                 | 26 AP02 / 1200        | 79%                               | NOK        |
| 13    | 28 AM06 / 2750        | 34%                                 | 28 AP04 / 1600        | 69%                               | NOK        |
| 14    | F30CD/30              | 73%                                 | F30CD/30              | 73%                               | OK         |
| 15    | 24 AM06 / 2750        | 63%                                 | 24 AM04 / 2250        | 78%                               | NOK        |
| 16    | 30 AM06 / 2750        | -                                   | 30 AK06 / 4000 / 2000 | 21%                               | NOK        |
| 17    | 28 AP04 / 1600        | 54%                                 | 28 AP02 / 1200        | 64%                               | NOK        |
| 18    | F95CA/15              | 83%                                 | F165CD/15             | 49%                               | NOK        |
| 19    | F95CD/15              | 65%                                 | F95CD/15              | 65%                               | OK         |

Tabela 6.13: Comparação entre *PLS-CADD* e *ApOpti* - caso B

Existem algumas diferenças entre os apoios calculados pelo *PLS-CADD* e os calculados pelo *ApOpti*, as quais são explanadas de seguida:

- Foi estabelecida uma margem de segurança para o projeto de 20%. No entanto, houve situações em que o projetista decidiu usar uma margem de segurança menor. Foram essas os apoios 2, 3, 10 e 18;
- O projetista, utilizando a sua capacidade de análise, escolheu, mesmo estando a trabalhar dentro da margem de segurança, colocar apoios com menor taxa de esforço, de forma a salvaguardar, por exemplo, uma futura derivação da linha, ou por uma gestão de *stock* de apoios da parte do construtor da linha. Essas situações ocorreram nos apoios 5, 12, 13, 15, e 17;
- Por fim, nos apoios de 30 metros, sendo eles os apoios 6, 9 e 16, não se encontra modelizado o apoio AM06/2750<sup>2</sup> para essa altura, tendo em conta o catálogo da Cavan. Por este motivo, o *ApOpti* escolheu o primeiro apoio de 30 metros que cumprisse os esforços exercidos.

Assim sendo, estão explicadas as diferenças de resultados do cálculo dos apoios pelo *PLS-CADD* e pelo *ApOpti*.

Por fim foi feita a validação a partir do programa *Clinhas*, de forma a perceber se os apoios calculados pelo *ApOpti* se encontram bem dimensionados, encontrando-se esses valores na Tabela 6.14.

<sup>2</sup>Este apoio, no catálogo da Cavan, apenas se encontra modelizado para alturas entre 14 e 28 metros.

| APOIOS |       |                       | CARGAS |       |       |      |      |     |    |
|--------|-------|-----------------------|--------|-------|-------|------|------|-----|----|
| N.     | F+I+R | TIPO                  | FXmax  | FYmax | FZmax | FX   | FY   | FZ  | Ve |
| 1      | A B R | F95CD/15              | 8480   | 9072  | 3355  | 3569 | 2357 | 395 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 3590 | 0    | 395 |    |
| 2      | A A N | 24 AM10 / 5000        | 2467   | 4934  | -     | 0    | 3490 | 704 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 160  | 0    | 704 |    |
| 3      | A A N | 28 AM10 / 5000        | 2467   | 4934  | -     | 0    | 3231 | 785 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 188  | 0    | 785 |    |
| 4      | A A N | F65CD/24              | 1742   | 6055  | 2695  | 0    | 4206 | 667 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 142  | 0    | 667 |    |
| 5      | A A N | 30 AK06 / 4000 / 2000 | 541    | 1159  | -     | 0    | 792  | 614 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 140  | 0    | 614 |    |
| 6      | A A N | 30 AK06 / 4000 / 2000 | 1938   | 3876  | -     | 0    | 2188 | 726 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 174  | 0    | 726 |    |
| 7      | A A N | F65CD/30              | 1742   | 6055  | 2695  | 0    | 4196 | 826 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 191  | 0    | 826 |    |
| 8      | A A N | F65CD/30              | 1742   | 6055  | 2695  | 0    | 2014 | 733 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 177  | 0    | 733 |    |
| 9      | A A N | 30 AK06 / 4000 / 2000 | 1938   | 3876  | -     | 0    | 1920 | 681 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 161  | 0    | 681 |    |
| 10     | A B R | F165CD/18             | 15221  | 15736 | 5047  | 0    | 4805 | 701 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 3590 | 0    | 701 |    |
| 11     | A A N | 28 AP04 / 1600        | 630    | 1356  | -     | 0    | 949  | 711 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 172  | 0    | 711 |    |
| 12     | A A N | 26 AP02 / 1200        | 541    | 1159  | -     | 0    | 933  | 701 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 169  | 0    | 701 |    |
| 13     | A A N | 28 AP04 / 1600        | 630    | 1356  | -     | 0    | 944  | 707 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 171  | 0    | 707 |    |
| 14     | A A N | F30CD/30              | 417    | 2453  | 5096  | 0    | 873  | 664 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 157  | 0    | 664 |    |
| 15     | A A N | 24 AM04 / 2250        | 979    | 2203  | -     | 0    | 1726 | 619 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 141  | 0    | 619 |    |
| 16     | A A N | 30 AK06 / 4000 / 2000 | 1938   | 3876  | -     | 0    | 825  | 634 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 147  | 0    | 634 |    |
| 17     | A A N | 28 AP02 / 1200        | 541    | 1159  | -     | 0    | 750  | 588 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 132  | 0    | 588 |    |
| 18     | A B R | F165CD/15             | 15221  | 15736 | 5047  | 0    | 4218 | 429 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 3590 | 0    | 429 |    |
| 19     | A B F | F95CD/15              | 8480   | 9072  | 3355  | 5385 | 151  | 155 | 1  |
|        |       |                       |        |       |       | 21   | 0    | 155 |    |

Tabela 6.14: Validação apoios no programa *Clinhas* - caso B

Conclui-se que o dimensionamento de apoios realizado pelo *ApOpti*, para linhas simples de 60 kV, está concordante com o calculado pelo programa *CLinhas*.

Por fim, apresenta-se o cálculo elétrico para a linha em análise, na Tabela 6.15.

| Cálculo Elétrico                     |            |                                        |            |
|--------------------------------------|------------|----------------------------------------|------------|
| Corrente Nominal [A]                 | 240.56     | Susceptância [S/km]                    | 5.4839E-05 |
| Resistência Elétrica [ $\Omega$ /km] | 2.4921E-01 | Impedância [ $\Omega$ ]                | 7.55       |
| r fictício [mm]                      | 8.16       | Admitância [S]                         | 4.01       |
| Coefficiente Auto-Indução [H/km]     | 2.4005E-02 | Impedância Característica [ $\Omega$ ] | 1.37       |
| Capacidade [F/km]                    | 1.7456E-07 | Perdas da Linha [MW]                   | 0.17       |
| Condutância [S]                      | 4.01       | Queda de Tensão [V]                    | 415.69     |
| Reactância [ $\Omega$ /km]           | 7.54       | Queda Tensão [%]                       | 0.69%      |

Tabela 6.15: Cálculo elétrico da linha - caso B

### 6.2.3 Linha Dupla - 60 kV

Esta linha dupla, a 60 kV, pretende interligar a subestação A e a subestação B. É constituída por 9 apoios, com uma extensão de 1424,87 metros. Apresenta-se na Figura 6.3 o esquema da ligação.

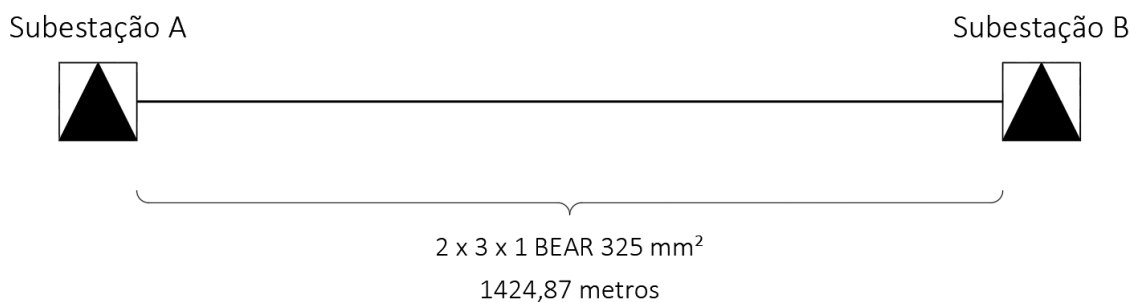


Figura 6.3: Esquema de ligação - linha dupla, a 60 kV - caso C

A linha em análise tem o  $\cos\phi$  de 0,96 e transporta 45 MVA. Está inserida numa zona sem gelo e a sua altura localiza-se abaixo dos 30 metros, pelo que foi analisada a um  $q$  de 750 Pa. Foi definida para este projeto uma margem de segurança de 10% para os apoios.

Foi utilizado o condutor *BEAR 325* ( 264-AL1/62-ST1A ) e o cabo de guarda *GUINEA 130* ( 80AL1/47-ST1A ).

Os dados inseridos no *ApOpti* foram resumidos na Tabela 6.16.

| Apoio | Material | Altura | Função | Armação  | Vão montante [m] | Vão jusante [m] | Ângulo [grados] | Tcc <sub>montante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | Tcc <sub>jusante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | Tcg <sub>montante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | Tcg <sub>jusante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] |
|-------|----------|--------|--------|----------|------------------|-----------------|-----------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1     | Metálico | 15     | R.ANG  | Metálica | 50.16            | 156.84          | -               | 6                                              | 8                                             | 9                                              | 11                                            |
| 2     | Betão    | 24     | ANG    | GAN      | 156.84           | 145.36          | -               | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 3     | Betão    | 28     | ANG    | GAN      | 145.36           | 164.36          | 26.54           | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 4     | Metálico | 24     | ANG    | Metálica | 164.36           | 175.54          | 17.95           | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 5     | Betão    | 28     | ALI    | GAL      | 175.54           | 210.64          | -               | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 6     | Betão    | 30     | ANG    | GAN      | 210.64           | 262.40          | -               | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 7     | Metálico | 30     | ANG    | Metálica | 262.40           | 125.25          | -               | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 8     | Metálico | 30     | ANG    | Metálica | 125.25           | 139.15          | -16.58          | 8                                              | 8                                             | 11                                             | 11                                            |
| 9     | Betão    | 30     | ANG    | GAN      | 139.15           | 45.32           | 10.23           | 8                                              | 6                                             | 11                                             | 9                                             |

Tabela 6.16: Resumo dados linha - caso C

Para esta linha não existiu uma análise com recurso ao *PLS-CADD*, pelo que apenas se apresenta, de seguida, na Tabela 6.17, os resultados obtidos no programa *Clinhas*.

| APOIOS |       |                        | CARGAS |       |       |      |      |      |    |
|--------|-------|------------------------|--------|-------|-------|------|------|------|----|
| N.     | F+I+R | TIPO                   | FXmax  | FYmax | FZmax | FX   | FY   | FZ   | Ve |
| 1      | A B R | F165CD/24              | 15221  | 15736 | 5047  | 4168 | 910  | 1177 | 1  |
|        |       |                        |        |       |       | 8528 | 0    | 1177 |    |
| 2      | A A N | 22 AP03 / 1400         | 650    | 1400  | -     | 0    | 1246 | 1553 | 1  |
|        |       |                        |        |       |       | 213  | 0    | 1553 |    |
| 3      | A A N | F165CD/27              | 15221  | 15736 | 5047  | 0    | 8285 | 1583 | 1  |
|        |       |                        |        |       |       | 209  | 0    | 1583 |    |
| 4      | A A N | 26 AK10 / 7500 / 3400  | 3400   | 7500  | -     | 0    | 6149 | 1702 | 1  |
|        |       |                        |        |       |       | 235  | 0    | 1702 |    |
| 5      | A B R | 24 AK14 / 11000 / 4500 | 9768   | 3996  | -     | 0    | 1542 | 1885 | 1  |
|        |       |                        |        |       |       | 8528 | 0    | 1885 |    |
| 6      | A A N | 26 AM04 / 2250         | 1000   | 2250  | -     | 0    | 1849 | 2228 | 1  |
|        |       |                        |        |       |       | 334  | 0    | 2228 |    |
| 7      | A A N | 28 AM04 / 2250         | 1000   | 2250  | -     | 0    | 1548 | 1891 | 1  |
|        |       |                        |        |       |       | 274  | 0    | 1891 |    |
| 8      | A A N | 24 AK10 / 7500 / 3400  | 3400   | 7500  | -     | 0    | 5526 | 1404 | 1  |
|        |       |                        |        |       |       | 183  | 0    | 1404 |    |
| 9      | A B R | F165CD/27              | 15221  | 15736 | 5047  | 4155 | 3230 | 1089 | 1  |
|        |       |                        |        |       |       | 8528 | 0    | 1089 |    |

Tabela 6.17: Validação apoios no programa *Clinhas* - caso C

Conclui-se que o dimensionamento de apoios realizado pelo *ApOpti*, para linhas duplas de 60 kV, se encontra de acordo com o previsto pelo programa *CLinhas*.

Por fim, apresenta-se o cálculo elétrico para a linha em análise, na Tabela 6.18.

| Cálculo Elétrico                     |            |                                        |            |
|--------------------------------------|------------|----------------------------------------|------------|
| Corrente Nominal [A]                 | 451.05     | Susceptância [S/km]                    | 4.5105E+02 |
| Resistência Elétrica [ $\Omega$ /km] | 1.9645E-04 | Impedância [ $\Omega$ ]                | 3.42       |
| r fictício [mm]                      | 0.00       | Admitância [S]                         | 0.00       |
| Coefficiente Auto-Indução [H/km]     | 1.1725E+01 | Impedância Característica [ $\Omega$ ] | 3.42       |
| Capacidade [F/km]                    | 1.0877E-02 | Perdas da Linha [MW]                   | 5090.47    |
| Condutância [S]                      | 0.00       | Queda de Tensão [V]                    | 1065.27    |
| Reactância [ $\Omega$ /km]           | 5090.47    | Queda Tensão [%]                       | 1.78%      |

Tabela 6.18: Cálculo elétrico da linha - caso C

### 6.2.4 Linha Dupla Geminada - 60 kV

Esta linha dupla geminada, a 60 kV, pretende interligar dois núcleos de uma central fotovoltaica. É constituída por 7 apoios, com uma extensão de 918,53 metros. Apresenta-se na Figura 6.4 o esquema da ligação.

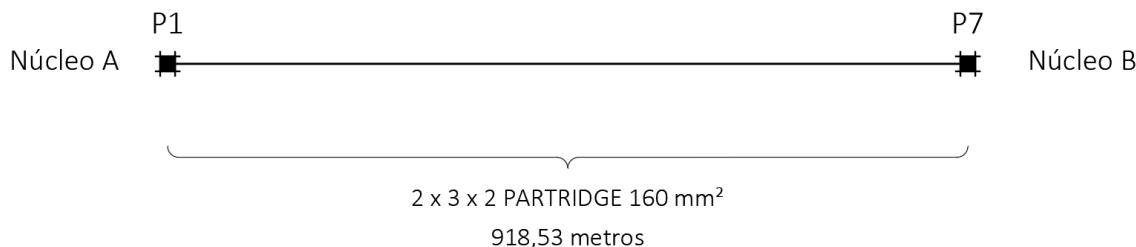


Figura 6.4: Esquema de ligação - linha dupla geminada, a 60 kV - caso D

A linha em análise tem o  $\cos\phi$  unitário e transporta 70 MVA. Está inserida numa zona sem gelo e a sua altura localiza-se acima dos 30 metros, pelo que foi analisada a um  $q$  de 900 Pa. Foi definida para este projeto uma margem de segurança de 10% para os apoios.

Foi utilizado o condutor *PARTRIDGE 160* ( *136AL1/22-ST1A* ) e o cabo de guarda *Q&Q25KA-24FO* ( *124-A3/SA1A-13/5* ). Foram ainda utilizados separadores de fase de 200 mm.

Os dados inseridos no *ApOpti* foram resumidos na Tabela 6.19.

| Apoio | Material | Altura | Função | Armação  | Vão jusante [m] | Ângulo [grados] | Tcc <sub>jusante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] | Tcg <sub>jusante</sub> [daN/mm <sup>2</sup> ] |
|-------|----------|--------|--------|----------|-----------------|-----------------|-----------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1     | Metálico | 27     | IL     | Metálica | 125.23          | -               | 6                                             | 8                                             |
| 2     | Betão    | 24     | ALI    | EVDAL    | 162.68          | -               | 8                                             | 10                                            |
| 3     | Betão    | 26     | ANG    | EVDAN    | 90.32           | -16.59          | 8                                             | 10                                            |
| 4     | Metálico | 24     | ALI    | Metálica | 139.52          | -               | 8                                             | 10                                            |
| 5     | Betão    | 28     | ALI    | EVDAL    | 210.52          | -               | 8                                             | 10                                            |
| 6     | Metálico | 24     | R.ANG  | Metálica | 190.26          | 12.36           | 5                                             | 7                                             |
| 7     | Metálico | 27     | FL     | Metálica | -               | -               | -                                             | -                                             |

Tabela 6.19: Resumo dados linha - caso D

Para esta linha não existiu uma análise com recurso ao *PLS-CADD*, pelo que apenas se apresenta, de seguida, na Tabela 6.20, os resultados obtidos no programa *Clinhas*.

| APOIOS |       |                   | C A R G A S |       |       |       |      |      |    |
|--------|-------|-------------------|-------------|-------|-------|-------|------|------|----|
| N.     | F+I+R | TIPO              | FXmax       | FYmax | FZmax | FX    | FY   | FZ   | Ve |
| 1      | A B F | F165CD/27         | 15221       | 15736 | 5047  | 12721 | 900  | 816  | 1  |
|        |       |                   |             |       |       | 144   | 0    | 816  |    |
| 2      | A A N | K18-145/57-24     | 5624        | 14307 | -     | 4123  | 2015 | 1769 | 1  |
|        |       |                   |             |       |       | 331   | 0    | 1769 |    |
| 3      | A A N | K10-75/34-26      | 3334        | 7353  | -     | 0     | 6167 | 1642 | 1  |
|        |       |                   |             |       |       | 286   | 0    | 1642 |    |
| 4      | A A N | F65CD/24          | 1742        | 6055  | 2695  | 0     | 1681 | 1558 | 1  |
|        |       |                   |             |       |       | 264   | 0    | 1558 |    |
| 5      | A A N | AM06-2750/1300-28 | 1275        | 2697  | -     | 0     | 2372 | 1996 | 1  |
|        |       |                   |             |       |       | 402   | 0    | 1996 |    |
| 6      | A B R | F165CD/24         | 15221       | 15736 | 5047  | 6156  | 5307 | 2181 | 1  |
|        |       |                   |             |       |       | 8422  | 0    | 2181 |    |
| 7      | A B F | F165CD/27         | 15221       | 15736 | 5047  | 10659 | 1273 | 1053 | 1  |
|        |       |                   |             |       |       | 219   | 0    | 1053 |    |

Tabela 6.20: Validação apoios no programa *Clinhas* - caso D

Conclui-se que o dimensionamento de apoios realizado pelo *ApOpti*, para linhas duplas geminadas de 60 kV, se encontra de acordo com o previsto pelo programa *CLinhas*.

Por fim, apresenta-se o cálculo elétrico para a linha em análise, na Tabela 6.21.

| Cálculo Elétrico                     |            |                                        |            |
|--------------------------------------|------------|----------------------------------------|------------|
| Corrente Nominal [A]                 | 673.58     | Susceptância [S/km]                    | 3.0464E-05 |
| Resistência Elétrica [ $\Omega$ /km] | 6.2302E-02 | Impedância [ $\Omega$ ]                | 1.80       |
| r fictício [mm]                      | 75.59      | Admitância [S]                         | 16.05      |
| Coefficiente Auto-Indução [H/km]     | 5.7208E-03 | Impedância Característica [ $\Omega$ ] | 0.33       |
| Capacidade [F/km]                    | 9.6971E-08 | Perdas da Linha [MW]                   | 0.31       |
| Condutância [S]                      | 16.05      | Queda de Tensão [V]                    | 66.76      |
| Reactância [ $\Omega$ /km]           | 1.80       | Queda Tensão [%]                       | 0.11%      |

Tabela 6.21: Cálculo elétrico da linha - caso D

## Capítulo 7

# Conclusões e desenvolvimentos futuros

### 7.1 Conclusão

Tendo sido assumido pelos governos da UE e, em particular, por Portugal, a necessidade de acelerar a descarbonização da atividade humana, correspondendo ao novo conceito de "eletrificação da economia", os operadores das redes deparam-se com um grande desafio: a urgência da construção de linhas, ou o aumento da capacidade das existentes, para interligação de um número crescente de novas centrais de energia renovável à RESP. Para isso, esta área da engenharia eletrotécnica, a de projeto, está mais viva que nunca, embora os fundamentos em que assenta se mantenham, na sua grande parte, inalteradas até aos dias de hoje.

Se por um lado é imprescindível entender tudo o que envolve o projeto de uma linha MT ou AT, por outro, torna-se necessário criar ferramentas que auxiliem o Engenheiro Eletrotécnico a tomar as melhores decisões face às necessidades apresentadas, quer seja na criação de uma nova linha, de uma linha de reforço ou de *upgrading* ou *uprating*.

O cálculo mecânico assume, para um projetista, uma dimensão considerável num projeto, tendo este de tomar as decisões que melhor compatibilizarem a solução técnica e a solução económica, nunca piorando os dispostos na regulamentação em vigor, salvaguardando sempre os bens e as pessoas. Embora existam já programas muito avançados, como é o exemplo do PLS-CADD, há necessidade prévia de o parametrizar, podendo ser cometidos alguns erros nesta fase. Assim, agindo como mais uma salvaguarda para um Engenheiro, torna-se interessante criar uma ferramenta de auxílio e verificação desses mesmos cálculos, tendo sido esse o objetivo desta dissertação.

Concluída a sua elaboração, assumem-se todos os objetivos inicialmente propostos como concluídos com sucesso, visto que, após a análise aprofundada da parte teórica, foi possível o desenvolvimento e implementação da ferramenta de cálculo *ApOpti*, que realiza o cálculo mecânico e elétrico para linhas MT e AT. Esta ferramenta ainda calcula o estado mais desfavorável a que cada condutor está sujeito, bem como o vão equivalente de um cantão.

O seu desenvolvimento foi realizado tendo sempre em vista a fácil utilização do *ApOpti* por parte do utilizador, bem como facilitar ao mesmo todos os dados necessários a pequenas validações

por parte do utilizador.

O *ApOpti* permite o cálculo tanto para linhas MT e AT, como para linhas com derivações e sem derivações, o que oferece uma maior versatilidade ao projetista.

Verificou-se, face a um programa mundialmente utilizado no cálculo mecânico de linhas, que o *ApOpti* é fiável e que executa com rapidez todos os cálculos que um projetista necessita para o projeto de linhas MT e AT.

## 7.2 Desenvolvimentos futuros

O *ApOpti* é robusto e está preparado para ser alterado, incorporando mais funcionalidades, à medida de cada projetista. Deixam-se, de seguida, algumas sugestões de funcionalidades a incorporar:

- A seleção da pressão dinâmica do vento  $q$  a ser utilizada poderá ser escolhida por apoio. Desta forma, é possível, dentro da mesma linha, ter uns apoios calculados a 750 Pa e outros a 900 Pa, assemelhando-se mais à realidade do projeto de linhas MT e AT;
- A possibilidade de escolha do condutor e do cabo de guarda para cada derivação: a ferramenta *ApOpti* está desenhada para que todas as derivações de uma linha possuam o mesmo condutor e o mesmo cabo de guarda. Podendo não ser essa a realidade, seria interessante implementar essa melhoria, de forma a tornar a ferramenta mais versátil;
- Por fim, e embora ambiciosa, seria proveitoso o desenvolvimento de uma funcionalidade que permitisse a fácil exportação de uma linha projetada no *ApOpti* para um *software* de CAD. Desta forma, sobrepondo a orografia do terreno, seria possível identificar se a linha projetada cumpria todas as distâncias de segurança.

Com estes desenvolvimentos futuros, o *ApOpti* poderia vir a ser uma ferramenta de referência no mundo da Engenharia, com um grande potencial no cálculo mecânico e elétrico de linhas MT e AT, visto nenhuma das aplicações gratuitas mencionadas e exploradas ao longo da dissertação oferecer todas as possibilidades que esta ferramenta de cálculo disponibiliza.



# **Anexos**

# Anexo A

## Base de dados cabos

Como referido, os cabos condutores usados por esta ferramenta têm por base os condutores tipicamente utilizados pelo operador da RND, representados na Tabela A.1.

| Material | Nomenclatura                        | Sãtil [mm²] | Diâmetro Cabo [mm] | RMG    | Raio médio Geométrico [m] | mc [kg/km] | p [daN/m] | Tr [daN] | E[daN] | E[daN] | Coefficiente Dilatação Linear | alphaT [1/K] | R.20°C CC [ohm/km] |
|----------|-------------------------------------|-------------|--------------------|--------|---------------------------|------------|-----------|----------|--------|--------|-------------------------------|--------------|--------------------|
| ACSR     | ACSR 30 ( 26-AL14-ST1A )            | 30,6        | 7,08               | 0,763  | 0,0027                    | 106,7      | 0,1046    | 924      | 76000  | 1,86   | 0,0000186                     | 1,093        |                    |
| ACSR     | ACSR 50 ( 42-AL17-ST1A )            | 49,5        | 9                  | 0,778  | 0,0035                    | 172,4      | 0,1691    | 1493     | 76000  | 1,86   | 0,0000186                     | 0,977        |                    |
| ACSR     | ACSR 70 ( ACSR 70 )                 | 69,29       | 10,65              | 0,7788 | 0,0083                    | 240        | 0,2354    | 2011     | 79380  | 1,9    | 0,000019                      | 0,482        |                    |
| ACSR     | ACSR 90 ( 80AL13-ST1A )             | 88          | 12                 | 0,767  | 0,0046                    | 306,4      | 0,3005    | 2528     | 76000  | 1,86   | 0,0000186                     | 0,381        |                    |
| ACSR     | ACSR 105 ( ACSR 105 )               | 106,8       | 13,43              | 0,7788 | 0,0105                    | 371        | 0,3638    | 3365     | 76004  | 1,9    | 0,000019                      | 0,314        |                    |
| ACSR     | ACSR 125 ( ACSR 125 )               | 125,8       | 14,6               | 0,7788 | 0,0114                    | 438        | 0,4295    | 3982     | 76004  | 1,9    | 0,000019                      | 0,267        |                    |
| ACSR     | GUINEA 130 ( 80AL147-ST1A )         | 127,4       | 14,6               | 0,74   | 0,0054                    | 588,4      | 0,577     | 6646     | 104000 | 1,53   | 0,0000153                     | 0,36         |                    |
| ACSR     | DORNING 153 ( 96AL156-ST1A )        | 152,81      | 16                 | 0,738  | 0,0059                    | 706,7      | 0,6931    | 7708     | 104000 | 1,53   | 0,0000153                     | 0,299        |                    |
| ACSR     | CANNA 116 ( 94AL122-ST1A )          | 116,2       | 14                 | 0,814  | 0,0057                    | 432,2      | 0,4239    | 4241     | 80000  | 1,79   | 0,0000179                     | 0,307        |                    |
| ACSR     | ACSR 235 ( 203AL13-ST1A )           | 235,1       | 19,89              | 0,814  | 0,0081                    | 813,3      | 0,7976    | 6882     | 73000  | 1,89   | 0,0000189                     | 0,143        |                    |
| ACSR     | PARTRIDGE 160 ( 136AL122-ST1A )     | 157,92      | 16,32              | 0,809  | 0,0066                    | 547,3      | 0,5367    | 4775     | 73000  | 1,89   | 0,0000189                     | 0,212        |                    |
| ACSR     | ACRS 175 ( ACRS 175 )               | 175,8       | 17,24              | 0,7788 | 0,0134                    | 611        | 0,5992    | 5394     | 76004  | 1,9    | 0,000019                      | 0,191        |                    |
| ACSR     | PANTHER 260 ( 212-AL149-ST1A )      | 261,6       | 21                 | 0,819  | 0,0086                    | 972,4      | 0,9536    | 9076     | 80000  | 1,79   | 0,0000179                     | 0,136        |                    |
| ACSR     | BEAR 325 ( 264-AL162-ST1A )         | 326,12      | 23,45              | 0,819  | 0,0096                    | 1212,6     | 1,1892    | 10938    | 80000  | 1,79   | 0,0000179                     | 0,109        |                    |
| ACSR     | TEJO 374 ( TEJO 374 )               | 373,9       | 25,11              | 0,7788 | 0,0196                    | 1615,17    | 1,584     |          | 91630  | 0      | 0                             |              |                    |
| ACSR     | ZEBRA 485 ( 429-AL196-ST1A )        | 484,48      | 28,62              | 0,811  | 0,0116                    | 1618,9     | 1,5877    |          | 70000  | 1,94   | 0,0000194                     | 0,067        |                    |
| ACSR     | ZAMBEZE 595 ( 565AL179-ST1A )       | 594,97      | 31,8               | 0,786  | 0,0125                    | 1792,4     | 1,7578    | 11967    | 62000  | 2,12   | 0,0000212                     | 0,051        |                    |
| AA       | ASTER 34,6 ( 34-AL4 )               | 34,4        | 7,5                | 0,7788 | 0,0058                    | 93,8       | 0,092     | 11717    | 62000  | 2,3    | 0,000023                      | 0,959        |                    |
| AA       | ASTER 54,6 ( 55-AL4 )               | 54,6        | 9,45               | 0,7788 | 0,0074                    | 148,9      | 0,146     | 1773     | 62000  | 2,3    | 0,000023                      | 0,604        |                    |
| AA       | ASTER 75,5 ( 76-AL4 )               | 75,5        | 11,25              | 0,7788 | 0,0088                    | 207,4      | 0,2034    | 2455     | 60000  | 2,3    | 0,000023                      | 0,439        |                    |
| AA       | ASTER 117 ( 117-AL4 )               | 117         | 14                 | 0,7788 | 0,0109                    | 321,2      | 0,315     | 3802     | 60000  | 2,3    | 0,000023                      | 0,283        |                    |
| AA       | ASTER 148 ( 148-AL4 )               | 148,1       | 15,8               | 0,7788 | 0,0123                    | 406,5      | 0,3987    | 4812     | 60000  | 2,3    | 0,000023                      | 0,224        |                    |
| AA       | ASTER 570 ( 570-AL4 )               | 570,2       | 31,1               | 0,7788 | 0,0242                    | 1576       | 1,5456    | 18533    | 54000  | 2,3    | 0,000023                      | 0,059        |                    |
| AA       | ASTER 851 ( 851-AL4 )               | 850,7       | 38                 | 0,7788 | 0,0296                    | 2360,7     | 2,3151    | 27847    | 52500  | 2,3    | 0,000023                      | 0,039        |                    |
| AA       | ASTER 1144 ( 1144-AL4 )             | 1143,5      | 44                 | 0,7788 | 0,0343                    | 3173,4     | 3,1122    | 36022    | 52500  | 2,3    | 0,000023                      | 0,029        |                    |
| ST       | SWG 40 ( SWG 40 )                   | 38,29       | 7,92               | 1      | 0,004                     | 315        | 0,3089    | 2629     | 194870 | 1,15   | 0,0000115                     | 5,003        |                    |
| ST       | SWG 50 ( SWG 50 )                   | 48,4        | 9,14               | 1      | 0,0046                    | 410        | 0,4021    | 3679     | 186390 | 1,15   | 0,0000115                     | 3,756        |                    |
| ST       | SWG 80 ( SWG 80 )                   | 81,61       | 11,69              | 1      | 0,0058                    | 649        | 0,6365    | 7063     | 185800 | 1,15   | 0,0000115                     | 2,347        |                    |
| Cu       | CU 16 ( CU 16 )                     | 15,9        | 5,1                | 1      | 0,0026                    | 144        | 0,1412    | 659      | 102900 | 1,7    | 0,000017                      | 1,13         |                    |
| Cu       | CU 25 ( CU 25 )                     | 25,98       | 8,6                | 1      | 0,0033                    | 237        | 0,2324    | 1056     | 102900 | 1,7    | 0,000017                      | 0,694        |                    |
| Cu       | CU 35 ( CU 35 )                     | 35,9        | 7,75               | 1      | 0,0039                    | 327        | 0,3207    | 1440     | 102900 | 1,7    | 0,000017                      | 0,503        |                    |
| Cu       | CU 50 ( CU 50 )                     | 48,3        | 9                  | 1      | 0,0045                    | 440        | 0,4315    | 1938     | 102900 | 1,7    | 0,000017                      | 0,373        |                    |
| Cu       | CU 70 ( CU 70 )                     | 70,9        | 10,9               | 1      | 0,0055                    | 646        | 0,6335    | 2817     | 102900 | 1,7    | 0,000017                      | 0,254        |                    |
| Cu       | CU 95 ( CU 95 )                     | 93,3        | 12,5               | 1      | 0,0063                    | 850        | 0,8336    | 3703     | 102900 | 1,7    | 0,000017                      | 0,193        |                    |
| Cu       | CU 120 ( CU 120 )                   | 116,2       | 14                 | 1      | 0,007                     | 1062       | 1,0415    | 4515     | 102900 | 1,7    | 0,000017                      | 0,156        |                    |
| Cu       | CU 150 ( CU 150 )                   | 145,8       | 15,68              | 1      | 0,0078                    | 1332       | 1,3063    | 5660     | 102900 | 1,7    | 0,000017                      | 0,124        |                    |
| Cu       | CU 185 ( CU 185 )                   | 181,6       | 17,5               | 1      | 0,0088                    | 1660       | 1,628     | 7055     | 102900 | 1,7    | 0,000017                      | 0,1          |                    |
| Cu       | CU 240 ( CU 240 )                   | 240         | 20,16              | 1      | 0,0101                    | 2205       | 2,1624    | 9027     | 102900 | 1,7    | 0,000017                      | 0,076        |                    |
| Cu       | CU 300 ( CU 300 )                   | 299         | 22,5               | 1      | 0,0113                    | 2747       | 2,694     | 11244    | 102900 | 1,7    | 0,000017                      | 0,061        |                    |
| Cu       | CU 400 ( CU 400 )                   | 402,9       | 26,1               | 1      | 0,0131                    | 3690       | 3,6188    | 13504    | 102900 | 1,7    | 0,000017                      | 0,045        |                    |
| AA       | ASTER 288                           | 288,3       | 22,1               |        |                           |            | 0,794     | 8506     | 57000  |        | 0                             | 0,115        |                    |
| AA       | ASTER 188                           | 188,1       | 17,8               |        |                           |            | 0,5065    | 5924     | 57000  |        | 0                             | 0,1776       |                    |
| OPGW     | CAB14,5KA-24FO ( AS/AA 4080 )       | 119         | 14,5               | 1      | 0,0073                    | 504        | 0,4943    | 7375     | 91280  | 1,75   | 0,0000175                     | 0,347        |                    |
| OPGW     | CAB17KA-24FO ( AS/AA 32113 )        | 145         | 16                 | 1      | 0,008                     | 557        | 0,5462    | 7000     | 82000  | 1,8    | 0,000018                      | 0,292        |                    |
| OPGW     | CAB17KA-48FO ( AS/AA 43103 )        | 146         | 16,5               | 1      | 0,0083                    | 618        | 0,6061    | 8483     | 89891  | 1,77   | 0,0000177                     | 0,292        |                    |
| OPGW     | Q&Q17KA-24FO ( 98-A3SA1A-13/5 )     | 129,1       | 15                 | 1      | 0,0075                    | 506,7      | 0,4969    | 7230     | 84500  | 1,77   | 0,0000177                     | 0,318        |                    |
| OPGW     | Q&Q17KA-48FO ( 98-A3SA1A-13/4 )     | 136,4       | 15,75              | 1      | 0,0079                    | 523,3      | 0,5132    | 7030     | 80000  | 1,82   | 0,0000182                     | 0,296        |                    |
| OPGW     | Q&Q25KA-24FO ( 124-A3SA1A-13/5 )    | 175,3       | 17,5               | 1      | 0,00875                   | 686,2      | 0,673     | 9550     | 84500  | 1,77   | 0,0000177                     | 0,233        |                    |
| OPGW     | Q&Q25KA-48FO ( 135-A3SA1A-13/5 )    | 190,6       | 18,25              | 1      | 0,00913                   | 747,9      | 0,7335    | 10380    | 84500  | 1,77   | 0,0000177                     | 0,215        |                    |
| OPGW     | Q&Q31,5KA-24FO ( 155-A3SA1A-13/5 )  | 219,7       | 19,6               | 1      | 0,0098                    | 857,9      | 0,8413    | 11740    | 84500  | 1,77   | 0,0000177                     | 0,186        |                    |
| OPGW     | Q&Q31,5KA-48FO ( 155-A3SA1A-13/5 )  | 219,7       | 19,6               | 1      | 0,0098                    | 857,9      | 0,8413    | 11740    | 84500  | 1,77   | 0,0000177                     | 0,186        |                    |
| OPGW     | SIEM17KA-24FO ( AVIACS 12728 )      | 167,6       | 17                 | 1      | 0,0085                    | 585        | 0,5737    | 7200     | 76000  | 1,91   | 0,0000191                     | 0,23         |                    |
| OPGW     | SIEM25KA-24FO ( AVIACS 14021 )      | 181,6       | 18                 | 1      | 0,009                     | 610        | 0,5982    | 6800     | 70000  | 2,01   | 0,0000201                     | 0,2          |                    |
| OPGW     | SIEM31,5KA-24FO ( AVIACS 18026 )    | 223,3       | 19,7               | 1      | 0,00985                   | 740        | 0,7257    | 8300     | 70000  | 2,01   | 0,000201                      | 0,17         |                    |
| ADSS     | ADSS15M4-CAB ( TON GZE )            | 26          | 15                 | 1      | 0,0075                    | 185        | 0,1814    | 4000     | 82000  | 4,5    | 0,0000045                     |              |                    |
| ADSS     | ADSS400-24FO ( TON Q&ZEIS-11KN-24 ) | 19          | 16,5               | 1      | 0,0083                    | 210        | 0,2059    | 4000     | 82000  | 4,5    | 0,0000045                     |              |                    |
| ADSS     | ADSS400-48FO ( TON Q&ZEIS-11KN-48 ) | 22          | 17                 | 1      | 0,0085                    | 240        | 0,2354    | 4000     | 78000  | 5,2    | 0,0000052                     |              |                    |
| ADSS     | ADSS600-24FO ( TON Q&ZEIS-14KN-24 ) | 24          | 16,5               | 1      | 0,0083                    | 210        | 0,2059    | 5500     | 83000  | 2,3    | 0,0000023                     |              |                    |
| ADSS     | ADSS600-48FO ( TON Q&ZEIS-14KN-48 ) | 26          | 17                 | 1      | 0,0085                    | 240        | 0,2354    | 5500     | 80000  | 3,8    | 0,0000038                     |              |                    |

Tabela A.1: Cabos normalizados E-Redes

## Anexo B

### Base de dados isoladores

As especificações dos isoladores utilizados podem encontrar-se na Tabela B.1, bem como na secção 2.3.3.

| Nomenclatura | Nome Isolador | Quantidade | Tração Rutura [kN] | Peso [kg] | Peso Total [kg] | Diâmetro [mm] | Comprimento [mm] | Comprimento Total [m] |
|--------------|---------------|------------|--------------------|-----------|-----------------|---------------|------------------|-----------------------|
| 3x U70BS     | U70BS         | 3          | 70                 | 4.6       | 13.8            | 255           | 127              | 0.381                 |
| 6x U70BS     | U70BS         | 6          | 70                 | 4.6       | 27.6            | 255           | 127              | 0.762                 |
| 3x U100BS    | U100BS        | 3          | 100                | 3.75      | 11.25           | 255           | 127              | 0.381                 |
| 6x U100BS    | U100BS        | 6          | 100                | 3.75      | 22.5            | 255           | 127              | 0.762                 |
| 3x U100BLP   | U100BLP       | 3          | 100                | 5.6       | 16.8            | 280           | 146              | 0.438                 |
| 6x U100BLP   | U100BLP       | 6          | 100                | 5.6       | 33.6            | 280           | 146              | 0.876                 |

Tabela B.1: Isoladores normalizados E-Redes [13]

## Anexo C

### Base de dados armações

As especificações das armações utilizadas seguem os Desenhos Técnicos Normativos da E-Redes de Armações de Aço para linhas MT e os Desenhos Técnicos Normativos da E-Redes de Armações de Aço para linhas AT e podem ser consultadas nas Tabelas [C.1](#), [C.2](#), [C.3](#), [C.4](#), [C.5](#), [C.6](#), [C.7](#) e [C.8](#).

| Betão        |                      |                 |                 |                                  |
|--------------|----------------------|-----------------|-----------------|----------------------------------|
| MT           |                      |                 |                 |                                  |
| Tipo Armação | Distância Condutores |                 |                 | D <sub>geom. fases</sub><br>[mm] |
|              | D <sub>12</sub>      | D <sub>23</sub> | D <sub>13</sub> |                                  |
| TAN 60       | 1770.00              | 1452.49         | 2288.10         | 1805.18                          |
| TAN 80       | 1770.00              | 1452.49         | 2288.10         | 1805.18                          |
| TAN 120      | 1770.00              | 1452.49         | 2288.10         | 1805.18                          |
| TAL 60       | 1770.00              | 1452.49         | 2288.10         | 1805.18                          |
| TAL 80       | 1770.00              | 1452.49         | 2288.10         | 1805.18                          |
| TAL 120      | 1770.00              | 1452.49         | 2288.10         | 1805.18                          |
| GAL          | 2201.68              | 2482.98         | 1517.84         | 2024.50                          |
| GAN 80       | 1922.34              | 1922.34         | 1500.00         | 1769.77                          |
| GAN 120      | 1922.34              | 1922.34         | 1500.00         | 1769.77                          |
| VAL          | 875.00               | 875.00          | 1750.00         | 1102.43                          |
| VAN          | 875.00               | 875.00          | 1750.00         | 1102.43                          |
| PAL          | 2335.00              | 2335.00         | 4670.00         | 2941.92                          |
| PAN          | 2010.00              | 2010.00         | 4020.00         | 2532.44                          |
| HRFSC 80     | 888.61               | 888.61          | 1770.00         | 1118.06                          |
| HRFSC 100    | 888.61               | 888.61          | 1770.00         | 1118.06                          |
| HRFSC 120    | 888.61               | 888.61          | 1770.00         | 1118.06                          |

Tabela C.1: Distância geométrica entre fases dos apoios de betão para MT

| Betão        |                      |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                                  |
|--------------|----------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|----------------------------------|
| AT           |                      |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                                  |
| Tipo Armação | Distância Condutores |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   |                 |                   | D <sub>geom. fases</sub><br>[mm] |
|              | D <sub>12</sub>      | D <sub>12</sub> ' | D <sub>13</sub> | D <sub>13</sub> ' | D <sub>14</sub> | D <sub>14</sub> ' | D <sub>23</sub> | D <sub>23</sub> ' | D <sub>24</sub> | D <sub>24</sub> ' | D <sub>34</sub> | D <sub>34</sub> ' | D <sub>12</sub> | D <sub>12</sub> ' | D <sub>13</sub> | D <sub>13</sub> ' | D <sub>14</sub> | D <sub>14</sub> ' |                                  |
| GAL          | 3716.52              | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | 3716.52           | -               | -                 | 2500.00         | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | -                 | 3256.40                          |
| GAN          | 3716.52              | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | 3716.52           | -               | -                 | 2500.00         | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | -                 | 3256.40                          |
| EVDAL        | 2500.00              | 4301.16           | 5000.00         | 6103.28           | 3500.00         | 2500.00           | 4301.16         | 2500.00           | 4301.16         | 3500.00           | 5000.00         | 6103.28           | 2500.00         | 4301.16           | 3500.00         | 5175.61           | 3072.26         | 5175.61           | 4349.71                          |
| EVDAN        | 2500.00              | 4301.16           | 5000.00         | 6103.28           | 3500.00         | 2500.00           | 4301.16         | 2500.00           | 4301.16         | 3500.00           | 5000.00         | 6103.28           | 2500.00         | 4301.16           | 3500.00         | 5175.61           | 3072.26         | 5175.61           | 4349.71                          |
| EVFR         | 4301.16              | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | 4301.16           | -               | -                 | 5000.00         | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | -                 | 4522.52                          |
| EVFAN        | 2500.00              | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | 2500.00           | -               | -                 | 5000.00         | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | -                 | 3149.80                          |
| PALAN-250    | 2930.00              | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | 2930.00           | -               | -                 | 5860.00         | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | -                 | 3691.57                          |
| PALAN-2625   | 2930.00              | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | 2930.00           | -               | -                 | 5860.00         | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | -                 | 3691.57                          |
| PRF-300      | 2930.00              | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | 2930.00           | -               | -                 | 5860.00         | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | -                 | 3691.57                          |
| PRF-2550     | 2930.00              | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | 2930.00           | -               | -                 | 5860.00         | -                 | -               | -                 | -               | -                 | -               | -                 | 3691.57                          |

Tabela C.2: Distância geométrica entre fases dos apoios de betão para AT

| Metálicos    |                      |                   |                 |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                |                |                |                               |
|--------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|
| MT           |                      |                   |                 |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                |                |                |                               |
| Tipo Armação | Distância Condutores |                   |                 |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                |                |                | D <sub>entre fases</sub> [mm] |
|              | D <sub>12</sub>      | D <sub>12</sub> ' | D <sub>13</sub> | D <sub>12'</sub> | D <sub>14</sub> ' | D <sub>21</sub> | D <sub>21</sub> ' | D <sub>23</sub> | D <sub>23</sub> ' | D <sub>22'</sub> | D <sub>31</sub> | D <sub>31'</sub> | D <sub>32</sub> | D <sub>32'</sub> | D <sub>33'</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> |                               |
| F10CM        | 2751.36              | -                 | -               | -                | -                 | -               | -                 | -               | 2751.36           | -                | -               | 1800.00          | -               | -                | -                | -              | -              | -              | 2388.49                       |
| F15CM        | 2751.36              | -                 | -               | -                | -                 | -               | -                 | -               | 2751.36           | -                | -               | 1800.00          | -               | -                | -                | -              | -              | -              | 2388.49                       |
| F30CM        | 2751.36              | -                 | -               | -                | -                 | -               | -                 | -               | 2751.36           | -                | -               | 1800.00          | -               | -                | -                | -              | -              | -              | 2388.49                       |
| F30CMR       | 2751.36              | -                 | -               | -                | -                 | -               | -                 | -               | 2751.36           | -                | -               | 1800.00          | -               | -                | -                | -              | -              | -              | 2388.49                       |
| F45CM        | 2941.09              | -                 | -               | -                | -                 | -               | -                 | -               | 2941.09           | -                | -               | 1800.00          | -               | -                | -                | -              | -              | -              | 2497.06                       |
| F20MD        | 1800.00              | 3162.28           | 3600.00         | 4440.72          | 2600.00           | 1800.00         | 3162.28           | 1800.00         | 3162.28           | 2600.00          | 3600.00         | 4440.72          | 1800.00         | 3162.28          | 2600.00          | 3668.94        | 2189.27        | 3668.94        | 3088.83                       |
| F45MD        | 1800.00              | 3328.66           | 3600.00         | 4560.70          | 2800.00           | 1800.00         | 3328.66           | 1800.00         | 3328.66           | 2800.00          | 3600.00         | 4560.70          | 1800.00         | 3328.66          | 2800.00          | 3542.26        | 2139.86        | 3542.26        | 2994.44                       |
| F65MD        | 1800.00              | 3328.66           | 3600.00         | 4560.70          | 2800.00           | 1801.00         | 3328.66           | 1800.00         | 3328.66           | 2800.00          | 3600.00         | 4560.70          | 1800.00         | 3328.66          | 2800.00          | 3542.26        | 2140.45        | 3542.26        | 2994.71                       |
| F95MD        | 1800.00              | 3758.99           | 3600.00         | 4883.65          | 3300.00           | 1800.00         | 3758.99           | 1800.00         | 3758.99           | 3300.00          | 3600.00         | 4883.65          | 1800.00         | 3758.99          | 3300.00          | 3305.07        | 2050.36        | 3305.07        | 2818.80                       |

Tabela C.3: Distância geométrica entre fases dos apoios metálicos para MT

| Metálicos    |                      |                   |                 |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                |                |                |                               |
|--------------|----------------------|-------------------|-----------------|------------------|-------------------|-----------------|-------------------|-----------------|-------------------|------------------|-----------------|------------------|-----------------|------------------|------------------|----------------|----------------|----------------|-------------------------------|
| AT           |                      |                   |                 |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                |                |                |                               |
| Tipo Armação | Distância Condutores |                   |                 |                  |                   |                 |                   |                 |                   |                  |                 |                  |                 |                  |                  |                |                |                | D <sub>entre fases</sub> [mm] |
|              | D <sub>12</sub>      | D <sub>12</sub> ' | D <sub>13</sub> | D <sub>12'</sub> | D <sub>14</sub> ' | D <sub>21</sub> | D <sub>21</sub> ' | D <sub>23</sub> | D <sub>23</sub> ' | D <sub>22'</sub> | D <sub>31</sub> | D <sub>31'</sub> | D <sub>32</sub> | D <sub>32'</sub> | D <sub>33'</sub> | D <sub>1</sub> | D <sub>2</sub> | D <sub>3</sub> |                               |
| F20CA        | 4221.67              | -                 | -               | -                | -                 | -               | -                 | -               | 4221.67           | -                | -               | 2700.00          | -               | -                | -                | -              | -              | -              | 3637.29                       |
| F45CA        | 4411.63              | -                 | -               | -                | -                 | -               | -                 | -               | 4411.63           | -                | -               | 2700.00          | -               | -                | -                | -              | -              | -              | 3745.59                       |
| F65CA        | 4411.63              | -                 | -               | -                | -                 | -               | -                 | -               | 4411.63           | -                | -               | 2700.00          | -               | -                | -                | -              | -              | -              | 3745.59                       |
| F95CA        | 5247.86              | -                 | -               | -                | -                 | -               | -                 | -               | 4500.00           | -                | -               | 2700.00          | -               | -                | -                | -              | -              | -              | 3995.02                       |
| F20CD        | 2250.00              | 4589.39           | 4500.00         | 6020.80          | 4000.00           | 2250.00         | 4589.39           | 2250.00         | 4589.39           | 4000.00          | 4500.00         | 6020.80          | 2250.00         | 4589.39          | 4000.00          | 4181.60        | 2581.53        | 4181.60        | 3560.58                       |
| F30CD        | 2250.00              | 4589.39           | 4500.00         | 6020.80          | 4000.00           | 2250.00         | 4589.39           | 2250.00         | 4589.39           | 4000.00          | 4500.00         | 6020.80          | 2250.00         | 4589.39          | 4000.00          | 4181.60        | 2581.53        | 4181.60        | 3560.58                       |
| F65CD        | 2250.00              | 4764.71           | 4500.00         | 6155.49          | 4200.00           | 2250.00         | 4764.71           | 2250.00         | 4764.71           | 4200.00          | 4500.00         | 6155.49          | 2250.00         | 4764.71          | 4200.00          | 4102.96        | 2552.53        | 4102.96        | 3502.58                       |
| F95CD        | 2700.00              | 5247.86           | 5400.00         | 7029.22          | 4500.00           | 2700.00         | 5247.86           | 2700.00         | 5247.86           | 4500.00          | 5400.00         | 7029.22          | 2700.00         | 5247.86          | 4500.00          | 5153.60        | 3148.71        | 5153.60        | 4373.06                       |
| F165CD       | 2700.00              | 5247.86           | 5400.00         | 7029.22          | 4500.00           | 2700.00         | 5247.86           | 2700.00         | 5247.86           | 4500.00          | 5400.00         | 7029.22          | 2700.00         | 5247.86          | 4500.00          | 5153.60        | 3148.71        | 5153.60        | 4373.06                       |

Tabela C.4: Distância geométrica entre fases dos apoios metálicos para AT

| Betão        |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| MT           |                                     |
| Tipo Armação | Altura último condutor ao topo [mm] |
| TAN 60       | 1125                                |
| TAN 80       | 1125                                |
| TAN 120      | 1125                                |
| TAL 60       | 1125                                |
| TAL 80       | 1125                                |
| TAL 120      | 1125                                |
| GAL          | 2060                                |
| GAN 80       | 2000                                |
| GAN 120      | 2000                                |
| VAL          | 1937.5                              |
| VAN          | 1937.5                              |
| PAL          | 250                                 |
| PAN          | 250                                 |
| HRFSC 80     | 1125                                |
| HRFSC 100    | 1125                                |
| HRFSC 120    | 1125                                |

Tabela C.5: Distância do último condutor ao topo dos apoios de betão para MT

| Betão        |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| AT           |                                     |
| Tipo Armação | Altura último condutor ao topo [mm] |
| GAL          | 2872.5                              |
| GAN          | 2725                                |
| EVDAL        | 6272.5                              |
| EVDAN        | 6125                                |
| EVFR         | 6125                                |
| EVFAN        | 6125                                |
| PALAN-250    | 250                                 |
| PALAN-2625   | 2625                                |
| PRF-300      | 300                                 |
| PRF-2550     | 2550                                |

Tabela C.6: Distância do último condutor ao topo dos apoios de betão para AT

| Metálicos    |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| MT           |                                     |
| Tipo Armação | Altura último condutor ao topo [mm] |
| F10CM        | 2250                                |
| F15CM        | 2250                                |
| F30CM        | 2250                                |
| F30CMR       | 2250                                |
| F45CM        | 2250                                |
| F20MD        | 4050                                |
| F45MD        | 4050                                |
| F65MD        | 4050                                |
| F95MD        | 4200                                |

Tabela C.7: Distância do último condutor ao topo dos apoios metálicos para MT

| Metálicos    |                                     |
|--------------|-------------------------------------|
| AT           |                                     |
| Tipo Armação | Altura último condutor ao topo [mm] |
| F20CA        | 5050                                |
| F45CA        | 5050                                |
| F65CA        | 5050                                |
| F95CA        | 5500                                |
| F20CD        | 6850                                |
| F30CD        | 6850                                |
| F65CD        | 7150                                |
| F95CD        | 8200                                |
| F165CD       | 8200                                |

Tabela C.8: Distância do último condutor ao topo dos apoios metálicos para AT

# Anexo D

# Base de dados apoios de betão

Foi usado como base o catálogo de apoios da Cavan, onde constam as características presentes na Tabela [D.1](#).

| Denominação Poste | H<br>[m] | Código<br>Dimensões<br>Código poste | Fvpv | Fvvp | Wt<br>[kg] | hu<br>[m] | bcg<br>[m] | fpa<br>[mm] | fsn<br>[mm] | Tr<br>[daN.m] | Kp01 | Fx Max<br>750Pa | Fy Max<br>750Pa | Fx Max<br>750Pa.Ref | Fy Max<br>750Pa.Ref | Fx Max<br>900Pa | Fy Max<br>900Pa | Fx Max<br>900Pa.Ref | Fy Max<br>900Pa.Ref |
|-------------------|----------|-------------------------------------|------|------|------------|-----------|------------|-------------|-------------|---------------|------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| 14 MP00 / 400     | 14       | P00                                 | 400  |      | 1700       | 12        | 5.3        | 353         | 480         | 162           | 0.95 | 220             | 400             | 198                 | 109                 | 201             | 366             | 134                 | 74                  |
| 16 MP00 / 400     | 16       | P00                                 | 400  |      | 2200       | 14        | 5.9        | 420         | 571         | 162           | 0.95 | 220             | 400             | 147                 | 81                  | 201             | 366             | 68                  | 37                  |
| 18 MP00 / 400     | 18       | P00                                 | 400  |      | 2760       | 16        | 6.6        | 493         | 671         | 162           | 0.95 | 220             | 400             | 91                  | 50                  | 201             | 366             | -5                  | -3                  |
| 14 MP00 / 600     | 14       | P00                                 | 600  |      | 1730       | 12        | 5.3        | 357         | 485         | 168           | 0.88 | 320             | 600             | 388                 | 207                 | 302             | 566             | 323                 | 172                 |
| 16 MP00 / 600     | 16       | P00                                 | 600  |      | 2240       | 14        | 5.9        | 425         | 578         | 168           | 0.88 | 320             | 600             | 334                 | 178                 | 302             | 566             | 253                 | 135                 |
| 18 MP00 / 600     | 18       | P00                                 | 600  |      | 2800       | 16        | 6.6        | 499         | 678         | 168           | 0.88 | 320             | 600             | 276                 | 147                 | 302             | 566             | 176                 | 94                  |
| 20 MP00 / 600     | 20       | P00                                 | 600  |      | 3440       | 18        | 7.2        | 574         | 781         | 168           | 0.88 | 320             | 600             | 212                 | 113                 | 302             | 566             | 93                  | 50                  |
| 22 MP00 / 600     | 22       | P00                                 | 600  |      | 4160       | 19.5      | 7.7        | 652         | 886         | 168           | 0.88 | 320             | 600             | 142                 | 76                  | 302             | 566             | 3                   | 2                   |
| 14 AP00 / 600     | 14       | P00                                 | 600  |      | 1730       | 12        | 5.3        | 357         | 485         | 168           | 0.88 | 320             | 600             | 388                 | 207                 | 302             | 566             | 323                 | 172                 |
| 16 AP00 / 600     | 16       | P00                                 | 600  |      | 2240       | 14        | 5.9        | 425         | 578         | 168           | 0.88 | 320             | 600             | 334                 | 178                 | 302             | 566             | 253                 | 135                 |
| 18 AP00 / 600     | 18       | P00                                 | 600  |      | 2800       | 16        | 6.6        | 499         | 678         | 168           | 0.88 | 320             | 600             | 276                 | 147                 | 302             | 566             | 176                 | 94                  |
| 20 AP00 / 600     | 20       | P00                                 | 600  |      | 3440       | 18        | 7.2        | 574         | 781         | 168           | 0.88 | 320             | 600             | 212                 | 113                 | 302             | 566             | 93                  | 50                  |
| 22 AP00 / 600     | 22       | P00                                 | 600  |      | 4160       | 19.5      | 7.7        | 652         | 886         | 168           | 0.88 | 320             | 600             | 142                 | 76                  | 302             | 566             | 3                   | 2                   |
| 14 MP01 / 800     | 14       | P01                                 | 800  |      | 1920       | 12        | 5.6        | 361         | 490         | 259           | 0.86 | 420             | 800             | 558                 | 293                 | 400             | 762             | 484                 | 254                 |
| 16 MP01 / 800     | 16       | P01                                 | 800  |      | 2460       | 14        | 6.2        | 430         | 584         | 259           | 0.86 | 420             | 800             | 499                 | 262                 | 400             | 762             | 408                 | 214                 |
| 18 MP01 / 800     | 18       | P01                                 | 800  |      | 3060       | 16        | 6.8        | 504         | 686         | 259           | 0.86 | 420             | 800             | 435                 | 228                 | 400             | 762             | 324                 | 170                 |
| 20 MP01 / 800     | 20       | P01                                 | 800  |      | 3740       | 18        | 7.4        | 581         | 790         | 259           | 0.86 | 420             | 800             | 365                 | 192                 | 400             | 762             | 234                 | 123                 |
| 22 MP01 / 800     | 22       | P01                                 | 800  |      | 4520       | 19.5      | 7.9        | 659         | 896         | 259           | 0.86 | 420             | 800             | 290                 | 152                 | 400             | 762             | 136                 | 72                  |
| 14 AP01 / 800     | 14       | P01                                 | 800  |      | 1920       | 12        | 5.6        | 361         | 490         | 259           | 0.86 | 420             | 800             | 558                 | 293                 | 400             | 762             | 484                 | 254                 |
| 16 AP01 / 800     | 16       | P01                                 | 800  |      | 2460       | 14        | 6.2        | 430         | 584         | 259           | 0.86 | 420             | 800             | 499                 | 262                 | 400             | 762             | 408                 | 214                 |
| 18 AP01 / 800     | 18       | P01                                 | 800  |      | 3060       | 16        | 6.8        | 504         | 686         | 259           | 0.86 | 420             | 800             | 435                 | 228                 | 400             | 762             | 324                 | 170                 |
| 20 AP01 / 800     | 20       | P01                                 | 800  |      | 3740       | 18        | 7.4        | 581         | 790         | 259           | 0.86 | 420             | 800             | 365                 | 192                 | 400             | 762             | 234                 | 123                 |
| 22 AP01 / 800     | 22       | P01                                 | 800  |      | 4520       | 19.5      | 7.9        | 659         | 896         | 259           | 0.86 | 420             | 800             | 290                 | 152                 | 400             | 762             | 136                 | 72                  |
| 14 MP02 / 1000    | 14       | P02                                 | 1000 |      | 2110       | 12        | 5.7        | 359         | 488         | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 729                 | 379                 | 499             | 959             | 647                 | 337                 |
| 16 MP02 / 1000    | 16       | P02                                 | 1000 |      | 2680       | 14        | 5          | 427         | 581         | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 665                 | 346                 | 499             | 959             | 565                 | 294                 |
| 18 MP02 / 1000    | 18       | P02                                 | 1000 |      | 3330       | 16        | 7          | 501         | 682         | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 596                 | 310                 | 499             | 959             | 475                 | 247                 |
| 20 MP02 / 1000    | 20       | P02                                 | 1000 |      | 4060       | 18        | 7.6        | 578         | 785         | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 522                 | 271                 | 499             | 959             | 378                 | 196                 |
| 22 MP02 / 1000    | 22       | P02                                 | 1000 |      | 4880       | 19.5      | 8.2        | 655         | 891         | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 441                 | 230                 | 499             | 959             | 274                 | 142                 |
| 24 MP02 / 1000    | 24       | P02                                 | 1000 |      | 5780       | 21.5      | 8.8        | 735         | 999         | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 356                 | 185                 | 499             | 959             | 163                 | 85                  |
| 26 MP02 / 1000    | 26       | P02                                 | 1000 |      | 6760       | 23.5      | 9.2        | 795         | 1082        | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 265                 | 138                 | 499             | 959             | 44                  | 23                  |
| 14 AP02 / 1000    | 14       | P02                                 | 1000 |      | 2110       | 12        | 5.7        | 359         | 488         | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 729                 | 379                 | 499             | 959             | 647                 | 337                 |
| 16 AP02 / 1000    | 16       | P02                                 | 1000 |      | 2680       | 14        | 6.4        | 427         | 581         | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 665                 | 346                 | 499             | 959             | 565                 | 294                 |
| 18 AP02 / 1000    | 18       | P02                                 | 1000 |      | 3330       | 16        | 7          | 501         | 682         | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 596                 | 310                 | 499             | 959             | 475                 | 247                 |
| 20 AP02 / 1000    | 20       | P02                                 | 1000 |      | 4060       | 18        | 7.6        | 578         | 785         | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 522                 | 271                 | 499             | 959             | 378                 | 196                 |
| 22 AP02 / 1000    | 22       | P02                                 | 1000 |      | 4880       | 19.5      | 8.2        | 655         | 891         | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 441                 | 230                 | 499             | 959             | 274                 | 142                 |
| 24 AP02 / 1000    | 24       | P02                                 | 1000 |      | 5780       | 21.5      | 8.8        | 735         | 999         | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 356                 | 185                 | 499             | 959             | 163                 | 85                  |
| 26 AP02 / 1000    | 26       | P02                                 | 1000 |      | 6760       | 23.5      | 9.2        | 795         | 1082        | 323           | 0.85 | 520             | 1000            | 265                 | 138                 | 499             | 959             | 44                  | 23                  |
| 14 MP02 / 1200    | 14       | P02                                 | 1200 |      | 2130       | 12        | 5.7        | 363         | 493         | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 882                 | 412                 | 541             | 1159            | 791                 | 369                 |
| 16 MP02 / 1200    | 16       | P02                                 | 1200 |      | 2710       | 14        | 6.4        | 432         | 587         | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 808                 | 377                 | 541             | 1159            | 696                 | 325                 |
| 18 MP02 / 1200    | 18       | P02                                 | 1200 |      | 3360       | 16        | 7          | 507         | 690         | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 727                 | 339                 | 541             | 1159            | 591                 | 276                 |
| 20 MP02 / 1200    | 20       | P02                                 | 1200 |      | 4100       | 18        | 7.6        | 584         | 794         | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 639                 | 298                 | 541             | 1159            | 479                 | 224                 |
| 22 MP02 / 1200    | 22       | P02                                 | 1200 |      | 4930       | 19.5      | 8.2        | 663         | 901         | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 546                 | 255                 | 541             | 1159            | 359                 | 167                 |
| 24 MP02 / 1200    | 24       | P02                                 | 1200 |      | 5830       | 21.5      | 8.8        | 743         | 1010        | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 445                 | 208                 | 541             | 1159            | 230                 | 107                 |
| 26 MP02 / 1200    | 26       | P02                                 | 1200 |      | 6810       | 23.5      | 9.2        | 804         | 1094        | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 339                 | 158                 | 541             | 1159            | 93                  | 43                  |
| 14 AP02 / 1200    | 14       | P02                                 | 1200 |      | 2130       | 12        | 5.7        | 363         | 493         | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 882                 | 412                 | 541             | 1159            | 791                 | 369                 |
| 16 AP02 / 1200    | 16       | P02                                 | 1200 |      | 2710       | 14        | 6.4        | 432         | 587         | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 808                 | 377                 | 541             | 1159            | 696                 | 325                 |
| 18 AP02 / 1200    | 18       | P02                                 | 1200 |      | 3360       | 16        | 7          | 507         | 690         | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 727                 | 339                 | 541             | 1159            | 591                 | 276                 |
| 20 AP02 / 1200    | 20       | P02                                 | 1200 |      | 4100       | 18        | 7.6        | 584         | 794         | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 639                 | 298                 | 541             | 1159            | 479                 | 224                 |
| 22 AP02 / 1200    | 22       | P02                                 | 1200 |      | 4930       | 19.5      | 8.2        | 663         | 901         | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 546                 | 255                 | 541             | 1159            | 359                 | 167                 |
| 24 AP02 / 1200    | 24       | P02                                 | 1200 |      | 5830       | 21.5      | 8.8        | 743         | 1010        | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 445                 | 208                 | 541             | 1159            | 230                 | 107                 |
| 26 AP02 / 1200    | 26       | P02                                 | 1200 |      | 6810       | 23.5      | 9.2        | 804         | 1094        | 416           | 0.83 | 560             | 1200            | 339                 | 158                 | 541             | 1159            | 93                  | 43                  |
| 14 MP03 / 1400    | 14       | P03                                 | 1400 |      | 2940       | 12        | 5.8        | 365         | 496         | 544           | 0.83 | 650             | 1400            | 1050                | 488                 | 630             | 1356            | 951                 | 441                 |
| 16 MP03 / 1400    | 16       | P03                                 | 1400 |      | 3630       | 14        | 6.5        | 434         | 591         | 544           | 0.83 | 650             | 1400            | 970                 | 451                 | 630             | 1356            | 848                 | 394                 |
| 18 MP03 / 1400    | 18       | P03                                 | 1400 |      | 4400       | 16        | 7.1        | 510         | 693         | 544           | 0.83 | 650             | 1400            | 884                 | 410                 | 630             | 1356            | 737                 | 342                 |

| Denominação Poste | H [m] | Código Dimensões Código poste | Fvp  | Fsv | Wt [kg] | hu [m] | beg [m] | fpn [mm] | fsn [mm] | Tr [daN.m] | Kp01 | Fx Max 750Pa | Fy Max 750Pa | Fx Max 750Pa.Ref | Fy Max 750Pa.Ref | Fx Max 900Pa | Fy Max 900Pa | Fx Max 900Pa.Ref | Fy Max 900Pa.Ref |
|-------------------|-------|-------------------------------|------|-----|---------|--------|---------|----------|----------|------------|------|--------------|--------------|------------------|------------------|--------------|--------------|------------------|------------------|
| 20 MP03 / 1400    | 20    | P03                           | 1400 |     | 4430    | 18     | 7.7     | 587      | 799      | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 791              | 367              | 630          | 1356         | 618              | 287              |
| 22 MP03 / 1400    | 22    | P03                           | 1400 |     | 5290    | 19.5   | 9.3     | 666      | 906      | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 692              | 321              | 630          | 1356         | 490              | 228              |
| 24 MP03 / 1400    | 24    | P03                           | 1400 |     | 6240    | 21.5   | 8.9     | 747      | 1016     | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 586              | 272              | 630          | 1356         | 355              | 165              |
| 26 MP03 / 1400    | 26    | P03                           | 1400 |     | 7270    | 23.5   | 9.4     | 809      | 1100     | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 474              | 220              | 630          | 1356         | 211              | 98               |
| 28 MP03 / 1400    | 28    | P03                           | 1400 |     | 8500    | 25.5   | 9.9     | 892      | 1213     | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 355              | 165              | 630          | 1356         | 58               | 27               |
| 14 AP03 / 1400    | 14    | P03                           | 1400 |     | 2320    | 12     | 5.8     | 365      | 496      | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 1050             | 488              | 630          | 1356         | 951              | 441              |
| 16 AP03 / 1400    | 16    | P03                           | 1400 |     | 2940    | 14     | 6.5     | 434      | 591      | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 970              | 451              | 630          | 1356         | 848              | 394              |
| 18 AP03 / 1400    | 18    | P03                           | 1400 |     | 3630    | 16     | 7.1     | 510      | 693      | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 884              | 410              | 630          | 1356         | 737              | 342              |
| 20 AP03 / 1400    | 20    | P03                           | 1400 |     | 4430    | 18     | 7.7     | 587      | 799      | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 791              | 367              | 630          | 1356         | 618              | 287              |
| 22 AP03 / 1400    | 22    | P03                           | 1400 |     | 5290    | 19.5   | 9.3     | 666      | 906      | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 692              | 321              | 630          | 1356         | 490              | 228              |
| 24 AP03 / 1400    | 24    | P03                           | 1400 |     | 6240    | 21.5   | 8.9     | 747      | 1016     | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 586              | 272              | 630          | 1356         | 355              | 165              |
| 26 AP03 / 1400    | 26    | P03                           | 1400 |     | 7270    | 23.5   | 9.4     | 809      | 1100     | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 474              | 220              | 630          | 1356         | 211              | 98               |
| 28 AP03 / 1400    | 28    | P03                           | 1400 |     | 8500    | 25.5   | 9.9     | 892      | 1213     | 544        | 0.83 | 650          | 1400         | 355              | 165              | 630          | 1356         | 58               | 27               |
| 14 MP04 / 1600    | 14    | P04                           | 1600 |     | 2530    | 12     | 5.9     | 367      | 499      | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 1219             | 564              | 630          | 1356         | 1110             | 513              |
| 16 MP04 / 1600    | 16    | P04                           | 1600 |     | 3180    | 14     | 6.6     | 437      | 594      | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 1133             | 524              | 630          | 1356         | 1001             | 463              |
| 18 MP04 / 1600    | 18    | P04                           | 1600 |     | 3930    | 16     | 7.2     | 513      | 697      | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 1042             | 482              | 630          | 1356         | 883              | 408              |
| 20 MP04 / 1600    | 20    | P04                           | 1600 |     | 4760    | 18     | 7.8     | 590      | 803      | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 943              | 436              | 630          | 1356         | 757              | 350              |
| 22 MP04 / 1600    | 22    | P04                           | 1600 |     | 5670    | 19.5   | 8.4     | 670      | 911      | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 839              | 388              | 630          | 1356         | 623              | 288              |
| 24 MP04 / 1600    | 24    | P04                           | 1600 |     | 6660    | 21.5   | 9       | 751      | 1022     | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 727              | 336              | 630          | 1356         | 480              | 222              |
| 26 MP04 / 1600    | 26    | P04                           | 1600 |     | 7790    | 23.5   | 9.5     | 813      | 1106     | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 610              | 282              | 630          | 1356         | 329              | 152              |
| 28 MP04 / 1600    | 28    | P04                           | 1600 |     | 9090    | 25.5   | 10.1    | 897      | 1220     | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 486              | 225              | 630          | 1356         | 170              | 78               |
| 14 AP04 / 1600    | 14    | P04                           | 1600 |     | 2530    | 12     | 5.9     | 367      | 499      | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 1219             | 564              | 630          | 1356         | 1110             | 513              |
| 16 AP04 / 1600    | 16    | P04                           | 1600 |     | 3180    | 14     | 6.6     | 437      | 594      | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 1133             | 524              | 630          | 1356         | 1001             | 463              |
| 18 AP04 / 1600    | 18    | P04                           | 1600 |     | 3930    | 16     | 7.2     | 513      | 697      | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 1042             | 482              | 630          | 1356         | 883              | 408              |
| 20 AP04 / 1600    | 20    | P04                           | 1600 |     | 4760    | 18     | 7.8     | 590      | 803      | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 943              | 436              | 630          | 1356         | 757              | 350              |
| 22 AP04 / 1600    | 22    | P04                           | 1600 |     | 5670    | 19.5   | 8.4     | 670      | 911      | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 839              | 388              | 630          | 1356         | 623              | 288              |
| 24 AP04 / 1600    | 24    | P04                           | 1600 |     | 6660    | 21.5   | 9       | 751      | 1022     | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 727              | 336              | 630          | 1356         | 480              | 222              |
| 26 AP04 / 1600    | 26    | P04                           | 1600 |     | 7790    | 23.5   | 9.5     | 813      | 1106     | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 610              | 282              | 630          | 1356         | 329              | 152              |
| 28 AP04 / 1600    | 28    | P04                           | 1600 |     | 9090    | 25.5   | 10.1    | 897      | 1220     | 637        | 0.82 | 740          | 1600         | 486              | 225              | 630          | 1356         | 170              | 78               |
| 14 MM04 / 2250    | 14    | M04                           | 2250 |     | 3010    | 12     | 6       | 257      | 321      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1775             | 789              | 979          | 2203         | 1648             | 733              |
| 16 MM04 / 2250    | 16    | M04                           | 2250 |     | 3760    | 14     | 6.7     | 306      | 383      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1674             | 744              | 979          | 2203         | 1519             | 675              |
| 18 MM04 / 2250    | 18    | M04                           | 2250 |     | 4620    | 16     | 7.4     | 359      | 449      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1565             | 695              | 979          | 2203         | 1381             | 614              |
| 20 MM04 / 2250    | 20    | M04                           | 2250 |     | 5560    | 18     | 8.1     | 414      | 517      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1449             | 644              | 979          | 2203         | 1234             | 548              |
| 22 MM04 / 2250    | 22    | M04                           | 2250 |     | 6560    | 19.5   | 8.7     | 470      | 587      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1327             | 590              | 979          | 2203         | 1078             | 479              |
| 24 MM04 / 2250    | 24    | M04                           | 2250 |     | 7700    | 21.5   | 9.3     | 527      | 658      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1198             | 532              | 979          | 2203         | 914              | 406              |
| 26 MM04 / 2250    | 26    | M04                           | 2250 |     | 8890    | 23.5   | 9.8     | 570      | 712      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1062             | 472              | 979          | 2203         | 741              | 329              |
| 28 MM04 / 2250    | 28    | M04                           | 2250 |     | 10180   | 25.5   | 10.3    | 629      | 786      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 919              | 408              | 979          | 2203         | 559              | 249              |
| 14 AM04 / 2250    | 14    | M04                           | 2250 |     | 3010    | 12     | 6       | 257      | 321      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1775             | 789              | 979          | 2203         | 1648             | 733              |
| 16 AM04 / 2250    | 16    | M04                           | 2250 |     | 3760    | 14     | 6.7     | 306      | 383      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1674             | 744              | 979          | 2203         | 1519             | 675              |
| 18 AM04 / 2250    | 18    | M04                           | 2250 |     | 4620    | 16     | 7.4     | 359      | 449      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1565             | 695              | 979          | 2203         | 1381             | 614              |
| 20 AM04 / 2250    | 20    | M04                           | 2250 |     | 5560    | 18     | 8.1     | 414      | 517      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1449             | 644              | 979          | 2203         | 1234             | 548              |
| 22 AM04 / 2250    | 22    | M04                           | 2250 |     | 6560    | 19.5   | 8.7     | 470      | 587      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1327             | 590              | 979          | 2203         | 1078             | 479              |
| 24 AM04 / 2250    | 24    | M04                           | 2250 |     | 7700    | 21.5   | 9.3     | 527      | 658      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1198             | 532              | 979          | 2203         | 914              | 406              |
| 26 AM04 / 2250    | 26    | M04                           | 2250 |     | 8890    | 23.5   | 9.8     | 570      | 712      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 1062             | 472              | 979          | 2203         | 741              | 329              |
| 28 AM04 / 2250    | 28    | M04                           | 2250 |     | 10180   | 25.5   | 10.3    | 629      | 786      | 899        | 0.82 | 1000         | 2250         | 919              | 408              | 979          | 2203         | 559              | 249              |
| 14 MM06 / 2750    | 14    | M06                           | 2750 |     | 3540    | 12     | 6.1     | 271      | 339      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 2256             | 1066             | 1275         | 2697         | 2120             | 1002             |
| 16 MM06 / 2750    | 16    | M06                           | 2750 |     | 4400    | 14     | 6.8     | 323      | 403      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 2153             | 1018             | 1275         | 2697         | 1988             | 940              |
| 18 MM06 / 2750    | 18    | M06                           | 2750 |     | 5350    | 16     | 7.5     | 379      | 474      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 2043             | 966              | 1275         | 2697         | 1849             | 874              |
| 20 MM06 / 2750    | 20    | M06                           | 2750 |     | 6390    | 18     | 8.2     | 436      | 545      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 1928             | 911              | 1275         | 2697         | 1701             | 804              |
| 22 MM06 / 2750    | 22    | M06                           | 2750 |     | 7510    | 19.5   | 8.9     | 495      | 619      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 1806             | 854              | 1275         | 2697         | 1545             | 730              |
| 24 MM06 / 2750    | 24    | M06                           | 2750 |     | 8700    | 21.5   | 9.6     | 555      | 694      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 1678             | 793              | 1275         | 2697         | 1381             | 653              |
| 26 MM06 / 2750    | 26    | M06                           | 2750 |     | 9990    | 23.5   | 10.4    | 601      | 751      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 1543             | 729              | 1275         | 2697         | 1209             | 572              |
| 28 MM06 / 2750    | 28    | M06                           | 2750 |     | 11430   | 25.5   | 10.7    | 663      | 829      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 1402             | 663              | 1275         | 2697         | 1030             | 487              |
| 14 AM06 / 2750    | 14    | M06                           | 2750 |     | 3540    | 12     | 6.1     | 271      | 339      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 2256             | 1066             | 1275         | 2697         | 2120             | 1002             |
| 16 AM06 / 2750    | 16    | M06                           | 2750 |     | 4400    | 14     | 6.8     | 323      | 403      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 2153             | 1018             | 1275         | 2697         | 1988             | 940              |
| 18 AM06 / 2750    | 18    | M06                           | 2750 |     | 5350    | 16     | 7.5     | 379      | 474      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 2043             | 966              | 1275         | 2697         | 1849             | 874              |
| 20 AM06 / 2750    | 20    | M06                           | 2750 |     | 6390    | 18     | 8.2     | 436      | 545      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 1928             | 911              | 1275         | 2697         | 1701             | 804              |
| 22 AM06 / 2750    | 22    | M06                           | 2750 |     | 7510    | 19.5   | 8.9     | 495      | 619      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 1806             | 854              | 1275         | 2697         | 1545             | 730              |
| 24 AM06 / 2750    | 24    | M06                           | 2750 |     | 8700    | 21.5   | 9.6     | 555      | 694      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 1678             | 793              | 1275         | 2697         | 1381             | 653              |
| 26 AM06 / 2750    | 26    | M06                           | 2750 |     | 9990    | 23.5   | 10.4    | 601      | 751      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 1543             | 729              | 1275         | 2697         | 1209             | 572              |
| 28 AM06 / 2750    | 28    | M06                           | 2750 |     | 11430   | 25.5   | 10.7    | 663      | 829      | 1145       | 0.78 | 1300         | 2750         | 1402             | 663              | 1275         | 2697         | 1030             | 487              |
| 14 MM08 / 3500    | 14    | M08                           | 3500 |     | 4170    | 12     | 6.2     | 283      | 354      | 1481       | 0.79 | 1600         | 3500         | 2922             | 1336             | 1573         | 3440         | 2765             | 1264             |
| 16 MM08 / 3500    | 16    | M08                           | 3500 |     | 5120    | 14     | 7       | 337      | 412      | 1481       | 0.79 | 1600         | 3500         | 2804             | 1282             | 1573         | 3440         | 2615             | 1195             |
| 18 MM08 / 3500    | 18    | M08                           | 3500 |     | 6170    | 16     | 7.7     | 396      | 494      | 1481       | 0.79 | 1600         | 3500         | 2680             | 1225             | 1573         | 3440         | 2456             | 1123             |
| 20 MM08 / 3500    | 20    | M08                           | 3500 |     | 7300    | 18     | 8.4     | 456      | 570      | 1481       | 0.79 | 1600         | 3500         | 2549             | 1165             | 1573         | 3440         | 2289             | 1046             |
| 22 MM08 / 3500    | 22    | M08                           | 3500 |     | 8500    | 19.5   | 9.1     | 517      | 646      | 1481       | 0.79 | 1600         | 3500         | 2411             | 1102             | 1573         | 3440         | 2114             | 966              |
| 24 MM08 / 3500    | 24    | M08                           | 3500 |     | 9800    | 21.5   | 9.8     | 580      | 725      | 1481       | 0.79 | 1600         | 3500         | 2267             | 1036             | 1573         | 3440         | 1930             | 882              |
| 26 MM08 / 3500    | 26    | M08                           | 3500 |     | 11240   | 23.5   | 10.4    | 627      | 784      | 1481       | 0.79 | 1600         | 3500         | 2116             | 968              | 1573         | 3440         | 1738             | 795              |
| 28 MM08 / 3500    | 28    | M08                           | 3500 |     | 12780   | 25.5   | 11      | 692      | 865      | 1481       | 0.79 | 1600         | 3500         | 1959             | 896              | 1573         | 3440         | 1537             | 703              |
| 14 AM08 / 4       |       |                               |      |     |         |        |         |          |          |            |      |              |              |                  |                  |              |              |                  |                  |



| Denominação Poste      | H<br>[m] | Código<br>Dimensões<br>Código poste | Fvpv  | Fsvp | Wt<br>[kg] | hu<br>[m] | beg<br>[m] | f <sub>pn</sub><br>[mm] | f <sub>sn</sub><br>[mm] | Tr<br>[daNm] | Kp01  | Fx Max<br>750Pa | Fy Max<br>750Pa | Fx Max<br>750Pa.Ref | Fy Max<br>750Pa.Ref | Fx Max<br>900Pa | Fy Max<br>900Pa | Fx Max<br>900Pa.Ref | Fy Max<br>900Pa.Ref |
|------------------------|----------|-------------------------------------|-------|------|------------|-----------|------------|-------------------------|-------------------------|--------------|-------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| 14 AK08 / 6000 / 2800  | 14       | K08                                 | 6000  | 2800 | 4420       | 12        | 6.2        | 293                     | 484                     | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 16 AK08 / 6000 / 2800  | 16       | K08                                 | 6000  | 2800 | 5420       | 14        | 7          | 349                     | 577                     | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 18 AK08 / 6000 / 2800  | 18       | K08                                 | 6000  | 2800 | 6500       | 16        | 7.7        | 410                     | 677                     | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 20 AK08 / 6000 / 2800  | 20       | K08                                 | 6000  | 2800 | 7700       | 18        | 8.4        | 472                     | 780                     | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 22 AK08 / 6000 / 2800  | 22       | K08                                 | 6000  | 2800 | 8970       | 19.5      | 9.1        | 535                     | 885                     | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 24 AK08 / 6000 / 2800  | 24       | K08                                 | 6000  | 2800 | 10330      | 21.5      | 9.8        | 600                     | 992                     | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 26 AK08 / 6000 / 2800  | 26       | K08                                 | 6000  | 2800 | 11850      | 23.5      | 10.4       | 650                     | 1074                    | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 28 AK08 / 6000 / 2800  | 28       | K08                                 | 6000  | 2800 | 13470      | 25.5      | 11         | 716                     | 1184                    | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 30 AK08 / 6000 / 2800  | 30       | K08                                 | 6000  | 2800 | 15170      | 27.5      | 11.5       | 784                     | 1297                    | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 32 AK08 / 6000 / 2800  | 32       | K08                                 | 6000  | 2800 | 16980      | 29.5      | 12.1       | 853                     | 1411                    | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 14 MK08 / 6000 / 2800  | 14       | K08                                 | 6000  | 2800 | 4420       | 12        | 6.2        | 293                     | 484                     | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 16 MK08 / 6000 / 2800  | 16       | K08                                 | 6000  | 2800 | 5420       | 14        | 7          | 349                     | 577                     | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 18 MK08 / 6000 / 2800  | 18       | K08                                 | 6000  | 2800 | 6500       | 16        | 7.7        | 410                     | 677                     | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 20 MK08 / 6000 / 2800  | 20       | K08                                 | 6000  | 2800 | 7700       | 18        | 8.4        | 472                     | 780                     | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 22 MK08 / 6000 / 2800  | 22       | K08                                 | 6000  | 2800 | 8970       | 19.5      | 9.1        | 535                     | 885                     | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 24 MK08 / 6000 / 2800  | 24       | K08                                 | 6000  | 2800 | 10330      | 21.5      | 9.8        | 600                     | 992                     | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 26 MK08 / 6000 / 2800  | 26       | K08                                 | 6000  | 2800 | 11850      | 23.5      | 10.4       | 650                     | 1074                    | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 28 MK08 / 6000 / 2800  | 28       | K08                                 | 6000  | 2800 | 13470      | 25.5      | 11         | 716                     | 1184                    | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 30 MK08 / 6000 / 2800  | 30       | K08                                 | 6000  | 2800 | 15170      | 27.5      | 11.5       | 784                     | 1297                    | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 32 MK08 / 6000 / 2800  | 32       | K08                                 | 6000  | 2800 | 16980      | 29.5      | 12.1       | 853                     | 1411                    | 1920         | 0.787 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 14 AK10 / 7500 / 3400  | 14       | K10                                 | 7500  | 3400 | 5110       | 12        | 6.3        | 293                     | 484                     | 2390         | 0.783 | 2800            | 6000            | 5203                | 2428                | 2737            | 5865            | 4711                | 2199                |
| 16 AK10 / 7500 / 3400  | 16       | K10                                 | 7500  | 3400 | 6220       | 14        | 7.1        | 349                     | 577                     | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 18 AK10 / 7500 / 3400  | 18       | K10                                 | 7500  | 3400 | 7420       | 16        | 7.9        | 410                     | 677                     | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 20 AK10 / 7500 / 3400  | 20       | K10                                 | 7500  | 3400 | 8710       | 18        | 8.6        | 472                     | 780                     | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 22 AK10 / 7500 / 3400  | 22       | K10                                 | 7500  | 3400 | 10090      | 19.5      | 9.3        | 535                     | 885                     | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 24 AK10 / 7500 / 3400  | 24       | K10                                 | 7500  | 3400 | 11610      | 21.5      | 10         | 600                     | 992                     | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 26 AK10 / 7500 / 3400  | 26       | K10                                 | 7500  | 3400 | 13240      | 23.5      | 10.6       | 650                     | 1074                    | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 28 AK10 / 7500 / 3400  | 28       | K10                                 | 7500  | 3400 | 14980      | 25.5      | 11.2       | 716                     | 1184                    | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 30 AK10 / 7500 / 3400  | 30       | K10                                 | 7500  | 3400 | 16800      | 27.5      | 11.8       | 784                     | 1297                    | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 32 AK10 / 7500 / 3400  | 32       | K10                                 | 7500  | 3400 | 18640      | 29.5      | 12.3       | 853                     | 1411                    | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 14 MK10 / 7500 / 3400  | 14       | K10                                 | 7500  | 3400 | 5110       | 12        | 6.3        | 293                     | 484                     | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 16 MK10 / 7500 / 3400  | 16       | K10                                 | 7500  | 3400 | 6220       | 14        | 7.1        | 349                     | 577                     | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 18 MK10 / 7500 / 3400  | 18       | K10                                 | 7500  | 3400 | 7420       | 16        | 7.9        | 410                     | 677                     | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 20 MK10 / 7500 / 3400  | 20       | K10                                 | 7500  | 3400 | 8710       | 18        | 8.6        | 472                     | 780                     | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 22 MK10 / 7500 / 3400  | 22       | K10                                 | 7500  | 3400 | 10090      | 19.5      | 9.3        | 535                     | 885                     | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 24 MK10 / 7500 / 3400  | 24       | K10                                 | 7500  | 3400 | 11610      | 21.5      | 10         | 600                     | 992                     | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 26 MK10 / 7500 / 3400  | 26       | K10                                 | 7500  | 3400 | 13240      | 23.5      | 10.6       | 650                     | 1074                    | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 28 MK10 / 7500 / 3400  | 28       | K10                                 | 7500  | 3400 | 14980      | 25.5      | 11.2       | 716                     | 1184                    | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 30 MK10 / 7500 / 3400  | 30       | K10                                 | 7500  | 3400 | 16800      | 27.5      | 11.8       | 784                     | 1297                    | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 32 MK10 / 7500 / 3400  | 32       | K10                                 | 7500  | 3400 | 18640      | 29.5      | 12.3       | 853                     | 1411                    | 2390         | 0.783 | 3400            | 7500            | 6589                | 2987                | 3334            | 7353            | 6041                | 2739                |
| 14 AK12 / 9000 / 4000  | 14       | K12                                 | 9000  | 4000 | 5910       | 12        | 6.4        | 325                     | 526                     | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 16 AK12 / 9000 / 4000  | 16       | K12                                 | 9000  | 4000 | 7110       | 14        | 7.2        | 387                     | 627                     | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 18 AK12 / 9000 / 4000  | 18       | K12                                 | 9000  | 4000 | 8410       | 16        | 8          | 454                     | 735                     | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 20 AK12 / 9000 / 4000  | 20       | K12                                 | 9000  | 4000 | 9790       | 18        | 8.7        | 523                     | 847                     | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 22 AK12 / 9000 / 4000  | 22       | K12                                 | 9000  | 4000 | 11330      | 19.5      | 9.4        | 594                     | 961                     | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 24 AK12 / 9000 / 4000  | 24       | K12                                 | 9000  | 4000 | 12980      | 21.5      | 10.1       | 665                     | 1078                    | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 26 AK12 / 9000 / 4000  | 26       | K12                                 | 9000  | 4000 | 14710      | 23.5      | 10.7       | 720                     | 1167                    | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 28 AK12 / 9000 / 4000  | 28       | K12                                 | 9000  | 4000 | 16570      | 25.5      | 11.4       | 794                     | 1287                    | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 30 AK12 / 9000 / 4000  | 30       | K12                                 | 9000  | 4000 | 18440      | 27.5      | 12         | 870                     | 1409                    | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 32 AK12 / 9000 / 4000  | 32       | K12                                 | 9000  | 4000 | 20390      | 29.5      | 12.5       | 946                     | 1532                    | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 14 MK12 / 9000 / 4000  | 14       | K12                                 | 9000  | 4000 | 5910       | 12        | 6.4        | 325                     | 526                     | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 16 MK12 / 9000 / 4000  | 16       | K12                                 | 9000  | 4000 | 7110       | 14        | 7.2        | 387                     | 627                     | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 18 MK12 / 9000 / 4000  | 18       | K12                                 | 9000  | 4000 | 8410       | 16        | 8          | 454                     | 735                     | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 20 MK12 / 9000 / 4000  | 20       | K12                                 | 9000  | 4000 | 9790       | 18        | 8.7        | 523                     | 847                     | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 22 MK12 / 9000 / 4000  | 22       | K12                                 | 9000  | 4000 | 11330      | 19.5      | 9.4        | 594                     | 961                     | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 24 MK12 / 9000 / 4000  | 24       | K12                                 | 9000  | 4000 | 12980      | 21.5      | 10.1       | 665                     | 1078                    | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 26 MK12 / 9000 / 4000  | 26       | K12                                 | 9000  | 4000 | 14710      | 23.5      | 10.7       | 720                     | 1167                    | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 28 MK12 / 9000 / 4000  | 28       | K12                                 | 9000  | 4000 | 16570      | 25.5      | 11.4       | 794                     | 1287                    | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 30 MK12 / 9000 / 4000  | 30       | K12                                 | 9000  | 4000 | 18440      | 27.5      | 12         | 870                     | 1409                    | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 32 MK12 / 9000 / 4000  | 32       | K12                                 | 9000  | 4000 | 20390      | 29.5      | 12.5       | 946                     | 1532                    | 2900         | 0.78  | 4000            | 9000            | 7981                | 3547                | 3929            | 8841            | 7380                | 3280                |
| 14 AK14 / 11000 / 4500 | 14       | K14                                 | 11000 | 4500 | 6730       | 12        | 6.5        | 341                     | 552                     | 3440         | 0.777 | 4500            | 11000           | 9768                | 3996                | 4430            | 10830           | 9069                | 3710                |
| 16 AK14 / 11000 / 4500 | 16       | K14                                 | 11000 | 4500 | 8040       | 14        | 7.3        | 406                     | 657                     | 3440         | 0.777 | 4500            | 11000           | 9768                | 3996                | 4430            | 10830           | 9069                | 3710                |
| 18 AK14 / 11000 / 4500 | 18       | K14                                 | 11000 | 4500 | 9440       | 16        | 8.1        | 476                     | 772                     | 3440         | 0.777 | 4500            | 11000           | 9768                | 3996                | 4430            | 10830           | 9069                | 3710                |

| Denominação Poste      | H<br>[m] | Código<br>Dimensões<br>Código poste | Fvpv  | Fsvp | Wt<br>[kg] | hu<br>[m] | beg<br>[m] | fjn<br>[mm] | fsn<br>[mm] | Tr<br>[daN.m] | Kp01  | Fx Max<br>750Pa | Fy Max<br>900Pa | Fx Max<br>750Pa.Ref | Fy Max<br>750Pa.Ref | Fx Max<br>900Pa | Fy Max<br>900Pa | Fx Max<br>900Pa.Ref | Fy Max<br>900Pa.Ref |
|------------------------|----------|-------------------------------------|-------|------|------------|-----------|------------|-------------|-------------|---------------|-------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|-----------------|-----------------|---------------------|---------------------|
| 28 MK16 / 12500 / 5100 | 28       | K16                                 | 12500 | 5100 | 19710      | 25.5      | 11.7       | 877         | 1413        | 4000          | 0.776 | 5100            | 12500           | 11170               | 4557                | 5025            | 12318           | 10425               | 4253                |
| 30 MK16 / 12500 / 5100 | 30       | K16                                 | 12500 | 5100 | 21780      | 27.5      | 12.3       | 960         | 1547        | 4000          | 0.776 | 5100            | 12500           | 11170               | 4557                | 5025            | 12318           | 10425               | 4253                |
| 32 MK16 / 12500 / 5100 | 32       | K16                                 | 12500 | 5100 | 23960      | 29.5      | 12.9       | 1045        | 1683        | 4000          | 0.776 | 5100            | 12500           | 11170               | 4557                | 5025            | 12318           | 10425               | 4253                |
| 14 AK18 / 14500 / 5700 | 14       | K18                                 | 14500 | 5700 | 8570       | 12        | 6.7        | 379         | 608         | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 16 AK18 / 14500 / 5700 | 16       | K18                                 | 14500 | 5700 | 10120      | 14        | 7.5        | 451         | 724         | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 18 AK18 / 14500 / 5700 | 18       | K18                                 | 14500 | 5700 | 11800      | 16        | 8.3        | 529         | 850         | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 20 AK18 / 14500 / 5700 | 20       | K18                                 | 14500 | 5700 | 13560      | 18        | 9          | 610         | 979         | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 22 AK18 / 14500 / 5700 | 22       | K18                                 | 14500 | 5700 | 15440      | 19.5      | 9.7        | 692         | 1111        | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 24 AK18 / 14500 / 5700 | 24       | K18                                 | 14500 | 5700 | 17330      | 21.5      | 10.4       | 776         | 1245        | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 26 AK18 / 14500 / 5700 | 26       | K18                                 | 14500 | 5700 | 19320      | 23.5      | 11         | 840         | 1348        | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 28 AK18 / 14500 / 5700 | 28       | K18                                 | 14500 | 5700 | 21400      | 25.5      | 11.8       | 926         | 1486        | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 30 AK18 / 14500 / 5700 | 30       | K18                                 | 14500 | 5700 | 23570      | 27.5      | 12.4       | 1014        | 1627        | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 32 AK18 / 14500 / 5700 | 32       | K18                                 | 14500 | 5700 | 25850      | 29.5      | 13         | 1103        | 1770        | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 14 MK18 / 14500 / 5700 | 14       | K18                                 | 14500 | 5700 | 8570       | 12        | 6.7        | 379         | 608         | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 16 MK18 / 14500 / 5700 | 16       | K18                                 | 14500 | 5700 | 10120      | 14        | 7.5        | 451         | 724         | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 18 MK18 / 14500 / 5700 | 18       | K18                                 | 14500 | 5700 | 11800      | 16        | 8.3        | 529         | 850         | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 20 MK18 / 14500 / 5700 | 20       | K18                                 | 14500 | 5700 | 13560      | 18        | 9          | 610         | 979         | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 22 MK18 / 14500 / 5700 | 22       | K18                                 | 14500 | 5700 | 15440      | 19.5      | 9.7        | 692         | 1111        | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 24 MK18 / 14500 / 5700 | 24       | K18                                 | 14500 | 5700 | 17330      | 21.5      | 10.4       | 776         | 1245        | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 26 MK18 / 14500 / 5700 | 26       | K18                                 | 14500 | 5700 | 19320      | 23.5      | 11         | 840         | 1348        | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 28 MK18 / 14500 / 5700 | 28       | K18                                 | 14500 | 5700 | 21400      | 25.5      | 11.8       | 926         | 1486        | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 30 MK18 / 14500 / 5700 | 30       | K18                                 | 14500 | 5700 | 23570      | 27.5      | 12.4       | 1014        | 1627        | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 32 MK18 / 14500 / 5700 | 32       | K18                                 | 14500 | 5700 | 25850      | 29.5      | 13         | 1103        | 1770        | 4660          | 0.774 | 5700            | 14500           | 13005               | 5112                | 5624            | 14307           | 12182               | 4789                |
| 14 AK20 / 16500 / 6300 | 14       | K20                                 | 16500 | 6300 | 9660       | 12        | 6.8        | 404         | 649         | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 16 AK20 / 16500 / 6300 | 16       | K20                                 | 16500 | 6300 | 11320      | 14        | 7.6        | 482         | 774         | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 18 AK20 / 16500 / 6300 | 18       | K20                                 | 16500 | 6300 | 13110      | 16        | 8.4        | 566         | 908         | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 20 AK20 / 16500 / 6300 | 20       | K20                                 | 16500 | 6300 | 14990      | 18        | 9.1        | 651         | 1046        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 22 AK20 / 16500 / 6300 | 22       | K20                                 | 16500 | 6300 | 16900      | 19.5      | 9.8        | 739         | 1187        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 24 AK20 / 16500 / 6300 | 24       | K20                                 | 16500 | 6300 | 18900      | 21.5      | 10.5       | 829         | 1331        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 26 AK20 / 16500 / 6300 | 26       | K20                                 | 16500 | 6300 | 20990      | 23.5      | 11.1       | 897         | 1440        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 28 AK20 / 16500 / 6300 | 28       | K20                                 | 16500 | 6300 | 23180      | 25.5      | 11.9       | 989         | 1589        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 30 AK20 / 16500 / 6300 | 30       | K20                                 | 16500 | 6300 | 25450      | 27.5      | 12.5       | 1083        | 1739        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 32 AK20 / 16500 / 6300 | 32       | K20                                 | 16500 | 6300 | 27840      | 29.5      | 13.1       | 1178        | 1892        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 14 MK20 / 16500 / 6300 | 14       | K20                                 | 16500 | 6300 | 9660       | 12        | 6.8        | 404         | 649         | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 16 MK20 / 16500 / 6300 | 16       | K20                                 | 16500 | 6300 | 11320      | 14        | 7.6        | 482         | 774         | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 18 MK20 / 16500 / 6300 | 18       | K20                                 | 16500 | 6300 | 13110      | 16        | 8.4        | 566         | 908         | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 20 MK20 / 16500 / 6300 | 20       | K20                                 | 16500 | 6300 | 14990      | 18        | 9.1        | 651         | 1046        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 22 MK20 / 16500 / 6300 | 22       | K20                                 | 16500 | 6300 | 16900      | 19.5      | 9.8        | 739         | 1187        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 24 MK20 / 16500 / 6300 | 24       | K20                                 | 16500 | 6300 | 18900      | 21.5      | 10.5       | 829         | 1331        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 26 MK20 / 16500 / 6300 | 26       | K20                                 | 16500 | 6300 | 20990      | 23.5      | 11.1       | 897         | 1440        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 28 MK20 / 16500 / 6300 | 28       | K20                                 | 16500 | 6300 | 23180      | 25.5      | 11.9       | 989         | 1589        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 30 MK20 / 16500 / 6300 | 30       | K20                                 | 16500 | 6300 | 25450      | 27.5      | 12.5       | 1083        | 1739        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 32 MK20 / 16500 / 6300 | 32       | K20                                 | 16500 | 6300 | 27840      | 29.5      | 13.1       | 1178        | 1892        | 5330          | 0.772 | 6300            | 16500           | 14845               | 5668                | 6222            | 16295           | 13948               | 5326                |
| 14 MM10 / 4500         | 14       | M10                                 | 4500  |      | 4870       | 12        |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 4431                | 2215                | 2467            | 4934            | 4270                | 2135                |
| 16 MM10 / 4500         | 16       | M10                                 | 4500  |      | 4900       | 12        |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 4431                | 2215                | 2467            | 4934            | 4270                | 2135                |
| 18 MM10 / 4500         | 18       | M10                                 | 4500  |      | 4920       | 14        |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 4323                | 2162                | 2467            | 4934            | 4132                | 2066                |
| 20 MM10 / 4500         | 20       | M10                                 | 4500  |      | 4970       | 14        |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 4323                | 2162                | 2467            | 4934            | 4132                | 2066                |
| 22 MM10 / 4500         | 22       | M10                                 | 4500  |      | 5050       | 16        |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 4205                | 2102                | 2467            | 4934            | 3980                | 1990                |
| 24 MM10 / 4500         | 24       | M10                                 | 4500  |      | 5110       | 16        |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 4205                | 2102                | 2467            | 4934            | 3980                | 1990                |
| 26 MM10 / 4500         | 26       | M10                                 | 4500  |      | 5170       | 16        |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 4081                | 2040                | 2467            | 4934            | 3820                | 1910                |
| 28 MM10 / 4500         | 28       | M10                                 | 4500  |      | 5230       | 18        |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 4081                | 2040                | 2467            | 4934            | 3820                | 1910                |
| 30 MM10 / 4500         | 30       | M10                                 | 4500  |      | 5290       | 18        |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3951                | 1975                | 2467            | 4934            | 3653                | 1827                |
| 32 MM10 / 4500         | 32       | M10                                 | 4500  |      | 5350       | 19.5      |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3951                | 1975                | 2467            | 4934            | 3653                | 1827                |
| 34 MM10 / 4500         | 34       | M10                                 | 4500  |      | 5410       | 21.5      |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3815                | 1907                | 2467            | 4934            | 3479                | 1739                |
| 36 MM10 / 4500         | 36       | M10                                 | 4500  |      | 5470       | 23.5      |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3815                | 1907                | 2467            | 4934            | 3479                | 1739                |
| 38 MM10 / 4500         | 38       | M10                                 | 4500  |      | 5530       | 25.5      |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3673                | 1837                | 2467            | 4934            | 3297                | 1648                |
| 40 MM10 / 4500         | 40       | M10                                 | 4500  |      | 5590       | 27.5      |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3673                | 1837                | 2467            | 4934            | 3297                | 1648                |
| 42 MM10 / 4500         | 42       | M10                                 | 4500  |      | 5650       | 29.5      |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3526                | 1763                | 2467            | 4934            | 3107                | 1554                |
| 44 MM10 / 4500         | 44       | M10                                 | 4500  |      | 5710       | 31.3      |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3526                | 1763                | 2467            | 4934            | 3107                | 1554                |
| 46 MM10 / 4500         | 46       | M10                                 | 4500  |      | 5770       | 33.2      |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3372                | 1686                | 2467            | 4934            | 2910                | 1455                |
| 48 MM10 / 4500         | 48       | M10                                 | 4500  |      | 5830       | 35.2      |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3372                | 1686                | 2467            | 4934            | 2910                | 1455                |
| 50 MM10 / 4500         | 50       | M10                                 | 4500  |      | 5890       | 37.2      |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3229                | 1612                | 2467            | 4934            | 2713                | 1357                |
| 52 MM10 / 4500         | 52       | M10                                 | 4500  |      | 5950       | 39.2      |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3229                | 1612                | 2467            | 4934            | 2713                | 1357                |
| 54 MM10 / 4500         | 54       | M10                                 | 4500  |      | 6010       | 41.2      |            |             |             | 2500          |       | 2500            | 5000            | 3085                | 1538                | 2467            | 4934            | 2516                | 1259                |
| 56 MM10 / 4500         | 56       | M10                                 | 4500  |      | 6070       | 43.2      |            |             |             |               |       |                 |                 |                     |                     |                 |                 |                     |                     |

## Anexo E

### Base de dados apoios metálicos

Todas as características dos apoios constantes do catálogo da Metalgalva podem ser consultadas nas Tabelas E.1 e E.2.

| Nomenclatura Poste | Altura | Poste                |  | Volume Escavação [m <sup>3</sup> ] | Volume Betão [m <sup>3</sup> ] | Esforços |      |      |
|--------------------|--------|----------------------|--|------------------------------------|--------------------------------|----------|------|------|
|                    |        | Peso aproximado [kg] |  |                                    |                                | Ft       | FI   | Fv   |
| F10CM/15           | 15     | 1078                 |  | 4.086                              | 4.506                          | 900      | 75   | 1200 |
| F10CM/18           | 18     | 1310                 |  | 4.964                              | 5.476                          | 900      | 75   | 1200 |
| F10CM/21           | 21     | 1540                 |  | 5.22                               | 5.732                          | 900      | 75   | 1200 |
| F10CM/24           | 24     | 1719                 |  | 6.96                               | 7.645                          | 900      | 75   | 1200 |
| F10CM/27           | 27     | 1961                 |  | 7.33                               | 8.06                           | 900      | 75   | 1200 |
| F10CM/30           | 30     | 2148                 |  | 8.95                               | 9.832                          | 900      | 75   | 1200 |
| F10CM/33           | 33     | 2406                 |  | 9.816                              | 10.784                         | 900      | 75   | 1200 |
| F15CM/15           | 15     | 1301                 |  | 4.819                              | 5.269                          | 1425     | 800  | 1200 |
| F15CM/18           | 18     | 1473                 |  | 6.54                               | 7.153                          | 1425     | 800  | 1200 |
| F15CM/21           | 21     | 1776                 |  | 6846                               | 7.459                          | 1425     | 800  | 1200 |
| F15CM/24           | 24     | 1985                 |  | 7.645                              | 8.329                          | 1425     | 800  | 1200 |
| F15CM/27           | 27     | 2265                 |  | 8.924                              | 9.724                          | 1425     | 800  | 1200 |
| F15CM/30           | 30     | 2485                 |  | 10.052                             | 10.934                         | 1425     | 800  | 1200 |
| F15CM/33           | 33     | 2773                 |  | 11.026                             | 11.994                         | 1425     | 800  | 1200 |
| F30CM/15           | 15     | 1846                 |  | 16.012                             | 9.052                          | 2925     | 75   | 1500 |
| F30CM/18           | 18     | 2110                 |  | 18.076                             | 110.117                        | 2925     | 75   | 1500 |
| F30CM/21           | 21     | 2460                 |  | 19.594                             | 10.915                         | 2925     | 75   | 1500 |
| F30CM/24           | 24     | 2740                 |  | 21.172                             | 11.742                         | 2925     | 75   | 1500 |
| F30CM/27           | 27     | 3220                 |  | 19.252                             | 10.663                         | 2925     | 75   | 1500 |
| F30CM/30           | 30     | 3550                 |  | 20.16                              | 11.162                         | 2925     | 75   | 1500 |
| F30CM/33           | 33     | 3982                 |  | 21.068                             | 11.661                         | 2925     | 75   | 1500 |
| F30CMR/15          | 15     | 1846                 |  | 16.012                             | 9.052                          | 2175     | 1500 | 1500 |
| F30CMR/18          | 18     | 2110                 |  | 18.076                             | 110.117                        | 2175     | 1500 | 1500 |
| F30CMR/21          | 21     | 2460                 |  | 19.594                             | 10.915                         | 2175     | 1500 | 1500 |
| F30CMR/24          | 24     | 2740                 |  | 21.172                             | 11.742                         | 2175     | 1500 | 1500 |
| F30CMR/27          | 27     | 3220                 |  | 19.252                             | 10.663                         | 2175     | 1500 | 1500 |
| F30CMR/30          | 30     | 3550                 |  | 20.16                              | 11.162                         | 2175     | 1500 | 1500 |
| F30CMR/33          | 33     | 3982                 |  | 21.068                             | 11.661                         | 2175     | 1500 | 1500 |

| Nomenclatura Poste | Altura | Poste                |  | Volume Escavação [m <sup>3</sup> ] | Volume Betão [m <sup>3</sup> ] | Esforços |        |        |
|--------------------|--------|----------------------|--|------------------------------------|--------------------------------|----------|--------|--------|
|                    |        | Peso aproximado [kg] |  |                                    |                                | Ft       | FI     | Fv     |
| F45CM/15           | 15     | 2117                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 934.8    | 4320   | 1240.8 |
| F45CM/18           | 18     | 2421                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 934.8    | 4320   | 1240.8 |
| F45CM/21           | 21     | 2986                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 934.8    | 4320   | 1240.8 |
| F45CM/24           | 24     | 3352                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 934.8    | 4320   | 1240.8 |
| F45CM/27           | 27     | 3975                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 934.8    | 4320   | 1240.8 |
| F45CM/30           | 30     | 4435                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 934.8    | 4320   | 1240.8 |
| F45CM/33           | 33     | 5216                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 934.8    | 4320   | 1240.8 |
| F20MD/15           | 15     | 2042                 |  | 13.573                             | 7.725                          | 1632     | 326.4  | 3426.6 |
| F20MD/18           | 18     | 2351                 |  | 14.363                             | 8.171                          | 1632     | 326.4  | 3426.6 |
| F20MD/21           | 21     | 2712                 |  | 15.453                             | 8.685                          | 1632     | 326.4  | 3426.6 |
| F20MD/24           | 24     | 3019                 |  | 16.303                             | 9.159                          | 1632     | 326.4  | 3426.6 |
| F20MD/27           | 27     | 3405                 |  | 17.153                             | 9.633                          | 1632     | 326.4  | 3426.6 |
| F20MD/30           | 30     | 3758                 |  | 18.853                             | 10.581                         | 1632     | 326.4  | 3426.6 |
| F20MD/33           | 33     | 4173                 |  | 18.853                             | 10.581                         | 1632     | 326.4  | 3426.6 |
| F45MD/15           | 15     | 2355                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 3480.6   | 4320   | 3388.8 |
| F45MD/18           | 18     | 2659                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 3480.6   | 4320   | 3388.8 |
| F45MD/21           | 21     | 3224                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 3480.6   | 4320   | 3388.8 |
| F45MD/24           | 24     | 3590                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 3480.6   | 4320   | 3388.8 |
| F45MD/27           | 27     | 4254                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 3480.6   | 4320   | 3388.8 |
| F45MD/30           | 30     | 4673                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 3480.6   | 4320   | 3388.8 |
| F45MD/33           | 33     | 5453                 |  | 22.291                             | 5.78                           | 3480.6   | 4320   | 3388.8 |
| F65MD/15           | 15     | 3301                 |  | 39.477                             | 9.265                          | 5953.8   | 5536.3 | 4963.2 |
| F65MD/18           | 18     | 3930                 |  | 39.477                             | 9.265                          | 5953.8   | 5536.3 | 4963.2 |
| F65MD/21           | 21     | 4600                 |  | 39.477                             | 9.265                          | 5953.8   | 5536.3 | 4963.2 |
| F65MD/24           | 24     | 5252                 |  | 39.477                             | 9.265                          | 5953.8   | 5536.3 | 4963.2 |
| F65MD/27           | 27     | 5973                 |  | 39.477                             | 9.265                          | 5953.8   | 5536.3 | 4963.2 |
| F65MD/30           | 30     | 6714                 |  | 39.477                             | 9.265                          | 5953.8   | 5536.3 | 4963.2 |
| F65MD/33           | 33     | 7574                 |  | 39.477                             | 9.265                          | 5953.8   | 5536.3 | 4963.2 |
| F95MD/15           | 15     | 5189                 |  | 35.245                             | 8.221                          | 5953.8   | 8640   | 4963.2 |
| F95MD/18           | 18     | 5940                 |  | 35.245                             | 8.221                          | 5953.8   | 8640   | 4963.2 |
| F95MD/21           | 21     | 6788                 |  | 35.245                             | 8.221                          | 5953.8   | 8640   | 4963.2 |
| F95MD/24           | 24     | 7562                 |  | 39.477                             | 9.107                          | 5953.8   | 8640   | 4963.2 |
| F95MD/27           | 27     | 8580                 |  | 39.477                             | 9.107                          | 5953.8   | 8640   | 4963.2 |
| F95MD/30           | 30     | 9383                 |  | 39.477                             | 9.107                          | 5953.8   | 8640   | 4963.2 |
| F95MD/33           | 33     | 10467                |  | 39.477                             | 9.107                          | 5953.8   | 8640   | 4963.2 |

Tabela E.1: Apoios metálicos para MT do catálogo Metalgalva usados no *ApOpti*

| Nomenclatura Poste | Altura | Poste                | Volume Escavação [m³] | Volume Betão [m³] | Esforços |      |      |
|--------------------|--------|----------------------|-----------------------|-------------------|----------|------|------|
|                    |        | Peso aproximado [kg] |                       |                   | Ft       | FI   | Fv   |
| F20CA/15           | 15     | 1685                 | 11.727                | 6.831             | 1725     | 200  | 2750 |
| F20CA/18           | 18     | 1901                 | 12.409                | 7.225             | 1725     | 200  | 2750 |
| F20CA/21           | 21     | 2189                 | 13.427                | 7.703             | 1725     | 200  | 2750 |
| F20CA/24           | 24     | 2409                 | 14.165                | 8.123             | 1725     | 200  | 2750 |
| F20CA/27           | 27     | 2789                 | 14.903                | 8.543             | 1725     | 200  | 2750 |
| F20CA/30           | 30     | 3072                 | 14.903                | 8.543             | 1725     | 200  | 2750 |
| F20CA/33           | 33     | 3434                 | 15.641                | 8.963             | 1725     | 200  | 2750 |
| F45CA/15           | 15     | 2297                 | 22.291                | 5.78              | 4325     | 4250 | 2000 |
| F45CA/18           | 18     | 2598                 | 22.291                | 5.78              | 4325     | 4250 | 2000 |
| F45CA/21           | 21     | 3116                 | 22.291                | 5.78              | 4325     | 4250 | 2000 |
| F45CA/24           | 24     | 3478                 | 22.291                | 5.78              | 4325     | 4250 | 2000 |
| F45CA/27           | 27     | 4048                 | 22.291                | 5.78              | 4325     | 4250 | 2000 |
| F45CA/30           | 30     | 4504                 | 22.291                | 5.78              | 4325     | 4250 | 2000 |
| F45CA/33           | 33     | 5226                 | 22.291                | 5.78              | 4325     | 4250 | 2000 |
| F65CA/15           | 15     | 3072                 | 37.331                | 8.807             | 6375     | 3150 | 2325 |
| F65CA/18           | 18     | 3499                 | 37.331                | 8.807             | 6375     | 3150 | 2325 |
| F65CA/21           | 21     | 4069                 | 37.331                | 8.807             | 6375     | 3150 | 2325 |
| F65CA/24           | 24     | 4532                 | 37.331                | 8.807             | 6375     | 3150 | 2325 |
| F65CA/27           | 27     | 5153                 | 37.331                | 8.807             | 6375     | 3150 | 2325 |
| F65CA/30           | 30     | 5648                 | 37.331                | 8.807             | 6375     | 3150 | 2325 |
| F65CA/33           | 33     | 6518                 | 37.331                | 8.807             | 6375     | 3150 | 2325 |
| F95CA/15           | 15     | 4318                 | 35.245                | 8.221             | 9021     | 9171 | 2695 |
| F95CA/18           | 18     | 5061                 | 35.245                | 8.221             | 9021     | 9171 | 2695 |
| F95CA/21           | 21     | 5807                 | 35.245                | 8.221             | 9021     | 9171 | 2695 |
| F95CA/24           | 24     | 6573                 | 39.477                | 9.107             | 9021     | 9171 | 2695 |
| F95CA/27           | 27     | 7413                 | 39.477                | 9.107             | 9021     | 9171 | 2695 |
| F95CA/30           | 30     | 8210                 | 39.477                | 9.107             | 9021     | 9171 | 2695 |
| F95CA/33           | 33     | 9150                 | 39.477                | 9.107             | 9021     | 9171 | 2695 |
| F20CD/15           | 15     | 2279                 | 13.573                | 7.725             | 1546     | 273  | 2744 |
| F20CD/18           | 18     | 2586                 | 14.363                | 8.171             | 1546     | 273  | 2744 |
| F20CD/21           | 21     | 2896                 | 15.453                | 8.685             | 1546     | 273  | 2744 |
| F20CD/24           | 24     | 3221                 | 16.303                | 9.159             | 1546     | 273  | 2744 |
| F20CD/27           | 27     | 3557                 | 17.153                | 9.633             | 1546     | 273  | 2744 |
| F20CD/30           | 30     | 3907                 | 18.853                | 10.581            | 1546     | 273  | 2744 |
| F20CD/33           | 33     | 4254                 | 18.853                | 10.581            | 1546     | 273  | 2744 |

| Nomenclatura Poste | Altura | Poste                | Volume Escavação [m³] | Volume Betão [m³] | Esforços |       |      |
|--------------------|--------|----------------------|-----------------------|-------------------|----------|-------|------|
|                    |        | Peso aproximado [kg] |                       |                   | Ft       | FI    | Fv   |
| F30CD/15           | 15     | 2634                 | 20.776                | 11.448            | 2453     | 417   | 5096 |
| F30CD/18           | 18     | 2977                 | 20.776                | 11.448            | 2453     | 417   | 5096 |
| F30CD/21           | 21     | 3340                 | 23.242                | 12.708            | 2453     | 417   | 5096 |
| F30CD/24           | 24     | 3705                 | 23.242                | 12.708            | 2453     | 417   | 5096 |
| F30CD/27           | 27     | 4177                 | 24.244                | 13.252            | 2453     | 417   | 5096 |
| F30CD/30           | 30     | 4605                 | 25.246                | 13.796            | 2453     | 417   | 5096 |
| F30CD/33           | 33     | 5034                 | 26.908                | 14.608            | 2453     | 417   | 5096 |
| F65CD/15           | 15     | 3529                 | 39.477                | 9.265             | 6055     | 1742  | 2695 |
| F65CD/18           | 18     | 4153                 | 39.477                | 9.265             | 6055     | 1742  | 2695 |
| F65CD/21           | 21     | 4732                 | 39.477                | 9.265             | 6055     | 1742  | 2695 |
| F65CD/24           | 24     | 5377                 | 39.477                | 9.265             | 6055     | 1742  | 2695 |
| F65CD/27           | 27     | 6006                 | 39.477                | 9.265             | 6055     | 1742  | 2695 |
| F65CD/30           | 30     | 6740                 | 39.477                | 9.265             | 6055     | 1742  | 2695 |
| F65CD/33           | 33     | 7484                 | 39.477                | 9.265             | 6055     | 1742  | 2695 |
| F95CD/15           | 15     | 4940                 | 35.245                | 8.221             | 9072     | 8480  | 3355 |
| F95CD/18           | 18     | 5683                 | 35.245                | 8.221             | 9072     | 8480  | 3355 |
| F95CD/21           | 21     | 6429                 | 35.245                | 8.221             | 9072     | 8480  | 3355 |
| F95CD/24           | 24     | 7195                 | 39.477                | 9.107             | 9072     | 8480  | 3355 |
| F95CD/27           | 27     | 8035                 | 39.477                | 9.107             | 9072     | 8480  | 3355 |
| F95CD/30           | 30     | 8832                 | 39.477                | 9.107             | 9072     | 8480  | 3355 |
| F95CD/33           | 33     | 9772                 | 39.477                | 9.107             | 9072     | 8480  | 3355 |
| F165CD/15          | 15     | 5979                 | 62.859                | 14.555            | 15736    | 15221 | 5047 |
| F165CD/18          | 18     | 6758                 | 62.859                | 14.555            | 15736    | 15221 | 5047 |
| F165CD/21          | 21     | 7593                 | 62.859                | 14.555            | 15736    | 15221 | 5047 |
| F165CD/24          | 24     | 8488                 | 62.859                | 14.555            | 15736    | 15221 | 5047 |
| F165CD/27          | 27     | 9451                 | 62.859                | 14.555            | 15736    | 15221 | 5047 |
| F165CD/30          | 30     | 10489                | 62.859                | 14.555            | 15736    | 15221 | 5047 |
| F165CD/33          | 33     | 11495                | 62.859                | 14.555            | 15736    | 15221 | 5047 |

Tabela E.2: Apoios metálicos para AT do catálogo Metalgalva usados no *ApOpti*



## Anexo F

# Validação manual dos cálculos

Neste anexo foi feita a validação manual, de modo a verificar o bom funcionamento do *ApOpti*, dos seguintes cálculos:

- Cálculo dos esforços dos apoios da linha;
- Cálculo do coeficiente de esforço de cada apoio escolhido;
- Cálculo da componente elétrica da linha;
- Cálculo do vão crítico.

Esses mesmos cálculos podem ser consultados nas folhas seguintes.

## Demonstração da validade do cálculo dos esforços (Hipóteses 1 e 2)

### Apoio 1:

| $F_{vento}$        | $A(m)$ | $T_{cond}$         | $T_{cg}$           |
|--------------------|--------|--------------------|--------------------|
| $\frac{daN}{mm^2}$ |        | $\frac{daN}{mm^2}$ | $\frac{daN}{mm^2}$ |
| IL                 | 100    | 4                  | 6                  |
|                    |        | 1304,48*           | 764,40**           |

$$* 4 \times \sigma = 4 \times 326,12 = 1304,48 \text{ daN}$$

$$** 6 \times \sigma = 6 \times 127,4 = 764,40 \text{ daN}$$

$$w_{cond} = \frac{F_{vento}}{2} \times 0,981 = \frac{0,6 \times 1 \times (750/9,80665) \times (23,45 \times 10^{-3})}{2} \times 0,981 = 0,528$$

$$w_{cg} = \frac{F_{vento}}{2} \times 0,981 = \frac{0,6 \times 1,1 \times (750/9,80665) \times (14,6 \times 10^{-3})}{2} \times 0,981 = 0,361$$

$$w'_{cond} = P/2 = \frac{1,189}{2} = 0,595$$

$$w'_{cg} = P/2 = \frac{0,577}{2} = 0,289$$

$$w_{isol} = \frac{F_{vento}}{2} \times 0,981 = \frac{1 \times 1 \times (750/9,80665) \times (265 \times 10^{-3})}{2} \times 0,981 = 9,566$$

$$w'_{isol} = P/2 = \frac{35,62}{2} = 17,76$$

### Hipótese 1

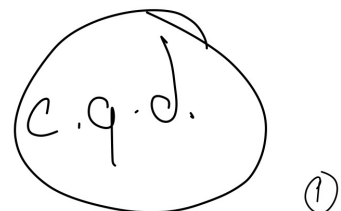
$$F_x = 3 \times 1304,48 + 1 \times 764,40 = 4677,84$$

$$F_y = 3 \times (0,528 \times 100 + 9,566) + 1 \times 0,361 \times 100 = 223,20$$

$$F_z = 3 \times (0,595 \times 100 + 17,76) + 1 \times (0,289 \times 100) = 260,68$$

### Hipótese 2

$$F_x = 0 \quad F_y = 0 \quad F_z = 0$$



①



Apoio 2:

\* Nas fórmulas, os ângulos são descritos em radianos.

| Função | $A_1 (m)$ | Ângulo (gr) | $T_{cond m}$    |            | $T_{cg m}$      |            |
|--------|-----------|-------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
|        | 100       |             | $\Delta N/mm^2$ | $\Delta N$ | $\Delta N/mm^2$ | $\Delta N$ |
|        |           |             | 4               | 1304,48    | 6               | 764,40     |
| ALI    | $A_2 (m)$ | 0           | $T_{cond j}$    |            | $T_{cg j}$      |            |
|        | 120       |             | $\Delta N/mm^2$ | $\Delta N$ | $\Delta N/mm^2$ | $\Delta N$ |
|        |           |             | 6               | 1956,72    | 8               | 1019,2     |

$$\begin{array}{l|l|l|l}
 w_{cond} = 0,528 & w_{cg} = 0,361 & w_{col} = 9,566 & \beta_1 = \pi \\
 w'_{cond} = 0,595 & w'_{cg} = 0,289 & w'_{col} = 17,760 & \beta_2 = 0 \\
 & & & \beta_d = -
 \end{array}
 \quad (*)$$

Hipótese 1

$$F_x = 3 \times \left| 1304,48 \times \cos(\pi) + 1956,72 \times \cos(0) \right| + 1 \times \left| 764,40 \times \cos(\pi) + 1019,2 \times \cos(0) \right| = 2211,52$$

$$\begin{aligned}
 F_y &= 3 \times \left( 0,528 \times 100 \times \cos^2(\pi) + 9,566 + 0,528 \times 120 \times \cos^2(0) + 9,566 + 1304,48 \times \sin(\pi) + 1956,72 \times \sin(0) \right) + 1 \times \left( 0,361 \times 100 \times \cos^2(\pi) + 0,361 \times 120 \times \cos^2(0) + 764,40 \times \sin(\pi) + 1019,2 \times \sin(0) \right) = \\
 &= 485,30
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_z &= 3 \times \left( 0,595 \times 100 + 17,760 + 0,595 \times 120 + 17,760 \right) + 1 \times \left( 0,289 \times 100 + 0,289 \times 120 \right) = 563,74
 \end{aligned}$$

(2)

Hipótese 2

$$F_x = \frac{1}{5} \times \left( 3 \times \left( 0,528 \times 100 \times \cos^2(\pi) + 0,528 \times 120 \times \cos^2(0) \right) + 1 \times \left( 0,361 \times 100 \times \cos^2(\pi) + 0,361 \times 120 \times \cos^2(0) \right) \right) = 85,58$$

$$F_y = 0$$

$$F_z = 3 \times \left( 0,595 \times 100 + 17,760 + 0,595 \times 120 + 17,760 \right) + 1 \times \left( 0,289 \times 100 + 0,289 \times 120 \right) = 562,84$$

c.q.d.

## Apoio 3:

\* Nas fórmulas, os ângulos são descritos em radianos.

| Função | $A_1 (m)$ | Ângulo (grd) | $T_{condm}$                        |              | $T_{cg m}$                         |              |
|--------|-----------|--------------|------------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|
|        | 120       |              | $\frac{\partial N}{\partial mm^2}$ | $\partial N$ | $\frac{\partial N}{\partial mm^2}$ | $\partial N$ |
|        |           |              | 6                                  | 1956,72      | 8                                  | 1019,2       |
| DALI   | $A_2 (m)$ | 0            | $T_{condj}$                        |              | $T_{cgj}$                          |              |
|        | 150       |              | $\frac{\partial N}{\partial mm^2}$ | $\partial N$ | $\frac{\partial N}{\partial mm^2}$ | $\partial N$ |
|        |           |              | 6                                  | 1956,72      | 8                                  | 1019,2       |

$$\begin{aligned}
 w_{cond} &= 0,528 & w_{condj} &= 0,367 \\
 w'_{cond} &= 0,595 & w'_{condj} &= 0,268 \\
 w_{cg} &= 0,361 & w_{cgj} &= 0,361 \\
 w'_{cg} &= 0,289 & w'_{cgj} &= 0,289 \\
 w_{isol} &= 9,566 & \beta_1 &= \pi \\
 w'_{isol} &= 17,760 & \beta_2 &= 0 \\
 & & \beta_d &= 0,3142 - \beta_2 \\
 & & &= 0,3142
 \end{aligned}$$

| $A_d (mm)$                         | Ângulo d (grd) |
|------------------------------------|----------------|
| 80                                 | 20             |
| $T_{cond}$                         |                |
| $\frac{\partial N}{\partial mm^2}$ | $\partial N$   |
| 4                                  | 631,68         |
| $T_{cg d}$                         |                |
| $\frac{\partial N}{\partial mm^2}$ | $\partial N$   |
| 6                                  | 764,40         |

## Hipótese 1

$$\begin{aligned}
 F_x &= 3 \times \left| 1956,72 \times \cos(\pi) + 1956,72 \times \cos(0) + 631,68 \times \right. \\
 &\quad \left. \times \cos(0,3142) \right| + 1 \times \left| 1019,2 \times \cos(\pi) + 1019,2 \times \cos(0) + 764,40 \times \right. \\
 &\quad \left. \times \cos(0,3142) \right| = 2529,24
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_y = & 3 \times \left( 0,528 \times 120 \times \cos^2(\pi) + 9,566 + 0,528 \times 150 \times \right. \\
 & \times \cos^2(0) + 9,566 + 0,367 \times 80 \times \cos^2(0,3142) + 9,566 + \\
 & \left. \left| 1956,72 \times \sin(\pi) + 1956,72 \times \sin(0) + 631,68 \times \sin(0,3142) \right| \right) + \\
 & + 1 \times \left( 0,361 \times 120 \times \cos^2(\pi) + 0,361 \times 150 \times \cos^2(0) + 0,361 \times \right. \\
 & \times 80 \times \cos^2(0,3142) + \left| 1019,2 \times \sin(\pi) + 1019,2 \times \sin(0) + \right. \\
 & \left. + 764,40 \times \sin(0,3142) \right| \Big) = 1538,67
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_z = & 3 \times \left( 0,595 \times 120 + 17,76 + 0,595 \times 150 + 17,76 + \right. \\
 & + 0,268 \times 80 + 17,76 \Big) + 1 \times \left( 0,289 \times 120 + 0,289 \times 150 + \right. \\
 & + 0,289 \times 80 \Big) = 807,26
 \end{aligned}$$

## Hipótese 2

$$\begin{aligned}
 F_x = & 3 \times \left( 0,528 \times 120 \times \sin^2(\pi) + 9,566 + 0,528 \times 150 \times \right. \\
 & \times \sin^2(0) + 9,566 + 0,367 \times 80 \times \sin^2(0,3142) + 9,566 + \\
 & \left. \left| 1956,72 \times \cos(\pi) + 1956,72 \times \cos(0) + 631,68 \times \cos(0,3142) \right| \right) + \\
 & + 1 \times \left( 0,361 \times 120 \times \sin^2(\pi) + 0,361 \times 150 \times \sin^2(0) + 0,361 \times \right. \\
 & \times 80 \times \sin^2(0,3142) + \left| 1019,2 \times \cos(\pi) + 1019,2 \times \cos(0) + \right. \\
 & \left. + 764,40 \times \cos(0,3142) \right| \Big) = 2625,65
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_y = & 3 \times \left| 1956,72 \times \sin(\pi) + 1956,72 \times \sin(0) + 631,68 \times \right. \\
 & \times \sin(0,3142) \Big| + 1 \times \left| 1019,2 \times \sin(\pi) + 1019,2 \times \sin(0) + 764,40 \times \right. \\
 & \times \sin(0,3142) \Big| = 821,92
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_z = & 3 \times \left( 0,595 \times 120 + 17,76 + 0,595 \times 150 + 17,76 + \right. \\
 & + 0,268 \times 80 + 17,76 \Big) + 1 \times \left( 0,289 \times 120 + 0,289 \times 150 + \right. \\
 & + 0,289 \times 80 \Big) = 807,27
 \end{aligned}$$

c.q.d.

## Apoio 4:

(\*) Nas fórmulas, os ângulos são descritos em radianos.

| Função | $A_1 (m)$ | Ângulo (grd) | $T_{condm}$     |            | $T_{cg,m}$      |            |
|--------|-----------|--------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
|        | 150       |              | $\Delta N/mm^2$ | $\Delta N$ | $\Delta N/mm^2$ | $\Delta N$ |
|        |           |              | 6               | 1956,72    | 8               | 1019,2     |
| ANG    | $A_2 (m)$ | 10           | $T_{condj}$     |            | $T_{cgj}$       |            |
|        | 220       |              | $\Delta N/mm^2$ | $\Delta N$ | $\Delta N/mm^2$ | $\Delta N$ |
|        |           |              | 6               | 1956,72    | 8               | 1019,2     |

$$\begin{array}{l|l|l|l}
 w_{cond} = 0,528 & w_{cg} = 0,361 & w_{isol} = 9,566 & \beta_1 = \pi - 0,0785 \\
 w'_{cond} = 0,595 & w'_{cg} = 0,289 & w'_{isol} = 17,760 & \beta_2 = 0,0785 \\
 & & & \beta_d = -
 \end{array} \quad (*)$$

## Hipótese 1

$$F_x = 3 \times \left| 1956,72 \times \cos(3,0631) + 1956,72 \times \cos(0,0785) \right| + 1 \times \left| 1019,2 \times \cos(3,0631) + 1019,2 \times \cos(0,0785) \right| = 0$$

$$\begin{aligned}
 F_y = & 3 \times \left( 0,528 \times 150 \times \cos^2(3,0631) + 9,566 + 0,528 \times 220 \times \cos^2(0,0785) + 9,566 + 1956,72 \times \sin(3,0631) + \right. \\
 & \left. 1956,72 \times \sin(0,0785) \right) + 1 \times \left( 0,361 \times 150 \times \cos^2(3,0631) + 0,361 \times 220 \times \cos^2(0,0785) + 1019,2 \times \sin(3,0631) + 1019,2 \times \right. \\
 & \left. \sin(0,0785) \right) = 1853,09
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_z = & 3 \times \left( 0,595 \times 150 + 17,760 + 0,595 \times 220 + 17,760 \right) \\
 & + 1 \times \left( 0,289 \times 150 + 0,289 \times 220 \right) = 873,94
 \end{aligned}$$

(\*)

Hipótese 2

$$F_x = \frac{1}{5} \times \left( 3 \times \left( 0,528 \times 150 \times \cos^2(3,0631) + 0,528 \times 220 \times \cos^2(0,0788) \right) + 1 \times \left( 0,361 \times 150 \times \cos^2(3,0631) + 0,361 \times 220 \times \cos^2(0,0788) \right) \right) = 143,05$$

$$F_y = 0$$

$$F_z = 3 \times \left( 0,595 \times 150 + 17,760 + 0,595 \times 220 + 17,760 \right) + 1 \times \left( 0,289 \times 150 + 0,289 \times 220 \right) = 873,94$$

c.q.d.

Apoio 5:

\* Nas fórmulas, os ângulos são descritos em radianos.

| Função   | $A_1 (m)$ | $\hat{\text{Ângulo}} (grd)$ | $T_{condm}$              |                     | $T_{cg m}$               |                     |
|----------|-----------|-----------------------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
|          | 220       |                             | $\partial \text{N/mm}^2$ | $\partial \text{N}$ | $\partial \text{N/mm}^2$ | $\partial \text{N}$ |
|          |           |                             | 6                        | 1956,72             | 8                        | 1019,2              |
| R.D. ANG | $A_2 (m)$ | 15                          | $T_{condj}$              |                     | $T_{cgj}$                |                     |
|          | 190       |                             | $\partial \text{N/mm}^2$ | $\partial \text{N}$ | $\partial \text{N/mm}^2$ | $\partial \text{N}$ |
|          |           |                             | 6                        | 1956,72             | 8                        | 1019,2              |

$$\begin{aligned}
 w_{cond} &= 0,528 & w_{condj} &= 0,367 \\
 w'_{cond} &= 0,595 & w'_{condj} &= 0,268 \\
 w_{cg} &= 0,361 & w_{cgj} &= 0,361 \\
 w'_{cg} &= 0,289 & w'_{cgj} &= 0,289 \\
 w_{isol} &= 9,566 & \beta_1 &= 3,0238 \\
 w'_{isol} &= 17,760 & \beta_2 &= 0,1178 \\
 & & \beta_d &= -0,7461
 \end{aligned}
 \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \\ \\ \\ \end{array} \right\} (*)$$

|                          |                   |                          |                   |
|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| $A_d (mm)$               |                   | $\hat{A}ngulo_d (grd)$   |                   |
| 120                      |                   | -40                      |                   |
| $T_{cond}$               |                   | $T_{cgd}$                |                   |
| $\Delta \sigma N / mm^2$ | $\Delta \sigma N$ | $\Delta \sigma N / mm^2$ | $\Delta \sigma N$ |
| 5                        | 789,60            | 7                        | 891,80            |

Hipótese 1

$$\begin{aligned}
 F_x &= 3 \times \left| 1956,72 \times \cos(3,0238) + 1956,72 \times \cos(0,1178) + 789,60 \times \right. \\
 &\quad \left. \times \cos(-0,7461) \right| + 1 \times \left| 1019,2 \times \cos(3,0238) + 1019,2 \times \cos(0,1178) + 891,80 \times \right. \\
 &\quad \left. \times \cos(-0,7461) \right| = 2394,39
 \end{aligned}$$



$$\begin{aligned}
 F_y = & 3 \times \left( 0,528 \times 220 \times \cos^2(3,0238) + 9,566 + 0,528 \times 190 \times \right. \\
 & \times \cos^2(0,1178) + 9,566 + 0,367 \times 120 \times \cos^2(-0,7461) + 9,566 + \\
 & \left. \left| 1956,72 \times \sin(3,0238) + 1956,72 \times \sin(0,1178) + 789,60 \times \sin(-0,7461) \right| \right) + \\
 & + 1 \times \left( 0,361 \times 220 \times \cos^2(3,0238) + 0,361 \times 190 \times \cos^2(0,1178) + 0,361 \times \right. \\
 & \times 120 \times \cos^2(-0,7461) + \left| 1019,2 \times \sin(3,0238) + 1019,2 \times \sin(0,1178) + \right. \\
 & \left. + 891,80 \times \sin(-0,7461) \right| \Big) = 1561,04
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_z = & 3 \times \left( 0,595 \times 220 + 17,76 + 0,595 \times 190 + 17,76 + \right. \\
 & + 0,268 \times 120 + 17,76 \Big) + 1 \times \left( 0,289 \times 220 + 0,289 \times 190 + \right. \\
 & + 0,289 \times 120 \Big) = 1141,34
 \end{aligned}$$

Hipótese 2

$$F_x = \frac{2}{3} \times \left( 3 \times 1956,72 \times \cos(0,1178) + 1 \times 1019,2 \times \cos(0,1178) + \right. \\ \left. + 3 \times \left| 1956,72 \times \cos(3,0238) + 1956,72 \times \cos(0,1178) + 789,60 \times \right. \right. \\ \left. \left. \times \cos(-0,7461) \right| + 1 \times \left| 1019,2 \times \cos(3,0238) + 1019,2 \times \cos(0,1178) + \right. \right. \\ \left. \left. + 891,80 \times \cos(-0,7461) \right| \right) = 6157,34$$

$$F_y = 3 \times \left| 1956,72 \times \sin(3,0238) + 1956,72 \times \sin(0,1178) + 789,60 \times \right. \\ \left. \times \sin(-0,7461) \right| + 1 \times \left| 1019,2 \times \sin(3,0238) + 1019,2 \times \sin(0,1178) + 891,90 \times \right. \\ \left. \times \sin(-0,7461) \right| = 593,97$$

$$F_z = 3 \times \left( 0,595 \times 220 + 17,76 + 0,595 \times 190 + 17,76 + \right. \\ \left. + 0,268 \times 120 + 17,76 \right) + 1 \times \left( 0,289 \times 220 + 0,289 \times 190 + \right. \\ \left. + 0,289 \times 120 \right) = 1141,34$$

c.q.d.

## Apoio 6:

(\*) Nas fórmulas, os ângulos são descritos em radianos.

| Função  | $A_1 (m)$ | Ângulo (grd) | $T_{cond,m}$             |                   | $T_{cg,m}$               |                   |
|---------|-----------|--------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|         |           |              | $\Delta \sigma N / mm^2$ | $\Delta \sigma N$ | $\Delta \sigma N / mm^2$ | $\Delta \sigma N$ |
|         | 190       |              | 6                        | 1956,72           | 8                        | 1019,2            |
| R.A.L.I | $A_2 (m)$ | 0            | $T_{cond,j}$             |                   | $T_{cg,j}$               |                   |
|         |           |              | $\Delta \sigma N / mm^2$ | $\Delta \sigma N$ | $\Delta \sigma N / mm^2$ | $\Delta \sigma N$ |
|         | 210       |              | 6                        | 1956,72           | 8                        | 1019,2            |

$$\begin{array}{l|l|l|l} w_{cond} = 0,528 & w_{cg} = 0,361 & w_{isol} = 9,566 & \beta_1 = \pi \\ w'_{cond} = 0,595 & w'_{cg} = 0,289 & w'_{isol} = 17,760 & \beta_2 = 0 \\ & & & \beta_d = - \end{array} \quad (*)$$

## Hipótese 1

$$F_x = 3 \times \left| 1956,72 \times \cos(\pi) + 1956,72 \times \cos(0) \right| + 1 \times \left| 1019,2 \times \cos(\pi) + 1019,2 \times \cos(0) \right| = 0$$

$$F_y = 3 \times \left( 0,528 \times 190 \times \cos^2(\pi) + 9,566 + 0,528 \times 210 \times \cos^2(0) + 9,566 + 1956,72 \times \sin(\pi) + 1956,72 \times \sin(0) \right) + 1 \times \left( 0,361 \times 190 \times \cos^2(\pi) + 0,361 \times 210 \times \cos^2(0) + 1019,2 \times \sin(\pi) + 1019,2 \times \sin(0) \right) = 835,40$$

$$F_z = 3 \times \left( 0,595 \times 190 + 17,760 + 0,595 \times 210 + 17,760 \right) + 1 \times \left( 0,289 \times 190 + 0,289 \times 210 \right) = 936,16$$

(12)

Hipótese 2

$$F_x = \frac{L}{3} \times \left( 3 \times 1956,72 \times \cos(0) + 1 \times 1019,2 \times \cos(0) \right) = 4592,91$$

$$F_y = 0$$

$$F_z = 3 \times \left( 0,595 \times 190 + 17,760 + 0,595 \times 210 + 17,760 \right) + 1 \times \left( 0,289 \times 190 + 0,289 \times 210 \right) = 936,16$$

c.q.d.

Apoio 7:

\* Nas fórmulas, os ângulos são descritos em radianos.

| Função | $A_1 (m)$ | Ângulo (grd) | $T_{condm}$              |                     | $T_{cg m}$               |                     |
|--------|-----------|--------------|--------------------------|---------------------|--------------------------|---------------------|
|        |           |              | $\partial \text{N/mm}^2$ | $\partial \text{N}$ | $\partial \text{N/mm}^2$ | $\partial \text{N}$ |
|        | 210       |              | 6                        | 1956,72             | 8                        | 1019,2              |
| D. ANG | $A_2 (m)$ | 15           | $T_{condj}$              |                     | $T_{cgj}$                |                     |
|        |           |              | $\partial \text{N/mm}^2$ | $\partial \text{N}$ | $\partial \text{N/mm}^2$ | $\partial \text{N}$ |
|        | 210       |              | 6                        | 1956,72             | 8                        | 1019,2              |

$$\begin{aligned}
 w_{cond} &= 0,528 & w_{condj} &= 0,367 \\
 w'_{cond} &= 0,595 & w'_{condj} &= 0,268 \\
 w_{cg} &= 0,361 & w_{cgj} &= 0,361 \\
 w'_{cg} &= 0,289 & w'_{cgj} &= 0,289 \\
 w_{isol} &= 9,566 & \beta_1 &= 3,0238 \\
 w'_{isol} &= 17,760 & \beta_2 &= 0,1178 \\
 & & \beta_d &= 0,0393
 \end{aligned}
 \quad \left\{ \begin{array}{l} * \end{array} \right.$$

| $A_d (mm)$               | Ângulo d (grd)      |
|--------------------------|---------------------|
| 100                      | 10                  |
| $T_{cond}$               |                     |
| $\partial \text{N/mm}^2$ | $\partial \text{N}$ |
| 5                        | 789,60              |
| $T_{cg d}$               |                     |
| $\partial \text{N/mm}^2$ | $\partial \text{N}$ |
| 7                        | 891,80              |

Hipótese 1

$$\begin{aligned}
 F_x &= 3 \times \left| 1956,72 \times \cos(3,0238) + 1956,72 \times \cos(0,1178) + 789,60 \times \cos(0,0393) \right| \\
 &+ 1 \times \left| 1019,2 \times \cos(3,0238) + 1019,2 \times \cos(0,1178) + 891,80 \times \cos(0,0393) \right| = 3258,08
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_y = & 3 \times \left( 0,528 \times 210 \times \cos^2(3,0238) + 9,566 + 0,528 \times 210 \times \right. \\
 & \left. \times \cos^2(0,1178) + 9,566 + 0,367 \times 100 \times \cos^2(0,0393) + 9,566 + \right. \\
 & \left. \left| 1956,72 \times \sin(3,0238) + 1956,72 \times \sin(0,1178) + 789,60 \times \sin(0,0393) \right| \right) + \\
 & + 1 \times \left( 0,361 \times 210 \times \cos^2(3,0238) + 0,361 \times 210 \times \cos^2(0,1178) + 0,361 \times \right. \\
 & \left. \times 100 \times \cos^2(0,0393) + \left| 1019,2 \times \sin(3,0238) + 1019,2 \times \sin(0,1178) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + 891,80 \times \sin(0,0393) \right| \right) = 2785,13
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_z = & 3 \times \left( 0,595 \times 210 + 17,76 + 0,595 \times 210 + 17,76 + \right. \\
 & \left. + 0,268 \times 100 + 17,76 \right) + 1 \times \left( 0,289 \times 210 + 0,289 \times 210 + \right. \\
 & \left. + 0,289 \times 100 \right) = 1140,22
 \end{aligned}$$

Hipótese 2

$$F_x = 3 \times \left( 0,528 \times 210 \times \sin^2(3,0238) + 9,566 + 0,528 \times 210 \times \sin^2(0,1178) + 9,566 + 0,367 \times 100 \times \sin^2(0,0393) + 9,566 + \left| 1956,72 \times \cos(3,0238) + 1956,72 \times \cos(0,1178) + 789,60 \times \cos(0,0393) \right| \right) + 1 \times \left( 0,361 \times 210 \times \sin^2(3,0238) + 0,361 \times 210 \times \sin^2(0,1178) + 0,361 \times 100 \times \sin^2(0,0393) + \left| 1019,2 \times \cos(3,0238) + 1019,2 \times \cos(0,1178) + 891,80 \times \cos(0,0393) \right| \right) = 3355,68$$

$$F_y = 3 \times \left| 1956,72 \times \sin(3,0238) + 1956,72 \times \sin(0,1178) + 789,60 \times \sin(0,0393) \right| + 1 \times \left| 1019,2 \times \sin(3,0238) + 1019,2 \times \sin(0,1178) + 891,80 \times \sin(0,0393) \right| = 1747,44$$

$$F_z = 3 \times \left( 0,595 \times 210 + 17,76 + 0,595 \times 210 + 17,76 + 0,268 \times 100 + 17,76 \right) + 1 \times \left( 0,289 \times 210 + 0,289 \times 210 + 0,289 \times 100 \right) = 1140,22$$

c.q.d.

Apoio 8:

\* Nas fórmulas, os ângulos são descritos em radianos.

| Função | $A_1 (m)$ | Ângulo (grd) | $T_{cond m}$    |            | $T_{cg m}$      |            |
|--------|-----------|--------------|-----------------|------------|-----------------|------------|
|        |           |              | $\Delta N/mm^2$ | $\Delta N$ | $\Delta N/mm^2$ | $\Delta N$ |
|        | 210       |              | 6               | 1956,72    | 8               | 1019,2     |
| R.ANG  | $A_2 (m)$ | 30           | $T_{cond j}$    |            | $T_{cg j}$      |            |
|        |           |              | $\Delta N/mm^2$ | $\Delta N$ | $\Delta N/mm^2$ | $\Delta N$ |
|        | 180       |              | 6               | 1956,72    | 8               | 1019,2     |

$$\begin{array}{l|l|l|l}
 w_{cond} = 0,528 & w_{cg} = 0,361 & w_{icol} = 9,566 & \beta_1 = 2,9060 \\
 w'_{cond} = 0,595 & w'_{cg} = 0,289 & w'_{icol} = 17,760 & \beta_2 = 0,2356 \\
 & & & \beta_d = -
 \end{array}
 \quad (*)$$

Hipótese 1

$$F_x = 3 \times \left[ 1956,72 \times \cos(2,9060) + 1956,72 \times \cos(0,2356) \right] + 1 \times \left[ 1019,2 \times \cos(2,9060) + 1019,2 \times \cos(0,2356) \right] = 0$$

$$\begin{aligned}
 F_y = & 3 \times \left( 0,528 \times 210 \times \cos^2(2,9060) + 9,566 + 0,528 \times 180 \times \cos^2(0,2356) + 9,566 + 1956,72 \times \sin(2,9060) + \right. \\
 & \left. 1956,72 \times \sin(0,2356) \right) + 1 \times \left( 0,361 \times 210 \times \cos^2(2,9060) + \right. \\
 & \left. 0,361 \times 180 \times \cos^2(0,2356) + 1019,2 \times \sin(2,9060) + 1019,2 \times \sin(0,2356) \right) = 3990,88
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_z = & 3 \times \left( 0,595 \times 210 + 17,760 + 0,595 \times 180 + 17,760 \right) \\
 & + 1 \times \left( 0,289 \times 210 + 0,289 \times 180 \right) = 915,42
 \end{aligned}
 \quad (17)$$



Hipótese 2

$$F_x = \frac{L}{3} \times \left( 3 \times 1956,72 \times \cos(0,2356) + 1 \times 1019,2 \times \cos(0,2356) \right) =$$
$$= 4466,03$$

$$F_y = 0$$

$$F_z = 3 \times \left( 0,595 \times 210 + 17,760 + 0,595 \times 180 + 17,760 \right)$$
$$+ 1 \times \left( 0,289 \times 210 + 0,289 \times 180 \right) = 915,42$$

c.q.d.

Apoio 9:

\* Nas fórmulas, os ângulos são descritos em radianos.

| Função   | $A_1 (m)$ | Ângulo (grd) | $T_{condm}$              |                   | $T_{cg m}$               |                   |
|----------|-----------|--------------|--------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
|          | 180       |              | $\Delta \sigma N / mm^2$ | $\Delta \sigma N$ | $\Delta \sigma N / mm^2$ | $\Delta \sigma N$ |
|          |           |              | 6                        | 1956,72           | 8                        | 1019,2            |
| R.D. ALI | $A_2 (m)$ | 0            | $T_{condj}$              |                   | $T_{cgj}$                |                   |
|          | 150       |              | $\Delta \sigma N / mm^2$ | $\Delta \sigma N$ | $\Delta \sigma N / mm^2$ | $\Delta \sigma N$ |
|          |           |              | 4                        | 1304,48           | 6                        | 764,40            |

$$\begin{aligned}
 w_{cond} &= 0,528 & w_{condj} &= 0,367 \\
 w'_{cond} &= 0,595 & w'_{condj} &= 0,268 \\
 w_{cg} &= 0,361 & w_{cgj} &= 0,361 \\
 w'_{cg} &= 0,289 & w'_{cgj} &= 0,289 \\
 w_{isol} &= 9,566 & \beta_1 &= \pi \\
 w'_{isol} &= 17,760 & \beta_2 &= 0 \\
 & & \beta_d &= -0,2356
 \end{aligned}
 \quad \left( \begin{array}{l} * \end{array} \right)$$

|             |        |                |        |
|-------------|--------|----------------|--------|
| Ad (mm)     |        | Ângulo d (grd) |        |
| 70          |        | -15            |        |
| Tcond       |        | Tcg d          |        |
| ΔσN/mm² ΔσN |        | ΔσN/mm² ΔσN    |        |
| 4           | 631,68 | 6              | 764,40 |

Hipótese 1

$$\begin{aligned}
 F_x &= 3 \times \left| 1956,72 \times \cos(\pi) + 1304,48 \times \cos(0) + 631,68 \times \right. \\
 &\quad \left. \times \cos(-0,2356) \right| + 1 \times \left| 1019,2 \times \cos(\pi) + 764,40 \times \cos(0) + 764,40 \times \right. \\
 &\quad \left. \times \cos(-0,2356) \right| = 602,52
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_y = & 3 \times \left( 0,528 \times 180 \times \cos^2(\pi) + 9,566 + 0,528 \times 150 \times \right. \\
 & \times \cos^2(0) + 9,566 + 0,367 \times 70 \times \cos^2(-0,2356) + 9,566 + \\
 & \left. \left| 1956,72 \times \sin(\pi) + 1304,48 \times \sin(0) + 631,68 \times \sin(-0,2356) \right| \right) + \\
 & + 1 \times \left( 0,361 \times 180 \times \cos^2(\pi) + 0,361 \times 150 \times \cos^2(0) + 0,361 \times \right. \\
 & \times 70 \times \cos^2(-0,2356) + \left. \left| 1019,2 \times \sin(\pi) + 764,40 \times \sin(0) + \right. \right. \\
 & \left. \left. + 764,40 \times \sin(-0,2356) \right| \right) = 1445,49
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 F_z = & 3 \times \left( 0,595 \times 180 + 17,76 + 0,595 \times 150 + 17,76 + \right. \\
 & + 0,268 \times 70 + 17,76 \left. \right) + 1 \times \left( 0,289 \times 180 + 0,289 \times 150 + \right. \\
 & + 0,289 \times 70 \left. \right) = 920,77
 \end{aligned}$$

Hipótese 2

$$F_x = \frac{2}{3} \times \left( 3 \times 1956,72 \times \cos(0) + 1 \times 1019,2 \times \cos(0) + 3 \times \left| 1956,72 \times \cos(\pi) + 1304,48 \times \cos(0) + 631,38 \times \cos(-0,2356) \right| + 1 \times \left| 1019,2 \times \cos(\pi) + 764,40 \times \cos(0) + 764,40 \times \cos(-0,2356) \right| \right) = 4995,17$$

$$F_y = 3 \times \left| 1956,72 \times \sin(\pi) + 1304,48 \times \sin(0) + 631,38 \times \sin(-0,2356) \right| + 1 \times \left| 1019,2 \times \sin(\pi) + 764,40 \times \sin(0) + 764,40 \times \sin(-0,2356) \right| = 620,57$$

$$F_z = 3 \times \left( 0,595 \times 180 + 17,76 + 0,595 \times 150 + 17,76 + 0,268 \times 70 + 17,76 \right) + 1 \times \left( 0,289 \times 180 + 0,289 \times 150 + 0,289 \times 70 \right) = 920,77$$

c.q.d.

Apoio 10:

| $F_{unzão}$ | $A_y(m)$ | $T_{cond_m}$                       |              | $T_{ceg}$                          |              |
|-------------|----------|------------------------------------|--------------|------------------------------------|--------------|
|             |          | $\frac{\partial N}{\partial mm^2}$ | $\partial N$ | $\frac{\partial N}{\partial mm^2}$ | $\partial N$ |
| FL          | 150      | 4                                  | 1304,48      | 6                                  | 764,40       |

$$\begin{array}{l|l|l} w_{cond} = 0,528 & w_{cg} = 0,361 & w_{isol} = 9,566 \\ w'_{cond} = 0,595 & w'_{cg} = 0,289 & w'_{isol} = 17,760 \end{array}$$

Hipótese 1

$$F_x = 3 \times 1304,48 + 1 \times 764,40 = 4677,84$$

$$F_y = 3 \times (0,528 \times 150 + 9,566) + 1 \times 0,361 \times 150 = 320,45$$

$$F_z = 3 \times (0,595 \times 150 + 17,76) + 1 \times (0,289 \times 150) = 364,38$$

Hipótese 2

$$F_x = 0$$

$$F_y = 0$$

$$F_z = 0$$

c.q.d.

### Demonstração da validade do cálculo dos coeficientes de esforço

$$\text{Apoio 1: } \frac{4677,84}{5203} + \frac{223,20}{2428} = 0,991 = 99\%$$

$$\text{Apoio 2: } \frac{2211,52}{2500} + \frac{485,30}{5000} = 0,982 = 98\%$$

$$\text{Apoio 3: } \frac{2529,24}{3400} + \frac{1538,67}{7500} = 0,949 = 95\%$$

$$\text{Apoio 4: } \frac{143,05}{1742} + \frac{1853,09}{6055} = 0,388 = 39\%$$

$$\text{Apoio 5: } \frac{6157,34}{8480} + \frac{1561,04}{9072} = 0,898 = 90\%$$

$$\text{Apoio 6: } \frac{4593,91}{5203} + \frac{0}{2428} = 0,883 = 88\%$$

$$\text{Apoio 7: } \frac{3355,68}{8480} + \frac{2788,13}{9072} = 0,702 = 70\%$$

(23)

$$\text{Apoio 8: } \frac{0}{9768} + \frac{3990,88}{3996} = 0,999 = 100\%$$

$$\text{Apoio 9: } \frac{4995,17}{8480} + \frac{1445,49}{9072} = 0,748 = 75\%$$

$$\text{Apoio 10: } \frac{4677,84}{6589} + \frac{320,45}{2987} = 0,817 = 82\%$$

c.q.d.

## Demonstração Cálculo Elétrico

| Tipo linha (KV) | Potência (MVA) | $\cos \varphi$ |
|-----------------|----------------|----------------|
| 60              | 50             | 1              |

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times V \times \cos \varphi} = \frac{50 \times 10^6}{\sqrt{3} \times 60 \times 10^3 \times 1} = 481,125 \text{ A}$$

$$R = 0,109 \times \left( 1 + 0,0039 (65 - 20) \right) =$$

$$= 0,12813 \text{ } \Omega / \text{km}$$

$$r' = \sqrt[1]{1 \times 11,73 \times \left( \frac{0,00001}{2} \right)^{1-1}} = 11,73 \text{ mm}$$

• Para o apoio 1 (a título exemplificativo):

$$L_k = \left[ \frac{1}{2 \times 1} + 4,605 \times \log \left( \frac{4522,52}{11,73} \right) \right] \times 10^{-4}$$

$$= 0,001241 \text{ H/km}$$

$$C_k = \frac{24,2}{\log \left( \frac{4522,52}{11,73} \right)} \times 10^{-9} = 9,3578 \times 10^{-9} \text{ F/km}$$



• Para todos os apoios da linha:

| Apoio | Coef. Auto-Indução (H/km) | Capacidade (F/km)       |
|-------|---------------------------|-------------------------|
| 1     | 0,001241                  | $9,3578 \times 10^{-9}$ |
| 2     | 0,001175                  | $9,9033 \times 10^{-9}$ |
| 3     | 0,001175                  | $9,9033 \times 10^{-9}$ |
| 4     | 0,001197                  | $9,7124 \times 10^{-9}$ |
| 5     | 0,001234                  | $9,4102 \times 10^{-9}$ |
| 6     | 0,001175                  | $9,9033 \times 10^{-9}$ |
| 7     | 0,001234                  | $9,4102 \times 10^{-9}$ |
| 8     | 0,001175                  | $9,9033 \times 10^{-9}$ |
| 9     | 0,001234                  | $9,4102 \times 10^{-9}$ |
| 10    | 0,001241                  | $9,3571 \times 10^{-9}$ |
| TOTAL | 0,012083                  | $9,6271 \times 10^{-8}$ |

$$G = \frac{1}{R} = \frac{1}{9,12813} = 7,81 \text{ S}$$

$$X_K = \omega \times L_K = 2\pi \times 50 \times 0,012083 = 3,80 \text{ } \Omega / \text{Km}$$

$$B_K = \omega \times C_K = 2\pi \times 50 \times 9,6271 \times 10^{-9} = 3,0262 \times 10^{-5} \text{ S/Km}$$

$$\underline{Z}_K = 0,12813 + j 3,80$$

$$\rightarrow |\underline{Z}_K| = \sqrt{0,12813^2 + 3,8^2} = 3,8022 \, \Omega$$

$$\underline{Y}_K = 7,81 + j 3,0262 \times 10^{-5}$$

$$\rightarrow |\underline{Y}_K| = \sqrt{7,81 + (3,0262 \times 10^{-5})^2} = 7,81 \, \Omega$$

$$\underline{Z}_L = \sqrt{\frac{3,8022}{7,81}} = 0,70 \, \Omega$$

• Perdas:

$$\begin{aligned} P &= 3 \times 0,12813 \times 1,53 \times 481,125^2 = \\ &= 136137,998 \, W = 0,14 \, MW \end{aligned}$$

• Queda Tensão:

$$\Delta U = \sqrt{3} \times 481,125 \times (0,12813 \times 1,53 \times 1 + 3,80 \times 1,53 \times \cos^{-1}(1)) = 163,37 \, V$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{163,37}{60 \times 10^3} \times 100 = 0,2723\%$$

c.q.d.

### Demonstração Cálculo Vão Crítico

|                                                                                                                       |                                                                                                                   |                                                                                                                             |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>Cond</u><br>$\sigma = 326,12 \text{ mm}^2$<br>$\alpha = 1,79 \times 10^{-5} \text{ 1/K}$<br>$d = 23,45 \text{ mm}$ | <u>CG</u><br>$\sigma = 127,4 \text{ mm}^2$<br>$\alpha = 1,53 \times 10^{-5} \text{ 1/K}$<br>$d = 14,6 \text{ mm}$ | $\theta_1 = -5^\circ\text{C}$<br>$\theta_2 = 15^\circ\text{C}$<br>$V_{inv} = 300 \text{ Pa}$<br>$V_{prim} = 750 \text{ Pa}$ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

$$F_{vento_{cond}} = 0,6 \times 1 \times 750 \times (23,45 \times 10^{-3}) = 10,553 \text{ daN/m}$$

$$F_{vento_{cg}} = 0,6 \times 1,1 \times 750 \times (14,6 \times 10^{-3}) = 7,227 \text{ daN/m}$$

$$F_{vento_{cond_{inv}}} = 0,6 \times 1 \times 300 \times (23,45 \times 10^{-3}) = 4,221 \text{ daN/m}$$

$$F_{vento_{cg_{inv}}} = 0,6 \times 1,1 \times 300 \times (14,6 \times 10^{-3}) = 2,891 \text{ daN/m}$$

$$m_{1_{cond}} = \frac{\sqrt{(1,189 \times 1,014)^2 + \left(\frac{4,221}{9,8}\right)^2}}{1,189 \times 1,014} = 1,06$$

$$m_{2_{cond}} = \frac{\sqrt{(1,189 \times 1,014)^2 + \left(\frac{10,553}{9,8}\right)^2}}{1,189 \times 1,014} = 1,34$$

$$m_1 c_g = \frac{\sqrt{(0,577 \times 1,019)^2 + \left(\frac{2,891}{9,8}\right)^2}}{0,577 \times 1,019} = 1,12$$

$$m_2 c_g = \frac{\sqrt{(0,577 \times 1,019)^2 + \left(\frac{7,227}{9,8}\right)^2}}{0,577 \times 1,019} = 1,60$$

Vão 1-2 e 9-10:

$$T_{\text{cond}} = 4 \text{ daN/mm}^2 \quad | \quad T_{c_g} = 6 \text{ daN/mm}^2$$

$$L_{u_{\text{cond}}} = \frac{326,12 \times 4}{1,189 \times 1,019} \times \frac{\sqrt{24 \times 179 \times 10^{-5} \times (15 - (-5))}}{1,34^2 - 1,06^2} = 148,49 \text{ m}$$

$$L_{u_{c_g}} = \frac{127,4 \times 6}{0,577 \times 1,019} \times \frac{\sqrt{24 \times 1,53 \times 10^{-5} \times (15 - (-5))}}{1,6^2 - 1,12^2} = 85,34 \text{ m}$$

Vão 2-3 e 8-9:

C.g.d.

$$T_{\text{cond}} = 6 \text{ daN/mm}^2 \quad | \quad T_{c_g} = 8 \text{ daN/mm}^2$$

$$L_{u_{\text{cond}}} = \frac{326,12 \times 6}{1,189 \times 1,019} \times \frac{\sqrt{24 \times 179 \times 10^{-5} \times (15 - (-5))}}{1,34^2 - 1,06^2} = 223,73 \text{ m}$$

$$L_{u_{c_g}} = \frac{127,4 \times 8}{0,577 \times 1,019} \times \frac{\sqrt{24 \times 1,53 \times 10^{-5} \times (15 - (-5))}}{1,6^2 - 1,12^2} = 113,78 \text{ m}$$

# Referências

- [1] Alice Araújo da Silva. *Projecto e Construção de Linha Aérea Alta Tensão*. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2019.
- [2] ANAC - Autoridade Nacional da Aviação Civil. Informação Aeronáutica - Limitações em Altura e Balizagem de Obstáculos Artificiais à Navegação Aérea.
- [3] Fábio Bruno Neiva Melo. *Desenvolvimento de um dispositivo de fixação para caracterização mecânica das ligas NiTi*. Tese de mestrado, Universidade de Brasília, 2011.
- [4] Carina Marisa da Silva Pinto. *Viabilidade Técnica e Económica dos Cabos de Alta Temperatura num Projeto de Linhas de Alta Tensão*. Tese de mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2017.
- [5] Catálogo Cabelte. Condutores Nus para Linhas Aéreas.
- [6] Catálogo Incab. Cabo OPGW para Linhas Aéreas de Alta e Média Tensão.
- [7] Catálogo SKELT. Pinça de Amarração B7E01110, 2008.
- [8] Catálogo SKELT. Pinça de Suspensão c/ varetas de proteção 38-B7E014AF-1, 2008.
- [9] Conselho da União Europeia. 1999/519/EC: Council Recommendation of 12 July 1999 on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz to 300 GHz), 1999.
- [10] Daniel António Ferraz Teixeira. *Projeto de uma linha aérea de alta tensão*. Tese de mestrado, Instituto Superior de Engenharia do Porto, 2017.
- [11] DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia. Produção anual e potência instalada.
- [12] DGEG - Direção Geral de Energia e Geologia. Recomendações para Linhas aéreas de alta tensão até 30 kV. Relatório técnico, Direção Geral da Energia, 1986.
- [13] E-Redes. DMA-C66-140/N - Elementos de cadeias de isoladores, de material cerâmico ou de vidro temperado, do subtipo campânula e espigão, para linhas aéreas de 2ª e 3ª classes - Características e ensaios, 2008.
- [14] E-Redes. DRE-C10-001/N - Guia de coordenação de isolamento - Regras de execução e de montagem, 2008.
- [15] E-Redes. Desenhos Técnicos Normativos Armações de Aço para Postes de Betão de AT, 2019.
- [16] E-Redes. DPE-C11-401/N - Linhas aéreas AT e MT - Protocolo de ensaios, 2020.

- [17] E-Redes. Desenhos Técnicos Normativos Armações de Aço para Postes de Betão de MT, 2021.
- [18] E-Redes. Memória Descritiva Tipo para Linhas MT e AT, 2021.
- [19] E-Redes. Catálogo Complementar de Desenhos Técnicos, 2022.
- [20] E-Redes. DRE-C11-040/H - GUIA TÉCNICO DE TERRAS - Ligações à terra e Eléktrodo de terra , 2022.
- [21] Rui Emanuel Póvoas Duarte de Almeida. *Otimização da Metodologia de Projeto de Linhas Aéreas de Alta-tensão com Modelização do Traçado Real em 3D*. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2016.
- [22] ERSE - Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos. Relatório da Qualidade de Serviço Técnica do Setor Elétrico - 2021.
- [23] Marek Gális e Michal Ševčík. Monitoring of effectiveness of bird flight diverters in preventing bird mortality from powerline collisions in Slovakia. *Raptor Journal*, 2019.
- [24] Alen Hatibovic, Peter Kadar, e Gyorgy Morva. Comparison of the Length of the Catenary Curve and its Parabolic Approximation in the Span of an Overhead Line. *CANDO-EPE 2020 - Proceedings, IEEE 3rd International Conference and Workshop in Obuda on Electrical and Power Engineering*, páginas 15–20, 2020.
- [25] Hélder Leite. Apontamentos de RTDI 2019/2020 - Elaboração de Projetos de Linhas Aéreas. *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, 2019.
- [26] Iberdrola. História da eletricidade.
- [27] Joel da Silva Ramires. *Projecto de linha de alta tensão - Estudo do comportamento eléctrico*. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.
- [28] Jornal Público. Um século de energia em Portugal.
- [29] José Eduardo Roque Neves dos Santos. CONDUTORES E CABOS DE ENERGIA. Relatório técnico, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2005.
- [30] José Eduardo Roque Neves dos Santos e António Augusto Araújo Gomes. *Guia Profissional de Engenharia Eletrotécnica*. ENGEBOOK, 2022.
- [31] Manuel Vaz Guedes. Um Acendedor Automático para Velas Jablochhoff. *Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto*, 1997.
- [32] S.A. Metalgalva Irmãos Silvas. Catálogo Apoios Metálicos, 2003.
- [33] Ministério da Indústria e Energia. Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão | Decreto Regulamentar n.º 1/92 | DRE.
- [34] Nuno João Falcão Sequeira. *Projecto de linha aérea de alta tensão conforme a norma EN50341*. Tese de mestrado, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2009.
- [35] Observatório da Energia, DGEG – Direção Geral de Energia e Geologia, Direção de Serviços de Planeamento Energético e Estatística, ADENE – Agência para a Energia, e Informação e Educação Direção de Formação. *Energia em Números - Edição 2022*. ADENE – Agência para a Energia, 2022.

- [36] Singiresu Rao. *Vibrações Mecânica*. Pearson, 2009.
- [37] S.A. Sociedade Portuguesa Cavan. Catálogo Apoios de Betão Armado, 1998.