

Instituto Politécnico de Tomar

Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Cálculo, Projeto e Montagem de Linhas Elétricas: Uma Abordagem Técnica, Regulatória e Procedimental

João Eduardo Pereira Mendes

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica

Tomar, novembro de 2024



Instituto Politécnico de Tomar

www.ipt.pt



Instituto Politécnico de Tomar
Escola Superior de Tecnologia de Tomar

Cálculo, Projeto e Montagem de Linhas Elétricas: Uma Abordagem Técnica, Regulatória e Procedimental

João Eduardo Pereira Mendes

Orientado por:

Professor Doutor Mário Gomes, IPT

Engenheiro Armando Pedro, AMD

Relatório de estágio apresentado ao Instituto Politécnico de Tomar para
cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre
em Engenharia Eletrotécnica

RESUMO

Este documento detalha as atividades e os resultados do estágio curricular realizado no âmbito do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, numa entidade de redes elétricas, especializada na construção, manutenção e fiscalização de infraestruturas elétricas, com foco na sustentabilidade e inovação. Durante o estágio, foram desenvolvidas competências em áreas fundamentais como dimensionamento, regulamentação, métodos de construção, fiscalização e medidas de segurança.

O foco principal foi o trabalho em linhas de média tensão, abrangendo desde o planeamento até à execução de projeto, incluindo a verificação da conformidade dos materiais, a supervisão de técnicas de instalação e o cumprimento das normas técnicas de segurança. A participação ativa na fiscalização de obras permitiu garantir que todos os processos respeitassem os prazos, orçamentos e regulamentações vigentes.

Além disso, o estágio incluiu o acompanhamento de pedidos de ligação à rede, onde se efetuaram análises de viabilidade técnica e a coordenação com entidades reguladoras para obtenção de aprovações. Também foram realizadas atividades de manutenção preventiva e corretiva, visando assegurar a continuidade e fiabilidade das redes de distribuição de energia. A experiência proporcionou um entendimento aprofundado dos desafios do setor, promovendo a aptidão para enfrentar futuras exigências no campo da engenharia eletrotécnica.

Palavras-chave: Infraestruturas elétricas; Linhas de média tensão; Fiscalização de obras; Manutenção; Segurança; Normas técnicas.

ABSTRACT

This document details the activities and results of a curricular internship undertaken as part of the Master's degree in Electrical Engineering, within an electric grid company specialized in the construction, maintenance, and supervision of electrical infrastructures, with a focus on sustainability and innovation. During the internship, skills were developed in key areas such as electrical design, regulation, construction methods, supervision, and safety procedures.

The primary focus was on medium-voltage lines, covering tasks from project planning to execution, including verifying material compliance, supervising installation techniques, and ensuring adherence to technical safety standards. Active participation in project supervision ensured that all processes met deadlines, budgets, and regulatory requirements.

Furthermore, the internship included the handling of network connection requests, involving technical feasibility analysis and coordination with regulatory bodies for necessary approvals. Preventive and corrective maintenance activities were also conducted to ensure the continuity and reliability of the power distribution network. This experience provided a deep understanding of the sector's challenges, preparing for future demands in the field of electrical engineering.

Keywords: Electrical infrastructure; Medium-voltage lines; Project supervision; Maintenance; Safety; Technical standards.

AGRADECIMENTOS

A realização deste trabalho não teria sido possível sem o apoio e a contribuição de várias pessoas, a quem sou profundamente grato.

Em primeiro lugar, expresso a minha sincera gratidão ao Engenheiro Armando Pedro, cujo acompanhamento desde o início foi fundamental para o sucesso deste estágio curricular. Atuou não apenas como orientador, mas também como amigo, onde prestou apoio constante e incansável nas várias etapas e desafios enfrentados ao longo deste percurso. A sua dedicação exemplar, a sua vasta experiência técnica e científica, bem como a sua disponibilidade contínua, foram cruciais para a concretização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Mário Gomes, manifesto igualmente o meu profundo agradecimento pelo apoio na orientação deste documento e pelas sugestões valiosas nos pontos essenciais a serem destacados. A sua orientação foi determinante para que este trabalho pudesse alcançar o nível de rigor e profundidade desejados, acrescentando valor ao conteúdo desenvolvido.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o êxito deste ciclo, o meu sincero reconhecimento e gratidão.

Índice

RESUMO	i
ABSTRACT	iii
AGRADECIMENTOS	v
Índice	vii
Índice de figuras	xi
Índice de Tabelas	xv
Lista de Siglas.....	xvii
1 Introdução.....	1
2 Sistema Elétrico Nacional	5
2.1 Produção de energia elétrica.....	6
2.2 Transmissão de energia elétrica.....	9
2.3 Redes de distribuição.....	10
2.4 Comercialização de energia elétrica	11
3 Regulamentos e normas.....	15
4 Fundamentos sobre redes elétricas	19
4.1 Circuito equivalente.....	20
4.1.1 Corrente de serviço	21
4.1.2 Reactância e indutância de uma linha	22
4.1.3 Queda de Tensão	30
4.1.4 Resistência do condutor.....	36
4.1.5 Temperatura.....	39
4.1.6 Corrente máxima em regime permanente e potência	41
4.1.7 Corrente de curto-circuito.....	43
4.2 Cálculo mecânico de cabos.....	44

4.3	Ações sobre apoios	45
4.3.1	Aspetos de cálculo	47
4.4	Apoios e fundações.....	48
4.5	Verificação da estabilidade das cadeias.....	51
4.6	Ações dos cabos sobre o apoio	53
4.7	Cálculo de isolamento elétrico	54
4.8	Seccionamento.....	57
4.9	Proteção de rede.....	61
4.10	Características de armações.....	62
4.11	Balizagem	65
5	Dimensionamento e projeto de linha de distribuição	67
5.1	Projeto de infraestrutura elétrica.....	68
5.1.1	Memória descritiva e justificativa	69
5.1.2	Termo de Responsabilidade.....	69
5.1.3	Traçados das redes.....	69
5.1.4	Peças desenhadas	71
5.1.5	Quedas de tensão, sobrecargas e curtos-circuitos.....	71
5.1.6	Orçamento e o mapa de medições	72
5.1.7	Projeto da rede de Iluminação Pública	72
5.2	Características gerais da linha	73
5.3	Zonamento de território	75
5.3.1	Dimensionamento mecânico.....	76
5.3.2	Dimensionamento térmico.....	78
5.3.3	Dimensionamento elétrico.....	79
5.4	Desenho técnico e dimensionamento	80

5.4.1	Cabo.....	80
5.4.2	Isolamento	81
5.4.3	Dispositivos de nidificação.....	83
5.4.4	Planta de localização e desenho técnico	84
5.4.5	Parâmetros de cálculo	86
6	Procedimentos de execução.....	91
6.1	Procedimentos de montagem.....	92
6.1.1	Reconhecimento do traçado e corredor ou faixa de proteção da linha	92
6.1.2	Piquetagem da linha	93
6.1.3	Apoios.....	93
6.1.4	Abertura das covas dos maciços de fundação dos postes	95
6.1.5	Arvoreamento e montagem dos postes e armações.....	96
6.1.6	Montagem das cadeias de isoladores, pinças e roldanas	98
6.1.7	Montagem de condutores.....	100
6.1.8	Regulação dos cabos.....	102
6.1.9	Fixação e ligação de cabos	103
6.1.10	Montagem das bolas de sinalização.....	105
6.1.11	Seccionamento e corte	106
7	Fiscalização	109
7.1	Equipa de fiscalização	109
7.2	Inspeção e ensaios	110
7.3	Acompanhante de obra	112
8	Segurança.....	115
8.1	Regras de Ouro	116
8.2	Plano de segurança e saúde	117

8.3	Higiene e Segurança	120
9	Conclusões.....	123
	Referências Bibliográficas.....	127
	Anexos	139

Índice de figuras

Figura 1 – Fases do sistema elétrico.....	6
Figura 2 - Tipos de centrais de produção: a) nuclear; b) eólica; c) solar; d) hídrica; e) térmica(biomassa); f) térmica(carvão) [SME, 2022].....	9
Figura 3 - Peso do mercado liberalizado e do mercado regulado no total do consumo [ERSE, 2024].....	12
Figura 4 - Circuito equivalente de linha “curta” (<80km) [Leonard Grigsby, 2007].....	20
Figura 5 - Linha com dois condutores (monofásica).....	23
Figura 6 - Fluxo interior num condutor.....	24
Figura 7 - Fluxo exterior ao condutor.....	26
Figura 8 - Linha monofásica com dois circuitos magneticamente acoplados.....	28
Figura 9 - Disposição de condutores em formato equidistante(galhardete).....	31
Figura 10 - Disposição de condutores em formato de esteira.....	32
Figura 11 - Distribuição de corrente em: a) Condutor DC; Condutor AC.....	37
Figura 12 - Profundidade pelicular δ [W. Wang, 2017].....	38
Figura 13 - Condutor trançado multifilar [Leonard Grigsby, 2007].	38
Figura 14 - Classificação dos apoios de acordo com a sua função.....	46
Figura 15 - Esforços solicitados em apoio.....	47
Figura 16 - Parâmetros dos apoios normalizados.....	49
Figura 17 - Maciço de poste de betão.....	50
Figura 18 - Posição de equilíbrio de cadeia.....	52
Figura 19 - Tipos de isoladores: (a) Isolador rígido; (b) Isolador para acoplamento em cadeia.....	55
Figura 20 - Composição de um seccionador [E-REDES, 2021].	59
Figura 21 - Composição de um interruptor-seccionador. [E-REDES, 2021].....	60

Figura 22 - Esteira TAN.....	63
Figura 23 - Esteira GAL.....	63
Figura 24 - Esteira GAN.....	64
Figura 25 - Esteira VAL.....	64
Figura 26 - Esteira VAN.....	64
Figura 27 - Esteira HTP4.....	64
Figura 28 - Bola de sinalização laranja.	66
Figura 29 - Topologias de rede: a) radial; b) malhada; c) anel [José Paiva, 2015].	68
Figura 30 - Representação das freguesias com altitude acima e abaixo de 700 m com predominância de gelo [E-REDES, 2022].....	77
Figura 31 - Representação gráfica das zonas de elevado grau de corrosão [E-REDES, 2022].....	78
Figura 32 - Isoladores de Perfil Padrão (U70BS).....	82
Figura 33 - Isoladores de Perfil Antipoluição (U100BLP).	83
Figura 34 – Dispositivo do tipo guarda-chuva.	84
Figura 35 - Planta de localização da linha a executar a vermelho.....	85
Figura 36 - Distância mínima entre vão e solo.....	86
Figura 37 - Bolas de sinalização em desenho técnico.	89
Figura 38 - Estacas de demarcação.....	93
Figura 39 - Diagrama de transporte de apoio em camião.....	94
Figura 40 - Cova aberta, para preparação de negativo.	95
Figura 41 - Levantamento de apoio com camião grua.	98
Figura 42 - Fixação de cadeias de amarração.....	100
Figura 43 - a) Ligador bimetálico; b) Ligador paralelo para condutores em alumínio; c) Ligador de bico móvel; d) Ligador de estribo.	104
Figura 44 - Uso de bicicleta para fixação de bolas de sinalização.	105

Figura 45 - Seccionador de facas aberto, para trabalhos em transformador.....	106
Figura 46 - Cinco regras de ouro [O Instalador, 2020]..	116

Índice de Tabelas

Tabela 1 - Resistividade e coeficiente de temperatura para vários materiais condutores [José Paiva, 2015].....	40
Tabela 2 - Constantes de material e coeficiente de temperatura.	43
Tabela 3 - Valores regulamentares de encastramento. [RSLEAT, 1992].	51
Tabela 4 - Níveis de isolamento dos seccionadores e interruptores-seccionadores tripolares [EDP, 2022].....	58
Tabela 5 - Aplicações de descarregadores de sobretensões [E-REDES, 2022].	62
Tabela 6 - Distância de proteção para níveis de tensão [E-REDES, 2022].....	62
Tabela 7 - Agentes atmosféricos para zona.	76
Tabela 8 - Zonas em altitude.	77
Tabela 9 - Valores comuns adotados para dimensionamento térmico [E-REDES, 2022].	79
Tabela 10 - Valores comuns adotados para dimensionamento elétrico [E-REDES, 2022].	79
Tabela 11 - Distâncias regulamentares [RSLEAT, 1992].	85

Lista de Siglas

AAC	<i>All Aluminium Conductors</i> (Condutores de Alumínio)
ACSR	<i>Aluminium Cable Steel Reinforced</i> (Condutor de Alumínio com Alma de Aço)
ACSS	<i>Aluminium Conductor Steel Supported</i> (Condutor de Alumínio Suportado a Aço)
ACT	Autoridade para as Condições de Trabalho
ANSI	<i>American National Standards Institute</i> (Instituto Nacional de Padrões Americanos)
AMD	Américo Marques Duarte
AT	Alta Tensão
BT	Baixa Tensão
AC	Corrente alternada (<i>Alternating Current</i>)
CAP	Certificado de Aptidão Profissional
DC	Corrente contínua (<i>Direct Current</i>)
CE	Caderno de Encargos
CENELEC	CENELEC (<i>European Committee for Electrotechnical Standardization</i>)
CIGRÉ	Comité Internacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica
CS	Coordenador de Segurança
CSO	Coordenador de Segurança em Obra
D.O.	Dono de Obra
DGEG	Direcção-Geral de Energia e Geologia

DP	Diretor de Projeto
DST	Descarregador de sobretensões
EDS	<i>Every Day Stress</i> (Esforços Diários Sujeitos)
EE	Especificação de Ensaio
EN	Normas Europeias
EPC	Equipamentos de proteção coletiva
EPI	Equipamentos de proteção individual
ERSE	Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos
ET	Especificação Técnica
FAT	<i>Factory Acceptance Tests</i> (Testes de Aceitação em Fábrica)
FPS	Ficha de procedimento de segurança
GCI	Guia de Coordenação de Isolamento
GPS	<i>Global Positioning System</i> (Sistema de Posicionamento Global)
HSSA	Higiene, Segurança, Saúde e Ambiente
ICNF	Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i> (Comissão Eletrotécnica Internacional)
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i> (Instituto de Engenheiros Eletrotécnicos e Eletrónicos)
IP	Iluminação Pública

ISO	<i>International Organization for Standardization</i> (Organização Internacional de Normalização)
LA	Linha aérea
LAMT	Linha aérea de média tensão
MAT	Muito Alta Tensão
MT	Média Tensão
NP	Normas Portuguesas
NP EN	Normas Portuguesas Harmonizadas com as Normas Europeias
OCR	Órgão de corte de rede
ORD	Operador de redes de distribuição
PD	Peças Desenhadas
PE	Projeto de Execução
PSS	Plano de Segurança e Saúde
PT	Posto de Transformação MT/BT
REN	Redes Energéticas Nacionais
PIE	Plano de Inspeção e Ensaios
RND	Rede Nacional de Distribuição
RMT	Rede de média tensão
RNT	Rede Nacional de Transporte de Energia Elétrica
RSLEAT	Regulamento de Segurança de Linhas Elétricas de Alta Tensão

RSRDEEBT	Regulamento de Segurança das Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão
RTIEBT	Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão
SAT	<i>Site Acceptance Tests</i> (Testes de Aceitação no Local)
SE	Sociedade Executora
SEN	Sistema Elétrico Nacional
SI	Sistema Internacional de Unidades
THS	Técnico de Higiene e Segurança
TET	Trabalhos em tensão

1 Introdução

O setor da energia elétrica enfrenta desafios crescentes, resultantes do aumento exponencial da procura por eletricidade, das exigências de sustentabilidade e da urgente necessidade de modernização das infraestruturas de distribuição [Milou Beerepoot, 2007]. Neste contexto, as linhas elétricas desempenham um papel crucial, constituindo um elo vital na ligação entre a geração e a distribuição de energia elétrica, assegurando a transmissão eficiente e segura da eletricidade tanto em ambientes urbanos como em áreas rurais [Swagata Das, 2022]. As empresas do setor energético encontram-se, assim, num esforço contínuo para aprimorar os seus processos de conceção, dimensionamento e operação das infraestruturas, visando garantir a fiabilidade do fornecimento e a minimização das perdas técnicas.

Este estágio curricular decorreu da necessidade de integrar e aplicar, em contexto real, os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica, direcionados para a resolução de problemas concretos associados ao dimensionamento e conceção de linhas de distribuição de energia elétrica. A motivação principal prendeu-se com o contributo para a otimização de redes elétricas, com vista ao aumento da robustez e da segurança operacionais, assegurando, simultaneamente, o cumprimento rigoroso dos regulamentos técnicos e ambientais.

O objetivo central deste trabalho consistiu no desenvolvimento de competências práticas avançadas no âmbito do dimensionamento e conceção de Linhas Aéreas, abordando tanto os aspetos elétricos como mecânicos. Com esse propósito, foi realizada uma análise detalhada dos principais parâmetros, como corrente, resistência, quedas de tensão e estabilidade mecânica, em conformidade com os normativos técnicos aplicáveis e com as melhores práticas da engenharia eletrotécnica. Paralelamente, foram também abordadas metodologias de execução e construção aplicáveis em contexto de obra, permitindo a compreensão completa de todo o processo de implementação de uma linha de distribuição, desde a fase de planeamento até à conclusão dos trabalhos de montagem.

A Américo Marques Duarte (AMD), empresa onde foi realizado o estágio curricular é uma entidade de referência no setor energético, em que trabalha como empreiteiro, e é especializada na construção e manutenção de infraestruturas elétricas, com experiência no setor das redes de infraestrutura de iluminação e distribuição, sendo que também opera

nas vertentes de telecomunicações. Com mais de 40 anos de experiência no mercado, a empresa tem como missão garantir a fiabilidade e a eficiência das redes de distribuição de energia elétrica, contribuindo para a sustentabilidade e a inovação no setor. A empresa atua em diversas áreas, incluindo a engenharia de projetos elétricos, conceção de linhas elétricas, a fiscalização de obras e a manutenção de infraestruturas. Com uma equipa técnica altamente qualificada e um compromisso com a excelência, a empresa tem sido responsável por inúmeros projetos de sucesso, tanto em ambientes urbanos como rurais.

Durante o estágio curricular, existiu um forte acompanhamento de diversas atividades relacionadas com a distribuição de energia elétrica, com um foco especial em linhas de média tensão. Participação na fiscalização de obras, assegurando o cumprimento das normas técnicas e de segurança. Este acompanhamento incluiu a verificação da conformidade dos materiais utilizados, a supervisão das técnicas de instalação e a garantia de que os prazos e orçamentos eram respeitados. Colaboração na gestão de empreitada, desde a fase de planeamento até à execução. Esta atividade envolveu a coordenação entre diferentes equipas, a gestão de recursos e a resolução de problemas que surgiram durante a execução das obras. Com envolvimento no processo de pedidos de ligação à rede elétrica, que incluiu a análise de viabilidade técnica, a preparação de documentação necessária e a coordenação com as entidades reguladoras para obter as aprovações necessárias. Com participação ativa em atividades de manutenção preventiva e corretiva de linhas de média tensão, garantindo a continuidade e a fiabilidade do fornecimento de energia elétrica. Contribuição para a elaboração de projetos de linhas de média tensão, incluindo o dimensionamento elétrico e mecânico. Com o objetivo de assegurar que os projetos cumpriam as políticas normativas técnicas aplicáveis. Realização de cálculos e consulta de documentos com o objetivo para garantir a estabilidade e a segurança de linhas elétricas. Esta atividade envolveu a análise de fatores como a resistência dos materiais, a tensão mecânica e as condições ambientais.

Este estágio curricular proporcionou uma valiosa experiência prática no setor da distribuição de energia elétrica, permitindo aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso de Mestrado em Engenharia Eletrotécnica. As atividades desenvolvidas

contribuíram significativamente para desenvolvimento profissional, e pessoal, com a preparação para os desafios do setor energético com competência e confiança.

Em síntese, este estágio teve como objetivo proporcionar um aprofundamento técnico nas áreas de distribuição de energia elétrica, com uma forte componente prática, permitindo a aplicação dos conhecimentos teóricos na resolução de problemas específicos do setor elétrico e contribuindo para a eficiência e a segurança das redes de energia.

Este documento é constituído por nove capítulos, organizados da seguinte forma:

No primeiro capítulo, denominado Introdução, apresentou-se a contextualização do tema, bem como os objetivos e a metodologia do trabalho e do documento.

O Capítulo 2 - Sistema Elétrico Nacional, descreve o sistema elétrico nacional, suas componentes e funcionamento. Este capítulo abrange temas como a produção de energia elétrica, transmissão, redes de distribuição e comercialização de energia elétrica.

No Capítulo 3 - Regulamentos e Normas, realiza-se uma revisão das principais normas e regulamentações aplicáveis ao setor elétrico.

O Capítulo 4 - Fundamentos sobre Redes Elétricas contém uma análise da história e das tecnologias e práticas atuais relacionadas às redes elétricas. Este capítulo inclui a apresentação do circuito equivalente, cálculos de corrente de serviço, reactância, indutância de linha, queda de tensão, resistência do condutor e os efeitos da temperatura. Adicionalmente, aborda temas como corrente máxima em regime permanente, potência, corrente de curto-circuito, cálculo mecânico de cabos e as ações sobre os apoios. Também são discutidos os apoios e fundações, estabilidade das cadeias, ações dos cabos sobre o apoio, cálculo de isolamento elétrico, seccionamento, proteção de rede, características de armações e balizagem.

No Capítulo 5 - Dimensionamento e Projeto de Linha de Distribuição, desenvolve-se o projeto de uma linha de distribuição de energia. São incluídas a memória descritiva e justificativa, o termo de responsabilidade, traçados das redes, peças desenhadas, cálculos de queda de tensão, sobrecargas e curtos-circuitos, orçamento e mapa de medições. O projeto de rede de iluminação pública, características gerais da linha e o zonamento de território também são abordados.

O Capítulo 6 - Procedimentos de Execução apresenta instruções detalhadas para a execução do projeto. Os procedimentos de montagem incluem o reconhecimento do traçado e corredor de proteção, piquetagem da linha, instalação de apoios e fundações, montagem de postes e armações, cadeias de isoladores, condutores e cabos, bem como fixação e ligação de cabos, montagem das bolas de sinalização, seccionamento e corte.

No Capítulo 7 - Fiscalização, especificam-se os processos de fiscalização durante a execução do projeto. São descritas as funções da equipa de fiscalização, inspeções, ensaios e o acompanhamento da obra.

O Capítulo 8 – Segurança, apresenta diretrizes de segurança a serem seguidas num projeto, incluindo as Regras de Ouro, o plano de segurança e saúde, e práticas de higiene e segurança.

Por fim, o Capítulo 9 – Conclusões, expõe os principais resultados obtidos neste trabalho, destacando as contribuições e implicações deste estágio e a sua contribuição para a integração do conhecimento entre a teoria e a prática.

2 Sistema Elétrico Nacional

O Sistema Elétrico Nacional (SEN) é um intrincado conjunto de infraestruturas e processos que abrange desde a produção até à comercialização de energia elétrica. Essencial para a sociedade moderna, o SEN desempenha um papel crucial no fornecimento confiável e eficiente de eletricidade para consumidores em todo o país. Desde a geração até à entrega aos pontos de consumo, todas as fases do SEN são regidas pelo princípio da racionalidade e eficiência dos recursos, visando maximizar a eficiência sem impor obrigações adicionais aos intervenientes [DGEG, 2024].

O SEN compreende quatro principais elos interligados: produção, transporte, distribuição e comercialização de energia elétrica [Mário Gomes, 2014]. Cada um destes elos desempenha um papel fundamental na garantia do funcionamento adequado e contínuo do sistema elétrico, contribuindo para a segurança e estabilidade do abastecimento energético, define-se no [DR, 2022].

Em primeiro lugar, a produção de energia elétrica é o ponto de partida do SEN. Esta fase envolve a conversão de diferentes fontes de energia, como hidroelétrica, eólica, solar, térmica e outras, em eletricidade. As centrais de geração são responsáveis por este processo, utilizando tecnologias diversas para produzir eletricidade de forma eficiente e sustentável.

Após a produção, a eletricidade é transportada ao longo de longas distâncias através da rede de transporte de energia elétrica. Esta rede é composta por linhas de transmissão de muito alta tensão, subestações e transformadores, que permitem o transporte eficiente da eletricidade desde as centrais de geração até aos centros de consumo em todo o país. A Redes Energéticas Nacionais (REN) desempenha um papel central na operação e gestão desta rede, garantindo o equilíbrio entre a produção e o consumo em tempo real.

Em seguida, a distribuição de energia elétrica é realizada pelas redes de distribuição de baixa, média tensão e alta tensão. Estas redes são operadas pelas empresas distribuidoras

de energia elétrica, que entregam a eletricidade diretamente aos consumidores finais, incluindo residências, empresas e indústrias.

Por fim, a comercialização de energia elétrica envolve a venda e compra de eletricidade entre os diferentes intervenientes do mercado energético. Esta fase inclui a negociação de contratos de fornecimento, a gestão de tarifas e preços de eletricidade, bem como a coordenação entre produtores, distribuidoras e consumidores. A comercialização eficiente de energia elétrica é essencial para garantir a sustentabilidade económica do SEN e promover a concorrência no mercado energético.

Todas estas fases são representadas na Figura 1:

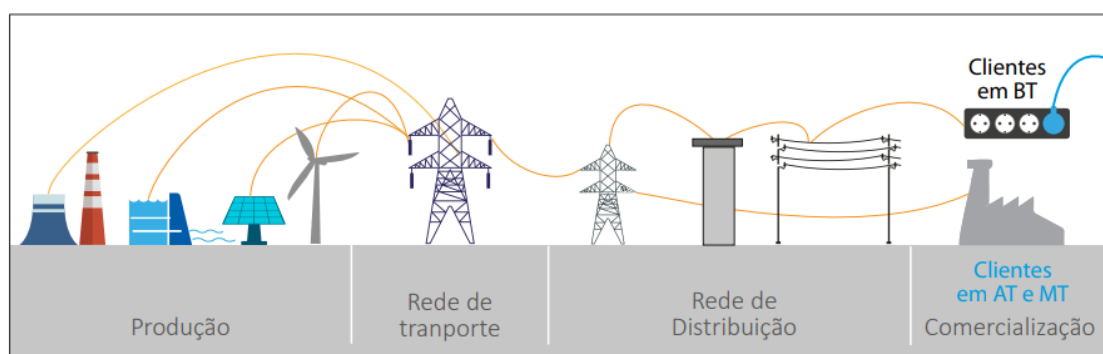


Figura 1 – Fases do sistema elétrico.

2.1 Produção de energia elétrica

Em Portugal, a produção de energia elétrica é diversificada, incluindo diversas fontes que contribuem para o abastecimento nacional, incluindo hidroelétrica, eólica, solar, térmica e outras fontes renováveis e não renováveis. As principais entidades responsáveis pela produção de energia elétrica no país são as empresas de produção de energia, que operam centrais elétricas e parques de energia renovável em território nacional, como por exemplo:

- Grupo EDP (Produção);
- Iberdrola;
- Movhera;
- TrustEnergy;

- Turbogás - Produtora Energética, S.A.

Estas empresas são responsáveis por converter os recursos energéticos disponíveis em eletricidade, contribuindo assim para o abastecimento confiável e seguro de energia para os consumidores em Portugal. A diversidade dos tipos de produção é fundamental para garantir segurança energética, reduzir a dependência de uma única fonte e promover a sustentabilidade ambiental, sendo que podem ter diferentes fontes tais como [ERSE, 2024]:

- Nuclear: com a transformação em eletricidade a energia libertada pelo processo de cisão dos núcleos dos átomos de urânio e centrais nucleares. Em Portugal, não existem centrais nucleares;
- Eólica: a partir do uso da energia do vento em energia elétrica através de geradores eólicos, situados em terra (*onshore*) ou no mar (*offshore*);
- Solar: através de células fotovoltaicas em painéis que convertem a energia solar em eletricidade;
- Hídrica: nos rios, a partir de barragens e cursos de água, aproveitando a energia dos fluxos e quedas de água em centrais hidroelétricas, ou no mar a partir da energia das ondas;
- Térmica: por queima de substâncias combustíveis como o gás natural, o fuelóleo, o carvão, diversos hidrocarbonetos (propano, metano...), a biomassa florestal, os resíduos urbanos, florestais, agrícolas e perigosos (industriais, hospitalares...);
- Armazenamento: por recuperação da energia armazenada, incluindo de veículos elétricos.

Em 2023, Portugal alcançou um marco significativo na sua transição para uma matriz energética mais sustentável. A produção renovável de eletricidade atingiu um valor recorde, abastecendo 61% do consumo nacional, com um total de 31,2 TWh. Este feito reflete o crescimento notável na produção hidroelétrica, que aumentou em 70% em comparação com o ano anterior, e na produção fotovoltaica, que cresceu 43% devido ao aumento progressivo da capacidade instalada [REN, 2024].

A diversificação das fontes renováveis também é notável, com a energia eólica a contribuir com 25% do consumo, a hidroelétrica com 23%, a fotovoltaica com 7% e a biomassa com 6%. Esta diversidade é crucial para garantir a estabilidade do fornecimento de energia, especialmente em face das flutuações sazonais e meteorológicas [REN,2024].

Por outro lado, a produção não renovável representou apenas 19% do consumo, alcançando o valor mais baixo desde 1988. Este declínio é atribuído não apenas à maior disponibilidade de energia renovável, mas também ao aumento do saldo importador, que supriu 20% do consumo total [REN,2024].

Além disso, no contexto do consumo de energia elétrica, 2023 registou um aumento de 0,8% em relação ao ano anterior, atingindo 50,7 TWh, o valor mais alto desde 2018. Contudo, este consumo ainda fica cerca de 3% abaixo do máximo histórico registado em 2010 [REN,2024].

Estes dados refletem o compromisso de Portugal com a sustentabilidade energética e a redução das emissões de carbono, destacando os avanços significativos alcançados no setor energético e as oportunidades contínuas para expandir e otimizar a utilização de fontes renováveis de energia.

Algumas das diferentes abordagens de produção de energia elétrica podem ser observadas na Figura 2.

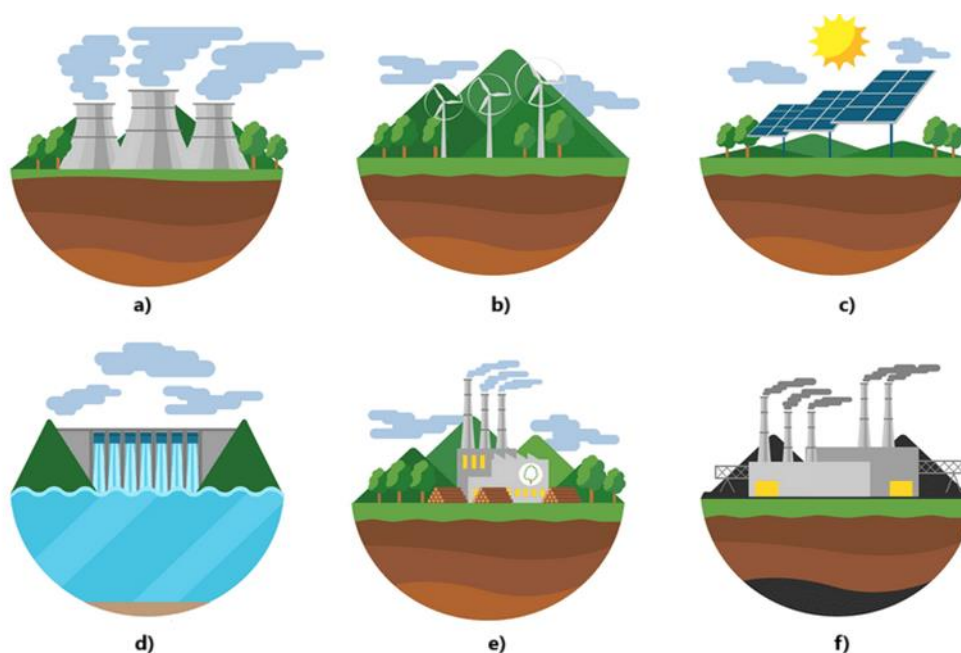


Figura 2 - Tipos de centrais de produção: a) nuclear; b) eólica; c) solar; d) hídrica; e) térmica (biomassa); f) térmica (carvão) [SME, 2022].

2.2 Transmissão de energia elétrica

A transmissão de energia elétrica trata-se de um elemento essencial da infraestrutura elétrica, permitindo a transferência de grandes volumes de eletricidade desde os locais de geração até aos pontos de consumo, tendo um fator determinante na evolução da sociedade, no setor doméstico e setor industrial. Esta área abrange uma vasta gama de tecnologias e sistemas projetados para transportar eletricidade de forma segura e eficaz ao longo de longas distâncias.

Durante este processo, a eletricidade é conduzida através de uma rede interligada, garantindo que a procura de eletricidade seja atendida de forma contínua e que a integração de fontes de energia renovável e outras tecnologias de geração seja otimizada. Além disso, a modernização e a expansão das redes de transmissão são cada vez mais importantes para apoiar a transição para um sistema energético mais sustentável, resiliente e inteligente.

A transmissão de energia em Portugal é conhecida como a Rede Nacional de Transporte (RNT), sendo que engloba a atividade de transporte de eletricidade em Muito Alta Tensão (MAT) definido para tensões acima dos 110kV, sendo a concessão desta rede atribuída à

REN, concessão esta dada pelo Estado Português em regime de serviço público de exclusividade, ficando então a cargo toda a RNT que se estende por todo o território português. Esta rede em MAT utiliza níveis de tensão de 400 kV, 220 kV e 150 kV em todo o país, com uma exceção no norte do país onde uma linha é explorada a 132 kV. A RNT é composta principalmente por linhas aéreas, embora haja troços em cabo subterrâneo, especialmente nas regiões da Grande Lisboa e do Grande Porto, operados a 220 kV e 150kV [Célia Carneiro, 2019].

A RNT é composta também por subestações com postos de transformação: (MAT/MAT); (MAT/AT) e (MAT/MT) e instalações como postos de corte, postos de seccionamento postos de transição, todos os aspetos caracterizados podem ser vistos no mapa da RNT no anexo A [REN, 2024].

2.3 Redes de distribuição

As redes de distribuição de energia asseguram o fluxo de eletricidade da RNT para os consumidores finais. Este processo envolve a transição da eletricidade de grandes distâncias, transportada em MAT, para redes de distribuição de alta, média e baixa tensão (AT, MT e BT), que atendem diretamente às necessidades dos consumidores.

A distribuição de energia em Portugal é conhecida como a Rede Nacional de Distribuição (RND), podendo ser realizada a partir de infraestruturas de linha aérea e subterrânea, sendo que engloba a atividade de distribuição de eletricidade em AT definido para tensões de 60kV, MT para tensões normalmente de 10, 15 e 30kV, e BT para 230 e 400V.

Os Operadores das Redes de Distribuição (ORD) são responsáveis pela gestão, operação e manutenção destas redes, garantindo a qualidade e confiabilidade do serviço prestado. Além disso, estão envolvidos na expansão da rede para novas áreas de abastecimento e na integração de fontes de energia distribuída.

Para lidar com as flutuações na necessidade de eletricidade e garantir uma operação eficiente, os ORD podem contratar serviços de flexibilidade, incluindo a gestão de congestionamentos nas redes. Estes serviços podem ser fornecidos por produtores distribuídos, consumidores ou sistemas de armazenamento de energia.

A introdução de contadores inteligentes permite aos ORD uma maior observabilidade das redes, reduzindo os custos operacionais e de manutenção. No entanto, a interação direta com os consumidores geralmente é limitada a questões como ligações à rede, leitura de contadores e qualidade do serviço técnico [ERSE, 2024].

No contexto regulatório, a ERSE (Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos) desempenha o papel de fixar as tarifas de uso da rede de distribuição e monitorizar as receitas dos operadores. Além disso, os ORD que atendem a mais de 100.000 clientes são obrigados a implementar medidas de conformidade para garantir a exclusão de comportamentos discriminatórios e a conformidade com as regulamentações europeias e nacionais [ERSE, 2024].

A E-REDES - Distribuição de Eletricidade, S.A. é a entidade responsável pelo ORD de energia elétrica em AT, MT, e em BT, sendo que neste nível de tensão existem outros ORDs em Portugal. Como operador, a E-REDES submete anualmente à ERSE um Programa de Conformidade, ao qual é avaliado e publicado no site da empresa e da ERSE. Além disso, um Relatório de Execução do Programa de Conformidade é também disponibilizado, garantindo a transparência e cumprimento das normas regulatórias [ERSE, 2024].

A distribuição em BT é realizada pelos municípios, que podem conceder a atividade a operadores ou explorá-la diretamente. Atualmente, a maioria dos municípios tem esta atividade concessionada, com contratos que terminam até 2026. A atribuição das concessões é feita por meio de concursos públicos, regulados pela ERSE, com base em contratos-tipo aprovados pelo governo [ERSE, 2017].

2.4 Comercialização de energia elétrica

Com a liberalização total do setor elétrico em 2006, todos os consumidores de energia elétrica, passaram a poder escolher livremente o seu fornecedor de eletricidade, já o agente, produtor ou comercializador de energia consegue atuar em regime de mercado e um comercializador de último recurso no mercado regulado. Este último garante o fornecimento de energia elétrica a todos os consumidores, sendo as tarifas praticadas fixadas pela Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos [ERSE, 2024]. O Mercado Energético descreve o funcionamento do mercado energético em Portugal, incluindo a

negociação de contratos, a definição de tarifas e preços de eletricidade. O papel dos diferentes intervenientes no mercado energético, desde produtores e distribuidores até aos consumidores finais, é analisado. Além disso, são destacados os incentivos e políticas que promovem a eficiência energética e o uso responsável de eletricidade por parte dos consumidores, os efeitos desta liberalização podem ser vistos na Figura 3.

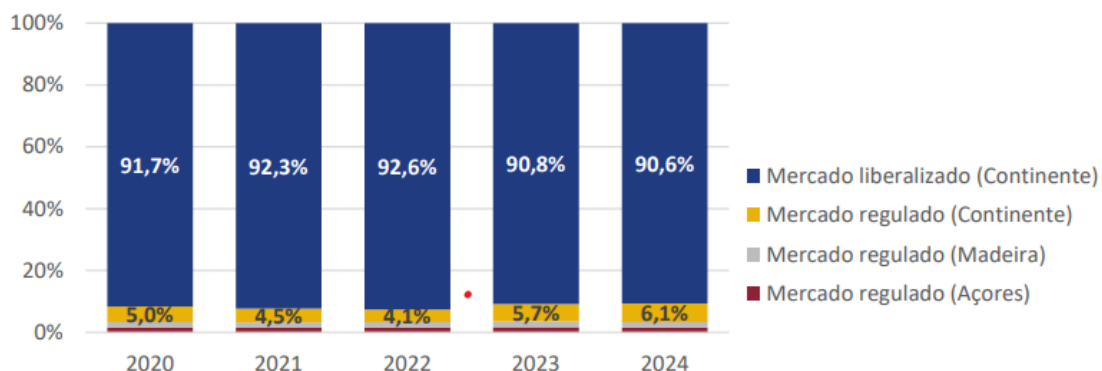


Figura 3 - Peso do mercado liberalizado e do mercado regulado no total do consumo [ERSE, 2024].

A liberalização do setor energético resultou em duas modalidades principais na transação de energia produzida: o mercado de bolsa obrigatória e o mercado de contratos bilaterais.

No mercado de bolsa obrigatória, um organismo neutro em relação aos agentes envolvidos combina as ofertas de produção com as ofertas de consumo. É estabelecido um preço de equilíbrio, que serve como referência para a receita unitária recebida pelos centros eletroprodutores selecionados. Normalmente, os consumidores não participam diretamente na bolsa, em vez disso, existem intermediários, como os comercializadores, que atuam como interface entre a bolsa e os clientes. Teoricamente, este mercado visa equilibrar a produção com a comercialização. No entanto, esta abordagem pode diluir a responsabilidade pela garantia de fornecimento, o que por vezes resulta em falhas no abastecimento, como já ocorreu em alguns sistemas que adotam este modelo [João Santana, 2016].

Nos contratos bilaterais, a ligação primária entre a produção e a comercialização ocorre através de acordos entre produtores e comerciantes. Na prática, o facto de existirem poucas transações fora destes contratos bilaterais tem demonstrado que este modelo de

mercado tende a promover a criação ou o reforço de grupos empresariais integrados e autossuficientes [João Santana, 2016].

3 Regulamentos e normas

A distribuição de energia elétrica em Portugal é coordenada por uma série de regulamentos e normas que estabelecem diretrizes e padrões para assegurar a fiabilidade, segurança e eficiência do sistema elétrico. Desde a implementação e gestão das redes de distribuição até à ligação dos consumidores finais, estes regulamentos desempenham um papel essencial na garantia de um fornecimento elétrico seguro e de qualidade em todo o país.

Estas normas e regulamentos abrangem uma variedade de áreas, incluindo os padrões de conceção e construção das redes, requisitos de segurança, procedimentos para a ligação à rede de novos clientes, medidas de proteção ambiental, entre outros. É importante explorar os principais regulamentos e normas que regem a distribuição de energia elétrica em Portugal, destacando a sua importância, alcance e impacto no setor elétrico nacional. Ao compreender estes requisitos, os profissionais do setor elétrico, as empresas de distribuição e os consumidores podem garantir a conformidade com as normativas vigentes [Manuel Bolotinha, 2018].

Os documentos de regulamentação de segurança são definidos pelos seguintes Decretos Regulamentares:

- RSLEAT (Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão) – Decreto Regulamentar nº 1/92 de 18 de fevereiro [RSLEAT, 1992];
- RSSPTS (Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Seccionamento) – Decreto nº 42895 de 31 de março de 1960, alterado pelos Decretos Regulamentares nº 14/77 de 18 de fevereiro e nº 56/85 de 6 de Setembro [DR, 1960];
- RSRDEEBT (Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição em Baixa Tensão) – Decreto Regulamentar nº 90/84 de 26 de dezembro [RSSPTS, 1985];
- RTIEBT (Regras Técnicas das Instalações Eléctricas em Baixa Tensão) – Portaria nº 949- A/2006 de 11 de setembro [RTIEBT, 2006].

Além dos demais regulamentos, são os mesmos publicados pela Direção Geral de Energia e Geologia (DGEG), sendo esta a entidade responsável por processos de ligação à rede,

licenciamentos, fiscalização, sendo que são definidas pelos seguintes guias técnicos a respeitar nas conceções e trabalhos na rede eléctrica [Manuel Bolotinha, 2018]:

- Guia Técnico das Instalações Eléctricas de Produção Independente [DGEG, 2007];
- Projecto-Tipo de Postos de Transformação em Cabine Alta dos Tipos CA1 e CA2;
- Projecto-Tipo de Postos de Transformação em Cabine Baixa dos Tipos CBU e CBL [DGEG, 1996];
- Projecto-Tipo de Postos de Transformação Aérea dos Tipos AI-1 e AI-2 [DGEG];
- Projecto-Tipo de Postos de Transformação Aérea dos Tipos A e AS [DGEG, 1995];
- Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão até 30 kV [DGEG, 1986];
- Guia Técnico das Redes Aéreas de Baixa Tensão em Condutores Isolados [DGEG, 1991];
- Guia Técnico das Redes Aéreas de Baixa Tensão em Condutores Nus [DGEG, 2006];
- Guia Técnico dos Armários de Distribuição e Seus Maciços de Fundação [DGEG, 1990];
- Guia Técnico das Instalações de Descarregador de Sobretensões;
- Guia Técnico das Instalações Eléctricas Estabelecidas em Condomínios Fechados [DGEG, 2018];
- Guia Técnico das Instalações Eléctricas Estabelecidas em Locais Residenciais ou de uso Profissional [DGEG, 2005].

São ainda afetos documentos normativos, promovidos pela entidade concessionária de distribuição de energia em AT, MT e BT, devendo ser consultado [Manuel Bolotinha, 2018]:

- DIT: Instruções Técnicas;
- DRP: Recomendações de Projecto;
- DEF: Especificação Funcional;
- DMA: Materiais e Aparelhos;
- DPE: Protocolo de Ensaio;

- DRE: Regras de Execução e Montagem.

É importante salientar a diferença entre regulamento e normas. Os regulamentos são conjuntos de regras e diretrizes estabelecidas por autoridades governamentais ou entidades reguladoras, que têm força de lei e são obrigatórios para todos os participantes do setor elétrico. Eles são elaborados com o objetivo de garantir a segurança, qualidade e confiabilidade do sistema elétrico, bem como proteger os interesses dos consumidores e promover a concorrência justa no mercado. Por outro lado, as normas são documentos técnicos desenvolvidos por organizações de padronização, como o Instituto Português da Qualidade, ou organismos internacionais e europeus, que estabelecem requisitos técnicos e práticas recomendadas para produtos, serviços e processos no setor elétrico. Embora as normas não tenham força de lei, elas são amplamente adotadas pela indústria como referências para garantir a qualidade e interoperabilidade dos equipamentos elétricos e sistemas. As normas são atualizadas regularmente para refletir os avanços tecnológicos e as melhores práticas do setor, tais como [Manuel Bolotinha, 2018]:

- NP e NP EN (Normas Portuguesas e Normas Portuguesas Harmonizadas com as Normas Europeias);
- EN (Normas Europeias);
- IEC (*International Electrical Commission*);
- CENELEC (*European Committee for Electrotechnical Standardization*);
- ISO (*International Standards Organization*);
- IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*).

4 Fundamentos sobre redes elétricas

No final do século XIX, as primeiras redes elétricas começaram a surgir, com a utilização de corrente contínua (DC) para fornecer energia a áreas urbanas. Com a necessidade crescente de eletricidade, a transmissão de energia em longas distâncias tornou-se um desafio significativo. A introdução da corrente alternada (AC) na década de 1880, impulsionada pelas inovações de Nikola Tesla e George Westinghouse, possibilitou a transmissão de eletricidade para maiores distâncias, tornando viável a interligação de redes elétricas e a criação de sistemas mais robustos. A primeira transmissão de corrente alternada trifásica em “alta tensão” ocorreu em 1891 durante a Exposição Internacional de Eletricidade em Frankfurt. Uma linha de “transmissão” de 15kV, ligou Lauffen no Neckar e Frankfurt am Main, a 175 km de distância [Massimo Guarnieri, 2013].

As redes de “alta tensão” na primeira metade do século XX foram uma resposta às exigências crescentes por energia, permitindo uma redução nas perdas de energia durante a transmissão. O advento da tecnologia de transformadores e a padronização das tensões facilitaram a expansão das redes elétricas, que se tornaram mais complexas e integradas. Com o aumento da capacidade de geração e a diversificação das fontes de energia, incluindo hídrica, centrais térmicas e, mais recentemente, fontes renováveis, a necessidade de redes de muito alta tensão tornou-se evidente. Estas redes são fundamentais para o transporte eficiente da energia gerada em locais remotos para centros de consumo [Thomas Hughes, 1983].

Com estas inovações e a crescente necessidade energética a várias distâncias do centro produtor, destacou-se a importância de um dimensionamento correto da rede, e linha elétrica, com uma base que garanta a sua eficiência, segurança e confiabilidade, evitando perdas excessivas de energia, aquecimento indesejado dos condutores, e comprometimento da estabilidade do sistema. Além disso, o cálculo correto das quedas de tensão ao longo da linha e das correntes de curto-circuito são essenciais para garantir que a rede opere dentro dos limites de segurança e eficiência. Estes cálculos são cruciais para a seleção adequada dos materiais, como os condutores e os isoladores, e para a

definição dos parâmetros que influenciam o desempenho da linha em diversas condições operacionais.

O dimensionamento de uma linha elétrica envolve vários parâmetros, como resistência, indutância, admitância transversal, que afetam o comportamento da linha durante o transporte de energia. Estes parâmetros, junto com fatores como o comprimento da linha e a carga elétrica a ser transportada, determinam o desempenho global de uma linha.

4.1 Circuito equivalente

A disposição de parâmetros, ou seja, o modelo do circuito equivalente que representa a linha, é determinada pelo comprimento da própria linha.

O modelo de linha curta, que abrange distâncias de até 80 km, a admitância transversal pode ser geralmente desprezada. Neste caso, a linha é modelada apenas pela sua impedância longitudinal, composta pela resistência e pela reatância indutiva em série como mostra a Figura 4. Isso simplifica significativamente a análise do comportamento da linha para distâncias relativamente curtas [José Paiva, 2015].

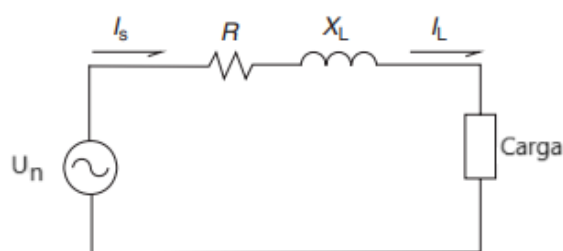


Figura 4 - Circuito equivalente de linha "curta" (<80km) [Leonard Grigsby, 2007].

Se a linha tiver um comprimento entre 80 km e 240 km, é considerada uma linha de comprimento médio. Neste caso, a admitância transversal da linha é dividida em duas partes iguais, colocadas em cada extremidade da linha [Leonard Grigsby, 2007].

Tanto as linhas de transmissão de comprimento curto quanto as de comprimento médio usam modelos aproximados com parâmetros concentrados. Porém, se a linha tiver mais de 240 km de comprimento, o modelo deve considerar parâmetros uniformemente distribuídos ao longo dela. A impedância em série apropriada e a admitância transversal são determinadas resolvendo as equações diferenciais correspondentes, onde as tensões e correntes são descritas em função da distância e do tempo [Leonard Grigsby, 2007].

4.1.1 Corrente de serviço

O cálculo da corrente de serviço permite obter informações cruciais sobre as perdas de energia e as quedas de tensão num sistema elétrico. Além disso, a corrente de serviço desempenha um papel fundamental na determinação adequada da seção transversal do condutor. Ao entender e calcular com precisão a corrente de serviço, os engenheiros e projetistas podem garantir que o sistema elétrico opere de maneira eficiente, minimizando as perdas de energia e mantendo as quedas de tensão dentro de limites aceitáveis, a corrente de serviço é dada pela seguinte expressão:

$$I = \frac{P}{U_n \times \sqrt{3} \times \cos \varphi} \quad (1)$$

Onde P é a potência nominal de transporte, em kW, U_n é a tensão composta da linha, em kV, e $\cos(\varphi)$ é o factor de potência da linha.

4.1.2 Reactância e indutância de uma linha

A reatância é a propriedade de um dispositivo de influenciar o *timing* relativo de uma tensão alternada e corrente. Ao fazer isso, ela apresenta uma espécie de impedimento próprio ao fluxo de corrente alternada, dependendo da frequência. A reatância está relacionada à geometria interna de um dispositivo e não está fisicamente relacionada à resistência [Alexandra Meier, 2006]. Nos sistemas de energia elétrica, a reatância (e a reatância capacitiva, embora a reatância indutiva seja mais comum) pode limitar a capacidade de potência de uma linha de transmissão de corrente alternada, porque a potência não é totalmente transferida quando a tensão e a corrente estão fora de fase. Ou seja, a corrente fluirá para um sistema fora de fase, no entanto, em certos momentos, a potência real não será transferida, porque haverá pontos durante os quais a corrente instantânea é positiva enquanto a tensão instantânea é negativa, ou vice-versa, implicando transferência de potência negativa. Portanto, trabalho real não é realizado quando a transferência de potência é "negativa", sendo este o parâmetro mais importante e com maior influência na capacidade de transporte e na queda de tensão de uma linha [José Paiva, 2015].

A reatância é definida pela equação 2:

$$X = \omega L \quad (2)$$

Em que L é a indutância (em Henry), e a frequência angular é $\omega = 2\pi f$ (em $\frac{rad}{s}$).

Num condutor percorrido por uma corrente, formam-se linhas de fluxo magnético concêntricas em torno do condutor. Se a corrente varia no tempo, o fluxo magnético muda e é induzida uma tensão. Assim, surge uma indutância, definida como a razão entre o vínculo de fluxo magnético e a corrente. A indutância total dos condutores de uma linha depende da configuração da linha. Para determinar a indutância da linha, é necessário calcular, como em qualquer circuito magnético com permeabilidade μ , os seguintes fatores [José Paiva, 2015]:

- Intensidade do campo magnético H : Representa a força magnetizante gerada pela corrente que flui através do condutor. É calculada utilizando a lei de Ampère;
- Densidade do campo magnético B : Refere-se à quantidade de fluxo magnético por unidade de área perpendicular à direção do campo magnético. É calculada com base na permeabilidade do material e na intensidade do campo magnético;
- Fluxo ligado λ : É o fluxo magnético total que se liga ao condutor devido à corrente que flui através dele. É determinado integrando a densidade do fluxo magnético sobre a área transversal do condutor.

Ao calcular estes fatores, é possível determinar a indutância total de uma linha, levando em consideração a configuração e as propriedades dos condutores.

A indutância de um circuito verifica-se pela relação entre o fluxo magnético ligado λ em Wb e a corrente que o percorre I em A:

$$L = \frac{\lambda}{I} \quad (3)$$

Para efeitos de análise considera-se, uma linha monofásica com dois condutores (1 e 2), à distância D , como mostra a Figura 5.

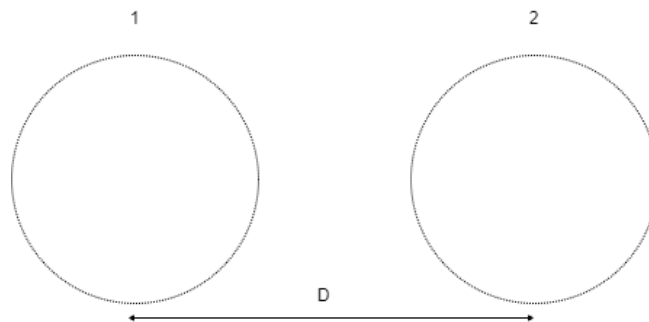


Figura 5 - Linha com dois condutores (monofásica).

A indutância correspondente ao condutor 1, é a soma de duas componentes: fluxo interno e fluxo que se fecha no exterior do condutor.

Com a corrente total no condutor I e uma densidade de corrente uniforme, ou seja, desprezando o efeito pelicular, a corrente pode num condutor pode ser expressa como:

$$I(x) = \frac{x^2}{r^2} I \quad (4)$$

Pode-se verificar na Figura 6 num condutor a densidade do campo magnético (B) e fluxo interior, com um raio x , num condutor de raio r :

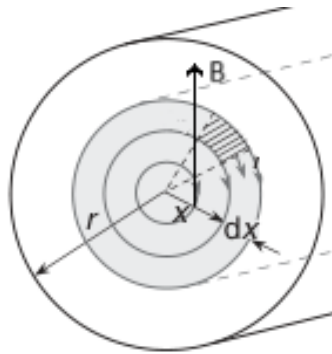


Figura 6 - Fluxo interior num condutor [Leonard Grigsby, 2007].

Sabendo que as linhas de densidade de fluxo são concêntricas com o eixo do condutor. Pode-se aplicar a lei de Ampère, obtendo o campo magnético H :

$$H(x) = \frac{1}{2\pi x} I(x) = \frac{x}{2\pi r^2} I \quad (5)$$

Com μ a ser a permeabilidade relativa do material do condutor e μ_0 a permeabilidade do ar, a indução magnética, expressa em Tesla, é:

$$B(x) = \frac{\mu\mu_0 x}{2\pi r^2} I \quad (6)$$

O fluxo $d\Phi$ que circula num elemento tubular de espessura dx , por unidade de comprimento, é dado por:

$$d\Phi = \frac{\mu\mu_0 x}{2\pi r^2} I dx \quad (7)$$

O fluxo ligado $d\lambda$ é tem como base apenas à corrente $I(x)$, onde:

$$d\lambda = \frac{x^2}{r^2} d\Phi = \frac{\mu\mu_0 x^3}{2\pi r^4} I dx \quad (8)$$

Integrando entre $x = 0$ e $x = r$, obtém-se o fluxo total:

$$\lambda = \int_0^r \frac{\mu\mu_0 x^3}{2\pi r^4} I dx = \frac{\mu\mu_0}{8\pi} I \quad (9)$$

A partir da equação 3, substituindo o valor de $\mu_0 = 4\pi \times 10^{-7} \text{H/m}$ e admitindo que a permeabilidade relativa μ do condutor é dada unitariamente, obtém-se para a indutância devida ao fluxo interno, expressa em H/m:

$$L_{\text{int}} = \frac{1}{2} \times 10^{-7} \quad (10)$$

Aqui pode-se verificar em como esta indutância não depende da secção do condutor.

Para a indutância devida do fluxo exterior ao condutor, calcula-se em primeiro lugar o campo magnético à distância x do eixo respetivo ($x > r$):

$$H(x) = \frac{1}{2\pi x} I \quad (11)$$

Obtendo o fluxo total $d\lambda$ ligado com a corrente total I , circulando num elemento tubular de espessura dx , por unidade de comprimento de linha, é:

$$d\lambda = \frac{\mu_0}{2\pi x} I dx \quad (12)$$

O fluxo total entre dois pontos à distância D_1 e D_2 , respetivamente, como pode ser observado na Figura 7, calcula-se por integração:

$$\lambda = \int_{D_1}^{D_2} \frac{\mu\mu_0}{2\pi x} I dx = \frac{\mu\mu_0}{2\pi} \ln \frac{D_2}{D_1} I \quad (13)$$

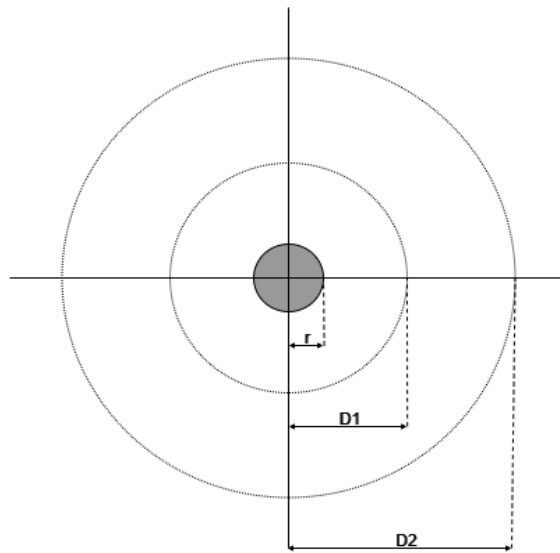


Figura 7 - Fluxo exterior ao condutor.

A partir da equação 3 e substituindo os valores de $\mu = 1$, vem então:

$$L_{\text{ext}} = (2 \times 10^{-7}) \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (14)$$

Reconsiderando a linha monofásica de dois condutores da Figura 5, fazendo $D_1 = r$ e $D_2 = D$, a indutância correspondente ao fluxo exterior ao condutor 1 é dada por:

$$L_{\text{ext}} = (2 \times 10^{-7}) \ln \frac{D_2}{D_1} \quad (15)$$

A indutância total L_1 é então a soma das duas componentes, devidas ao fluxo interior e exterior, respetivamente:

$$L_1 = (2 \times 10^{-7}) \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{D}{r_1} \right) \quad (16)$$

A indutância do condutor 2 é dado por:

$$L_2 = (2 \times 10^{-7}) \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{D}{r_2} \right) \quad (17)$$

Dado que o total da indutância é a soma dos fluxos internos e externos e a considerar dois condutores do mesmo raio, a indutância total da linha é:

$$L = (4 \times 10^{-7}) \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{D}{r'} \right) \quad (18)$$

Sabendo que o raio equivalente é:

$$r' = e^{-1/4} r = 0,778r \quad (19)$$

Deduz-se então:

$$L = (4 \times 10^{-7}) \ln \frac{D}{r'} \quad (20)$$

Para uma análise de n condutores, considera-se inicialmente, que os dois condutores de uma linha monofásica equivalem a dois circuitos magneticamente acoplados como mostra a Figura 8.

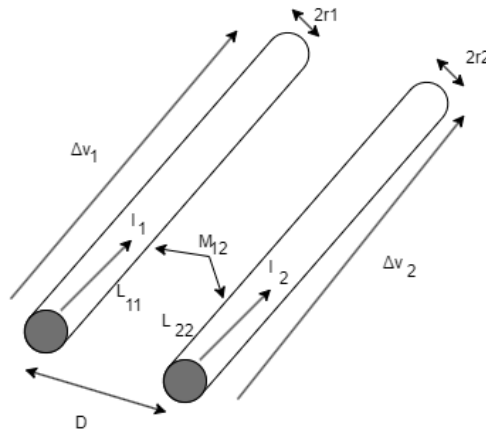


Figura 8 - Linha monofásica com dois circuitos magneticamente acoplados.

Desprezando a resistência, tem-se a queda de tensão por unidade de comprimento Δv em cada condutor pode escrever-se:

$$\Delta v_1 = L_{11} \frac{di_1}{dt} + M_{12} \frac{di_2}{dt} \quad (21)$$

$$\Delta v_2 = M_{22} \frac{di_2}{dt} + M_{21} \frac{di_1}{dt} \quad (22)$$

Em que L_{11} e L_{22} são as indutâncias próprias dos condutores 1 e 2, e $M_{12} = M_{21}$ as indutâncias mútuas entre eles:

$$L_{11} = (2 \times 10^{-7}) \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{1}{r_1} \right) \quad (23)$$

$$L_{22} = (2 \times 10^{-7}) \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{1}{r_2} \right) \quad (24)$$

$$M_{12} = M_{21} = (2 \times 10^{-7}) \ln \frac{1}{D} \quad (25)$$

Sabe-se que estas indutâncias própria e mútua são aparentes, contêm um erro de dimensão, uma vez que os argumentos dos logaritmos têm dimensão m^{-1} , só tendo significado físico quando são usadas em conjunto [José Paiva, 2015].

Para o regime alternado sinusoidal, usando a notação simbólica, e tendo presente que $I_1 = -I_2 = I$, as quedas de tensão em cada condutor por unidade de comprimento são:

$$\Delta V_1 = j\omega L_{11}I_1 + j\omega M_{12}I_2 = j\omega(L_{11} - M_{12})I \quad (26)$$

$$\Delta V_2 = j\omega L_{22}I_2 + j\omega M_{21}I_1 = -j\omega(L_{22} - M_{21})I \quad (27)$$

A queda de tensão total na linha é:

$$\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2 = j\omega(L_{11} + L_{22} - 2M_{12})I \quad (28)$$

Substituindo os valores de L_{11} , L_{22} e M_{12} tem-se:

$$\Delta V = \Delta V_1 = \Delta V_2 = j\omega(L_{11} + L_{22} - 2M_{12})I \quad (28)$$

$$\begin{aligned} \Delta V &= j\omega(2 \times 10^{-7}) \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{1}{r_1} + \frac{1}{4} + \ln \frac{1}{r_2} - 2 \ln \frac{1}{D} \right) I \quad (29) \\ &= j\omega(4 \times 10^{-7}) \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{D}{\sqrt{r_1 r_2}} \right) I \end{aligned}$$

Admitindo que os dois condutores são iguais ($r_1 = r_2$) vem:

$$\Delta V = j\omega(4 \times 10^{-7}) \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{D}{r} \right) I = j\omega(4 \times 10^{-7}) \ln \frac{D}{r'} I \quad (30)$$

Onde r' é o raio equivalente do condutor, dado pela equação 19.

Esta equação confirma que, confronte-se com a equação 20, que a indutância total por unidade de comprimento da linha é:

$$L = (4 \times 10^{-7}) \ln \frac{D}{r'} \quad (31)$$

Generalizando ao caso de uma linha com n condutores, as indutâncias próprias e mútuas são:

$$L_{ii} = (2 \times 10^{-7}) \left(\frac{1}{4} + \ln \frac{1}{r_i} \right) = (2 \times 10^{-7}) \ln \frac{1}{r'_i} \quad (32)$$

$$M_{ij} = (2 \times 10^{-7}) \ln \frac{1}{D_{ij}} \quad (33)$$

4.1.3 Queda de Tensão

A queda de tensão ΔV_i por unidade de comprimento do condutor escreve-se, por analogia com as equações 26 ou 27, e considerando o mesmo sentido positivo das correntes nos n condutores [José Paiva, 2015]:

$$\Delta V_i = j\omega L_{ii} I_i + \sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^n j\omega M_{ij} I_j \quad (34)$$

Para as linhas trifásicas (3 condutores) deste tipo podem ser consideradas com a configuração de duas formas, equidistantes e em esteira.

Para o caso de aplicação em que os condutores se encontram em formato equidistante, sendo que para modo de simplificação se pode assumir que são expostos nos vértices de um triângulo equilátero, conforme a Figura 9.

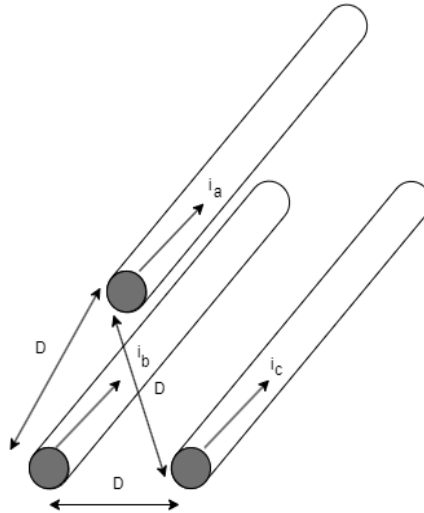


Figura 9 - Disposição de condutores em formato equidistante(galhardete).

A queda de tensão por unidade de comprimento do condutor da fase *a* é:

$$\begin{aligned} \Delta V_a &= j\omega L_{aa}I_a + j\omega M_{ab}I_b + j\omega M_{ac}I_c = \\ &= j\omega(2 \times 10^{-7}) \left(\ln \frac{1}{r'} I_a + \ln \frac{1}{D} I_b + \ln \frac{1}{D} I_c \right) \end{aligned} \quad (35)$$

Admitindo simetria das correntes (soma vetorial/ números complexos):

$$I_a + I_b + I_c = 0 \quad (36)$$

Vem:

$$\Delta V_a = j\omega(2 \times 10^{-7}) \left(\ln \frac{1}{r'} I_a - \ln \frac{1}{D} I_a \right) = j\omega(2 \times 10^{-7}) \ln \frac{D}{r'} I_a \quad (37)$$

Expressões análogas podem-se escrever para as fases *b* e *c* :

$$\Delta V_b = j\omega(2 \times 10^{-7}) \ln \frac{D}{r'} I_b \quad (38)$$

$$\Delta V_c = j\omega(2 \times 10^{-7}) \ln \frac{D}{r'} I_c \quad (39)$$

A queda de tensão em cada fase só depende da corrente nesta fase, o que permite a análise por fase, usando o esquema monofásico equivalente:

$$L = (2 \times 10^{-7}) \ln \frac{D}{r'} \quad (40)$$

Note-se que esta indutância é metade da correspondente a uma linha monofásica, veja-se a equação 31.

Se os condutores não forem equidistantes podem ser considerados como em esteira com demonstra a Figura 10.

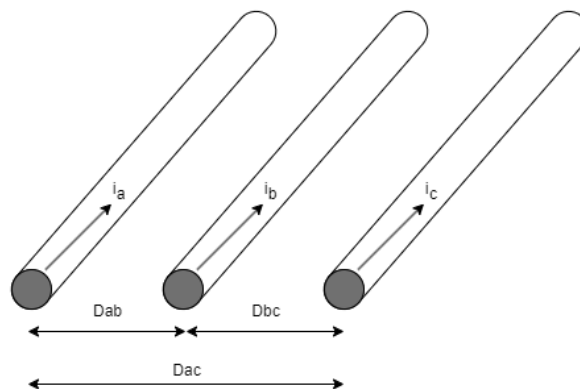


Figura 10 - Disposição de condutores em formato de esteira.

E sendo D_{ab} , D_{bc} e D_{ac} as distâncias entre três condutores tomados dois a dois, as quedas de tensão nas três fases escrevem-se:

$$\begin{aligned}\Delta V_a &= j\omega L_{aa}I_a + j\omega M_{ab}I_b + j\omega M_{ac}I_c = \\ &= j\omega(2 \times 10^{-7}) \left(\ln \frac{1}{r'}I_a + \ln \frac{1}{D_{ab}}I_b + \ln \frac{1}{D_{ac}}I_c \right)\end{aligned}\quad (41)$$

$$\begin{aligned}\Delta V_b &= j\omega L_{aa}I_a + j\omega M_{ab}I_b + j\omega M_{ac}I_c = \\ &= j\omega(2 \times 10^{-7}) \left(\ln \frac{1}{r'}I_a + \ln \frac{1}{D_{ab}}I_b + \ln \frac{1}{D_{ac}}I_c \right)\end{aligned}\quad (42)$$

$$\begin{aligned}\Delta V_c &= j\omega L_{aa}I_a + j\omega M_{ab}I_b + j\omega M_{ac}I_c = \\ &= j\omega(2 \times 10^{-7}) \left(\ln \frac{1}{r'}I_a + \ln \frac{1}{D_{ab}}I_b + \ln \frac{1}{D_{ac}}I_c \right)\end{aligned}\quad (43)$$

Para o cálculo da queda de tensão em linhas aéreas de média tensão (30 kV), utiliza-se inicialmente um modelo que considera a indutância própria e mútua dos condutores. No entanto, para simplificar a análise em linhas curtas (<80km), são feitas algumas considerações que permitem deduzir uma fórmula prática para a queda de tensão [Octávio Madureira, 2009]. Neste desenvolvimento, parte-se de uma expressão que descreve a queda de tensão nas três fases de uma linha trifásica com condutores assimétricos e mostra-se como, através de simplificações.

Para uma linha trifásica com condutores não equidistantes, as quedas de tensão em cada fase podem ser expressas em consideração com a equação 34, nas condições de simplificação, onde as indutâncias mútua e própria podem ser representadas por um único fator logarítmico que depende da distância D entre os condutores e do raio r' do condutor, da seguinte forma:

$$\Delta V_a = j\omega L_{aa}I_a + j\omega M_{ab}I_b + j\omega M_{ac}I_c \quad (44)$$

$$\Delta V_b = j\omega L_{bb}I_b + j\omega M_{ab}I_a + j\omega M_{bc}I_c \quad (45)$$

$$\Delta V_c = j\omega L_{cc}I_c + j\omega M_{ac}I_a + j\omega M_{bc}I_b \quad (46)$$

Além disso, a indutância de cada condutor está diretamente relacionada à sua posição física em relação aos outros condutores, e pode ser expressa como:

$$L_{aa} = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{1}{r'}\right) \quad (47)$$

$$M_{ab} = 2 \times 10^{-7} \ln\left(\frac{1}{D_{ab}}\right) \quad (48)$$

Onde r' é o raio equivalente do condutor e D_{ab}, D_{ac}, D_{bc} são as distâncias entre os condutores tomados dois a dois.

Como verificado anteriormente sabendo que o âmbito do estudo se refere a linhas curtas pode-se em prol da simplificação, o cálculo da queda de tensão, as seguintes premissas são adotadas [Octávio Madureira, 2009]:

Desprezo da admitância da linha:

-Linhas curtas, possuem uma admitância transversal pequena, o que permite ignorar sua contribuição no cálculo de queda de tensão.

Queda de tensão resultante apenas de efeitos resistivos e indutivos:

-A queda de tensão ao longo da linha é causada pela soma da queda de tensão devida à resistência da linha (associada à componente ativa da corrente) e à reatância indutiva da linha (associada à componente reativa da corrente).

A tensão no início da linha é igual à sua tensão nominal:

-A tensão de entrada na linha é considerada constante e igual à tensão nominal, facilitando a análise sem considerar variações significativas na magnitude da tensão ao longo da linha.

Com estas simplificações, a queda de tensão em cada fase pode ser aproximada por:

$$\Delta V_f = RI_f + jXI_f \quad (49)$$

Em que: I_f é a corrente na fase f , e a parte jXI_f representa a contribuição da indutância na queda de tensão.

Para uma linha trifásica equilibrada, as três fases possuem contribuições de corrente simétricas. Assim, a queda de tensão total ΔV na linha trifásica é a soma das quedas de tensão em cada fase. Sendo a linha equilibrada, a corrente em cada fase pode ser expressa em termos de uma corrente de linha I , resultando em:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times (RI \cos \varphi + XI \sin \varphi) \quad (50)$$

Aqui, φ é o ângulo de fase entre a corrente e a tensão, que depende da carga conectada à linha; $R \cos \varphi$ é a componente da queda de tensão devida à resistência da linha, associada à potência ativa; $X \sin \varphi$ é a componente da queda de tensão devida à reatância indutiva, associada à potência reativa.

Portanto, partindo das expressões completas de queda de tensão em linha trifásica com condutores assimétricos e utilizando simplificações válidas para linhas aéreas de curta extensão, deduz-se a fórmula prática para a queda de tensão total numa linha curta:

$$\Delta V = \sqrt{3} \times I(R \cos \varphi + X \sin \varphi) \quad (51)$$

4.1.4 Resistência do condutor

O parâmetro que por efeito de Joule condiciona a maior causa de perdas de potência na transmissão num condutor de uma linha é a resistência, para isso é necessário saber os parâmetros, ρ é a resistividade elétrica em Ωm , S é a área da seção do espécime em m^2 , a resistência em DC é dada por [John Grainger, 2016]:

$$R_{DC} = \rho \frac{\ell}{S} \quad (52)$$

No caso de sinais em AC, a corrente não se distribui igualmente através da seção reta do condutor, mas concentra-se próxima à superfície externa do condutor à medida que a frequência aumenta, o campo magnético junto ao centro do condutor também aumenta conduzindo ao aumento da reactância local [IFSC, 2015].

Este aumento de reactância leva a que, a corrente tenda a preferencialmente, deslocar-se pela periferia do condutor, o que implica uma diminuição da área efetiva do condutor e logo um aumento da sua resistência aparente [Paulo Moisés, 2011], sendo a resistência em AC dada por:

$$R_{AC} = \rho \frac{\ell}{S_{aparente}} \quad (53)$$

Com a divisão membro a membro R_{AC} por R_{DC} , e tendo em conta que ℓ e ρ são constantes tem-se:

$$\frac{R_{AC}}{R_{DC}} = \frac{S}{S_{aparente}} \quad (54)$$

Em que formulando:

$$R_{AC} = \frac{S}{S_{aparente}} \times R_{DC} \quad (55)$$

O efeito pelicular é dado pela distribuição do fluxo de corrente num condutor cilíndrico, mostrado em secção transversal como representado na Figura 11.

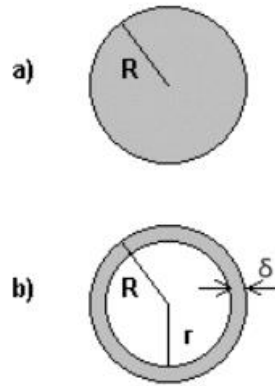


Figura 11 - Distribuição de corrente em: a) Condutor DC; Condutor AC [IFSC, 2015].

Com isto e sabendo que $S = \pi R^2$, e que $S_{aparente} = \pi R^2 - \pi r^2$, e $r = R - \delta$, tem-se então:

$$R_{AC} = \frac{\pi R^2}{\pi R^2 - \pi \times (R - \delta)^2} \times R_{DC} \quad (56)$$

Sabendo a permeabilidade relativa k_m do material, a profundidade pelicular δ pode ser calculada pela expressão:

$$\delta = \frac{3,16 \times \delta^2}{2\pi} \times \sqrt{\frac{\rho}{f \times k_m}} \quad (57)$$

A densidade de corrente diminui exponencialmente da superfície para o interior. A profundidade pelicular, δ como mostra a Figura 12, é definida como a profundidade onde a densidade de corrente que pode ser assumida, é apenas 1/e (cerca de 37%) do valor na superfície e ela depende da frequência da corrente e das propriedades elétricas e magnéticas do condutor [Clayton Paul, 2006].

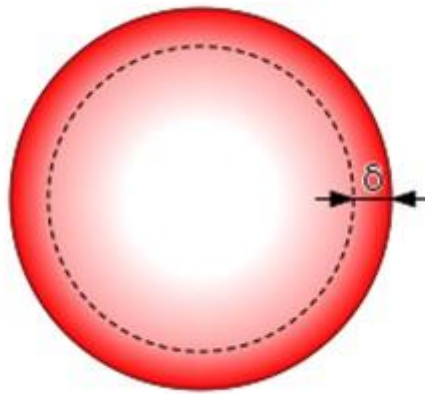


Figura 12 - Profundidade pelicular δ [W.Wang, 2017].

Uma das maneiras usadas para reduzir o aumento aparente da resistência elétrica devido ao efeito é o uso de vários condutores trançados, ao invés de monofilar, de forma que o campo magnético atue de forma uniforme e a corrente seja distribuída igualmente entre eles, com o efeito pelicular a realizar um pequeno efeito em cada um dos cabos, e assim reduzindo o aumento da resistência em corrente alternada que um único cabo sólido de mesma seção transversal apresentaria [Xi Nan, 2005].

Um destes condutores trançados é o condutor misto, que consiste em camadas alternadas de condutores trançados, em espiral de direções opostas para manter os condutores juntos como mostra a Figura 13, envolvendo um núcleo de fios de aço. O objetivo de introduzir um núcleo de aço dentro dos condutores de alumínio trançados é obter uma alta relação resistência-peso.

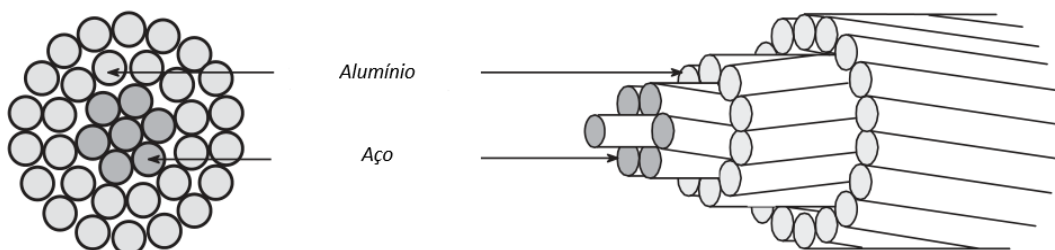


Figura 13 - Condutor trançado multifilar [Leonard Grigsby, 2006].

Um condutor trançado oferece mais flexibilidade e é mais fácil de fabricar do que um condutor sólido grande. No entanto, a resistência total é aumentada porque os cabos externos são maiores do que os fios internos devido à espiral. A resistência de cada condutor enrolado em qualquer camada, por unidade de comprimento, é baseada em seu comprimento total da seguinte forma [Leonard Grigsby, 2006]:

$$R_{cond} = \frac{\rho}{S} \sqrt{1 + \left(\pi \frac{1}{p}\right)^2} \quad (58)$$

Seguindo assim, em que R_{cond} é a resistência do condutor trançado, e $\sqrt{1 + \left(\pi \frac{1}{p}\right)^2}$ é o comprimento do condutor enrolado, p é considerado espaçamento relativo do condutor enrolado que é dado por: $p = \frac{l}{2r_{espiral}}$ onde l é o comprimento de uma volta da espiral e $2r_{espiral}$ é o diâmetro da camada, ambos em metros.

4.1.5 Temperatura

A resistividade de qualquer material condutor varia linearmente ao longo de uma temperatura de operação e, portanto, a resistência de qualquer condutor sofre as mesmas variações. À medida que a temperatura aumenta, a resistência do condutor aumenta linearmente, dentro das temperaturas de operação normais, de acordo com a seguinte equação [José Paiva, 2015]:

$$R_2 = R_1 \cdot [1 + \alpha_t(T_2 - T_1)] \quad (60)$$

R_1 e R_2 são as resistências às temperaturas T_1 e T_2 , respectivamente e α_t o coeficiente de temperatura, alguns valores para diferentes tipos de materiais podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 - Resistividade e coeficiente de temperatura para vários materiais condutores [José Paiva, 2015].

Material	Resistividade ($\mu \Omega.cm$)	Coef. Temperatura α_t
Aço	12-88	0,001-0,005
Alumínio	2,83	0,0039
Cobre	1.77	0,0050

Tradicionalmente, dois modelos amplamente utilizados têm sido referências fundamentais, para calcular a capacidade de transporte das linhas considerando uma série de parâmetros meteorológicos e características específicas das linhas: o modelo de Kuipers & Brown e o modelo desenvolvido pelo Comité Internacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (CIGRÉ).

O modelo de Kuipers & Brown, é baseado numa abordagem matemática que utiliza uma velocidade de vento fixa para determinar a capacidade de transporte de uma linha. Este modelo tem sido historicamente confiável, proporcionando uma estimativa geral da capacidade das linhas sob condições normais de operação. No entanto, pode subestimar ou sobrestimar a capacidade real quando as condições meteorológicas variam significativamente, especialmente em situações de vento fraco ou extremo [Marco Silva, 2015].

Por outro lado, o modelo desenvolvido pelo CIGRÉ apresenta uma abordagem mais detalhada, considerando não apenas a velocidade do vento, mas também o ângulo de incidência do vento e diferentes mecanismos de arrefecimento do condutor, como a convecção natural e forçada. Isto permite uma análise mais precisa e abrangente da capacidade de transporte das linhas sob uma variedade de condições meteorológicas.

Sendo que se considera que a temperatura de funcionamento máxima de 80°C projetada para a linha aérea, corresponderá a um regime de sobrecarga temporária que poderá ser aplicado à instalação por um período de 1 a 2 horas. A temperatura dos condutores depende de vários fatores como sejam a temperatura ambiente e a velocidade do vento, da radiação solar e ainda do estado da superfície que condiciona os valores dos

coeficientes de absorção e de emissão em relação ao corpo negro, para estes efeitos podem ser considerados dois modelos.

Para condutores aéreos e segundo o operador nacional, a expressão que traduz esta múltipla dependência segundo o modelo Kuipers & Brown é a seguinte:

$$C \times \frac{dT}{dt} = R_2 \times I_{m\acute{a}x}^2 + \alpha_{solar} \times G_i \times d - 8,55(T_2 - T_1) \times (v \times d)^{0,448} - E \times \sigma \times \pi \times d \times (T_2^4 - T_1^4) \quad (60)$$

Onde pode-se definir:

C : Capacidade térmica do condutor.

$\frac{dT}{dt}$: Taxa de variação da temperatura ao longo do tempo.

$R_2 \times I_{m\acute{a}x}^2$: Aquecimento por efeito de Joule (proporcional à corrente máxima quadrada e à resistência).

$\alpha_{solar} \times G_i \times d$: Absorção de radiação solar pelo condutor, pelo diâmetro do condutor; em que α_{solar} é o Coeficiente de absorção de radiação solar pelo condutor; G_i : irradiação solar incidente no condutor; e d é o diâmetro do condutor.

$8,55(T_2 - T_1) \times (v \times d)$: Dissipação de calor por convecção (proporcional à diferença de temperatura e à velocidade do vento), em que T_2 e T_1 são a temperatura do condutor e temperatura ambiente, v a velocidade do vento, afetando a convecção.

$E \times \sigma \times \pi \times d \times (T_2^4 - T_1^4)$: Dissipação de calor por radiação térmica (comportamento de corpo negro), em que, E é a energia emitida por unidade de área (constante de Stefan-Boltzmann) e σ é o coeficiente de condutividade elétrica do material.

4.1.6 Corrente máxima em regime permanente e potência

Em regime permanente, $\frac{dT}{dt} = 0$, pelo que a equação traduz o equilíbrio entre a energia produzida por efeito de Joule, ou absorvida por radiação solar, e a energia dissipada por convecção ou radiada pelo condutor.

Assim, a corrente máxima num condutor aéreo em regime permanente será regida pela seguinte equação:

$$I_{m\acute{a}x} = \sqrt{\frac{E \times \sigma \times \pi \times d \times (T_2^4 - T_1^4) - \alpha_{solar} \times G_i \times d + 8,55(T_2 - T_1) \times (v \times d)^{0,448}}{R_T}} \quad (61)$$

Na receção, a intensidade de corrente nominal para assegurar a potência nominal da instalação terá de ser:

$$I_n = \frac{P_{aparente}}{\sqrt{3} \times U_{recep\c{c}ao}} \quad (62)$$

Para a intensidade de corrente nominal, considerando toda a carga concentrada na extremidade da linha, as perdas associadas serão contabilizadas da seguinte forma:

$$P_{perdas} = P_J = 3 \times R \times I^2 \quad (63)$$

Considerando que na receção, a potência cativa é:

$$P_{recep\c{c}ao} = P_{aparente} \times \cos \varphi \quad (64)$$

Na origem, a potência cativa é dada pelas perdas, para potências ativas:

$$P_T = P_J + P_{recep\c{c}ao} \quad (65)$$

Sendo a potência perdida em %:

$$p = \frac{P_J}{P_T} \times 100 \quad (66)$$

Pelo que o rendimento da transmissão será contabilizado da seguinte forma em %:

$$\eta = \frac{P_{recep\c{c}ao}}{P_T} \times 100 \quad (67)$$

4.1.7 Corrente de curto-circuito

No cálculo das intensidades da corrente de curto-circuito em linhas aéreas equipadas com condutores de secções transversais consideradas pouco elevadas, algumas simplificações podem ser aplicadas, permitindo o uso do valor eficaz da corrente de curto-circuito em vez do valor eficaz médio da corrente total de curto-circuito na expressão do mesmo [DGE, 1986]. Isto pode ser feito sob as seguintes condições:

- Os efeitos ocorrem em pontos da rede afastados das centrais produtoras;
- A constante de tempo do circuito é suficientemente curta para que as variações de temperatura, calor específico e massa específica do material do condutor possam ser desprezadas.

Neste contexto, a intensidade da corrente de curto-circuito máxima admissível pode ser determinada utilizando a seguinte expressão [DGE, 1986]:

$$I_{cc} = \frac{1}{k1 \times \alpha_t} \times \frac{S}{\sqrt{t}} \quad (68)$$

Em que: t - Duração do curto-circuito em s ; $k1$ - Constante do material; α_t - Coeficiente de temperatura.

Os valores das constantes $k1$ e α_t para cada tipo de material condutor são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 - Constantes de material e coeficiente de temperatura [DGE, 1986].

Material	$k1$	α_t	Temperatura máxima admissível (C°)
Alumínio-Aço	6,902	1,732	160
Ligas de alumínio	6,981	1,809	160

4.2 Cálculo mecânico de cabos

A análise mecânica detalhada dos condutores, realizada por meio do método da aproximação hiperbólica, destaca-se como um processo abrangente para o cálculo mecânico dos cabos, englobando uma variedade de parâmetros cruciais associados aos estados geométricos e mecânicos mais desafiadores da linha.

Dos elementos obtidos, é imprescindível ressaltar:

- Parâmetro de Temperatura Mínima: avaliado em condições de -5°C fora de zona de gelo e -10°C em zona de gelo, sem vento, esta análise visa representar a flecha mínima e verificar as distâncias necessárias em relação aos obstáculos cruzados inferiormente pela linha.
- Parâmetro de Temperatura Máxima: estabelecido em 80°C , sem vento, representando a flecha máxima e verificando as distâncias necessárias em relação aos obstáculos cruzados superiormente pela linha.
- Tração nas Condições de Primavera: calculada à temperatura de 15°C , considerando o vento máximo habitual, esta condição fornece dados relevantes para a avaliação da resistência dos cabos durante o período primaveril.
- Tração nas Condições de Inverno: Considerada à temperatura mínima (-5°C fora da zona de gelo e -10°C na zona de gelo) e com vento reduzido.
- Tração e Parâmetro de Catenária no Estado, EDS (*Every Day Stress*): avaliação realizada à temperatura de 15°C , sem vento, para determinar a necessidade potencial de aplicação de amortecedores de vibrações eólicas, garantindo a estabilidade em condições específicas.
- Tração à Temperatura de 15°C e 50% do Vento Máximo Habitual: esta análise visa calcular o desvio lateral das cadeias de suspensão e verificar a estabilidade em condições de vento moderado.

É essencial destacar que o cálculo das flechas de montagem será efetuado durante a fase de construção, com base em verificações topográficas específicas da localização dos apoios e dos desníveis relevantes.

4.3 Ações sobre apoios

A verificação da estabilidade dos apoios garante que a estrutura suporte as cargas mecânicas a que está sujeita. Estas cargas variam de acordo com a função do apoio na linha, sendo determinadas pelo perfil do terreno, condições ambientais e os elementos da linha, como condutores, isoladores e cabos de guarda. As principais solicitações a serem consideradas para os apoios são [RSLEAT, 1992]:

- Sobrecarga de vento: inclui o efeito do vento sobre o apoio, travessas, isoladores, condutores e cabos de guarda nos vãos adjacentes ao apoio;
- Trações mecânicas: resultam das forças exercidas pelos condutores e cabos de guarda, provenientes das linhas principais e derivadas, que impõem esforços nos apoios;
- Peso próprio: o peso do apoio em si, das travessas, isoladores, condutores e acessórios.

Os apoios podem ser classificados conforme sua função na linha, sendo as principais categorias, visto esquematicamente na Figura 14:

- Apoios de alinhamento: situados em troços retos da linha, onde não há mudança de direção;
- Apoios de ângulo: utilizados em pontos onde há um ângulo entre dois segmentos retos da linha;
- Apoios de derivação: posicionados em locais onde ocorre a conexão de uma ou mais ramificações da linha principal;

- Apoios de fim de linha: instalados no término da linha, suportam a força de tração horizontal devida aos esforços dos condutores de um único lado;
- Apoios de reforço: projetados para resistir à torção, especialmente em caso de ruptura de um condutor. Podem ser utilizados em qualquer um dos apoios anteriores, de acordo com o artigo 63º do RSLEAT, a distância máxima entre dois apoios de reforço consecutivos deve ser de 15 vãos.

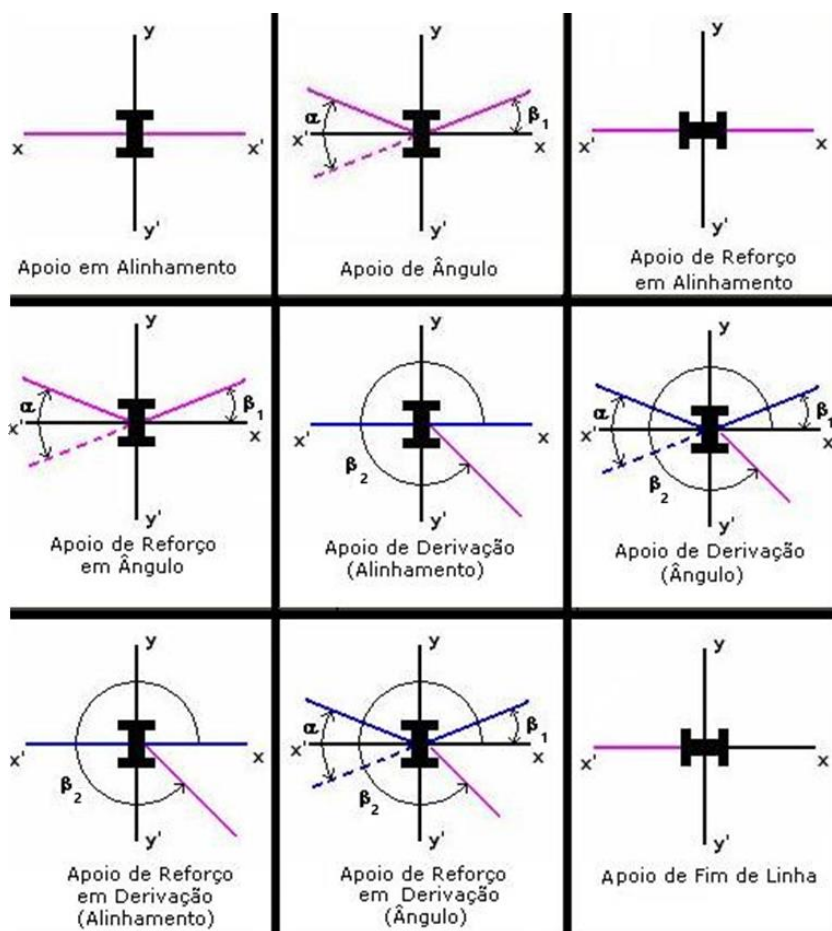


Figura 14 - Classificação dos apoios de acordo com a sua função [Hélder Leite, 2008].

4.3.1 Aspectos de cálculo

Sabendo então o ângulo que a linha faz num determinado apoio (valor descrito no perfil e planta parcelar), como se verifica na Figura 15, os ângulos β_1 e β_2 podem ser determinados da seguinte forma (valores em graus):

$$\beta_1 = \frac{200 \times \alpha}{2} \quad (69)$$

$$\beta_2 = \alpha + \beta_1 \quad (70)$$

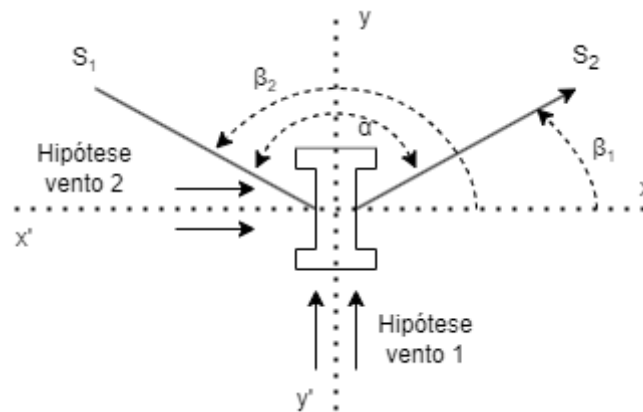


Figura 15 - Esforços solicitados em apoio.

O valor de w , em que, α é o coeficiente de redução, c é o coeficiente de forma, q é a pressão dinâmica do vento, em Pa, d é o diâmetro da superfície batida pelo vento, calcula-se w é pela seguinte expressão em $\frac{daN}{m}$:

$$w = \alpha \times c \times q \times d \quad (71)$$

Ao abrigo dos artigos 13º, 14º e 15º do RSLEAT obtém-se os valores de a , c e q .

O peso unitário reduzido w' , considerando apenas metade do esforço, pode ser expresso como:

$$w' = \frac{w_0}{2} \quad (72)$$

Os valores do peso unitário do condutor w_0 e t_{max} , tensões admissíveis máximas do material do condutor devem ser consultadas ao fabricante.

Quanto aos valores da tração máxima T_{max} em daN:

$$T_{max} = t_{max} \times S \quad (73)$$

Servem estes valores para aplicar nas fórmulas de determinação dos esforços sobre os apoios. As fórmulas podem ser consultadas nos quadros 9.1 a 9.13 da [DGE, 1986].

As fórmulas descritas nos quadros são válidas para linhas com 3 condutores, sem cabo de guarda, e na sua elaboração consideraram-se as seguintes simplificações:

- Esforços aplicados no topo dos apoios;
- Apoios de nível;
- Vento desprezável sobre os isoladores e sobre as armações;
- Peso desprezável dos isoladores e das armações.

Nos diagramas de esforços úteis dos apoios, são considerados esforços aplicados a 0,25 metros do topo, logo se nas fórmulas os esforços são considerados no topo dos apoios o cálculo, os resultados das fórmulas vão corresponder a uma situação mais desfavorável.

4.4 Apoios e fundações

Os apoios de betão utilizados em Portugal, devem obedecer à Norma EN 12843 [EN, 2004] e ao documento da EDP DMA-67-215/N [EDP, 2004], sendo que têm como características principais o tipo de poste como séries de fabrico e dimensões da cabeça e a solicitação principal ou esforço útil, que um poste de betão pode suportar, sendo a maior

força exercida na horizontal, a 0,25 metros do topo, segundo o eixo de maior dimensão, sem que o poste altere a sua estrutura, suportado em daN.

As solicitações definidas e normalizadas assim como altura e código de dimensões pode ser visto na Figura 16:

Solicitação principal, F (daN)	Altura total, H/ (m)										Código de dimensões do topo
	14	16	18	20	22	24	26	28	30	32	
400	X	X	X								P00
600		X	X	X	X						
800	X	X	X	X	X						P01
1000		X	X	X	X						P02
1200	X	X	X	X	X	X	X	X			
1400		X			X	X	X	X	X	X	P03
1600	X	X	X		X	X	X	X	X	X	P04
2250	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	M04
2750	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	M06
4000	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	M08
5000	X	X	X		X	X	X				M10
7500		X	X	X	X	X	X				G10 (=M10)
9000		X	X	X	X	X	X				G12

Figura 16 - Parâmetros dos apoios normalizados.

As fundações são responsáveis por transmitir ao solo os esforços resultantes de todas as solicitações externas aplicadas a elas. Portanto, é crucial dimensionar adequadamente o maciço de fundação para garantir que, sob as cargas máximas possíveis, não ocorram aumentos perigosos na deformação dos condutores e, principalmente, para evitar o colapso dos apoios. Este processo de dimensionamento visa assegurar a estabilidade e a segurança estrutural do sistema, proporcionando uma resposta robusta às solicitações externas e garantindo o funcionamento confiável e duradouro da infraestrutura elétrica.

A altura total de um poste, representada por Hl e expressa em metros, corresponde à dimensão do apoio desde a base até o topo, e Ho a profundidade do encastramento no solo como visto na Figura 17. A determinação da altura total de um poste é influenciada pelo local de sua implantação e deve obedecer às disposições regulamentares aplicáveis.

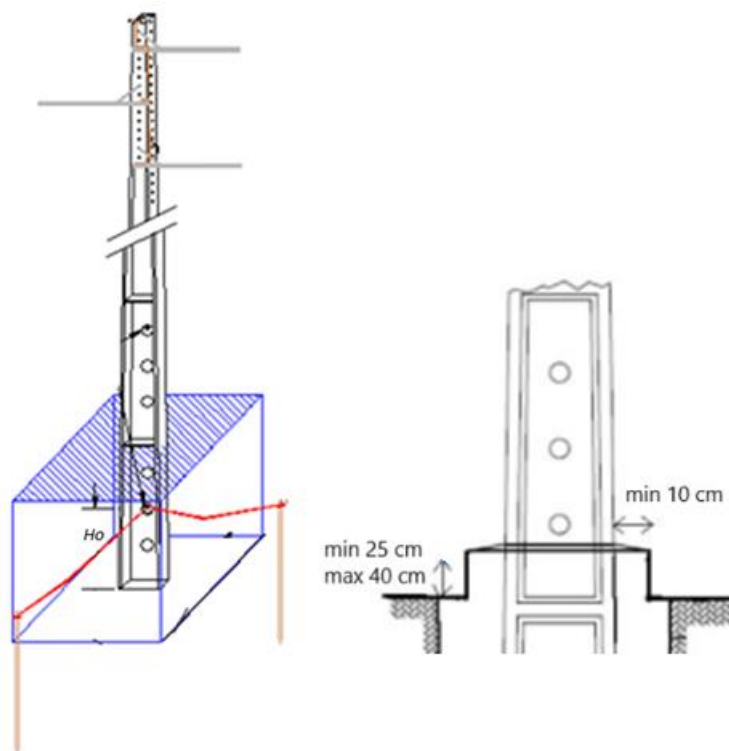


Figura 17 - Maciço de poste de betão [E-REDES, 2022].

De acordo com o RSLEAT, é necessário garantir um afastamento mínimo entre os condutores e várias estruturas ao potencial da terra, o que é crucial na elaboração do projeto da linha. As distâncias mínimas em relação ao solo, vegetação, edifícios, vias de circulação, cursos de água e outras instalações também são especificadas no RSLEAT.

A profundidade de encastramento, representada por Ho , refere-se à parte do poste que deve ser enterrada ou encastrada no solo e varia conforme a altura do poste Hl . Na Tabela 3, são indicados os valores mínimos regulamentares de encastramento Ho para diferentes

valores de Hl , ambos considerados em metros. Estes valores são fundamentais para garantir a estabilidade e segurança dos apoios de acordo com as normas estabelecidas.

Tabela 3 - Valores regulamentares de encastramento. [RSLEAT, 1992].

Altura do poste Hl	Profundidade de encastramento Ho
14	$0,1 Hl + 0,5 = 1,9$
16 – 18 – 20	2,0
22 e 24	2,5
26 a 32	2,8

4.5 Verificação da estabilidade das cadeias

A ação do vento transversal à linha provoca a inclinação das cadeias de suspensão, assim como o próprio declive, o que pode aproximá-las perigosamente dos apoios. Por outro lado, o esforço vertical nos pontos de fixação dos condutores, normalmente dirigido no sentido da gravidade, podendo em determinadas circunstâncias, ser significativamente reduzido, nulo, ou até invertido, atuando de baixo para cima. Esta condição compromete a estabilidade das cadeias de suspensão e pode implicar uma aproximação perigosa ao condutor, a posição de equilíbrio do sistema de forças é representada na Figura 18:

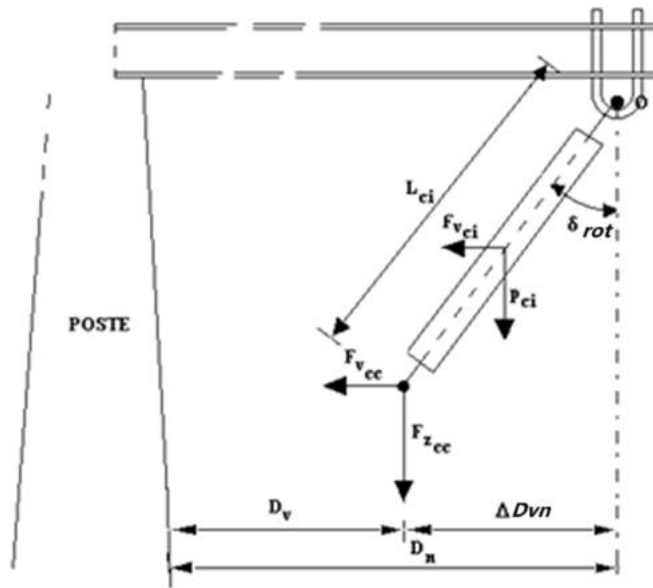


Figura 18 - Posição de equilíbrio de cadeia.

O sistema de forças envolvido pode ser descrito pela sua posição de equilíbrio, com as seguintes variáveis: o ângulo de rotação da cadeia em torno do ponto O, δ_{rot} , em graus; o diferencial entre as distâncias D_v , D_n , ΔD_{vn} em metros; a força do vento sobre a cadeia de suspensão, F_{vci} , em daN; o peso da cadeia de suspensão, incluindo isoladores e acessórios, p_{ci} , em daN; o comprimento da cadeia de suspensão, L_{ci} , em metros; a ação do vento sobre o condutor, F_{vcc} , em daN; a carga vertical exercida pelo condutor, F_{zcc} , em daN; a distância entre o condutor e o poste com a cadeia em posição normal, D_n , em metros; e a distância entre o condutor e o poste com a cadeia inclinada devido à ação do vento, D_v , em metros.

O ângulo de rotação da cadeia será dado por:

$$\delta_{rot} = \arctg \frac{\left| F_{vcc} + \frac{F_{vci}}{2} \right|}{\left| F_{zcc} + \frac{p_{ci}}{2} \right|} \quad (74)$$

4.6 Ações dos cabos sobre o apoio

As ações sobre as linhas elétricas são classificadas de acordo com sua duração e resposta estrutural [EN, 2013]:

Segundo a duração:

- Ações Permanentes: forças horizontais devido às trações máximas nos condutores e forças verticais devido ao peso dos mesmos;
- Ações Variáveis: forças resultantes do vento, gelo e variações de temperatura;
- Ações Acidentais: relacionadas com a segurança das estruturas, podendo ser afetadas por eventos como avalanches.

Segundo a resposta estrutural:

- Ações Estáticas: não causam aceleração nos componentes das linhas;
- Ações Dinâmicas: provocam aceleração significativa nos componentes das linhas.

A ação do vento sobre as linhas elétricas gera novas forças nos diversos componentes, proporcionalmente à velocidade do vento. Estas forças são consideradas atuando horizontalmente, paralelas à direção do vento. Segundo a Norma IEC50341-3-17, o território português é dividido em duas zonas de vento distintas [IEC, 2013]:

- Zona A: Abrange todo o território português, exceto as regiões incluídas na Zona B;
- Zona B: Inclui as Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira, além das regiões continentais localizadas dentro de uma faixa costeira de 5 km de largura ou em altitudes acima de 600 metros.

A tração mecânica máxima corresponde à força que os condutores podem suportar sem o risco de rutura, quando estão sujeitos às condições atmosféricas mais desfavoráveis. De acordo com a Norma IEC50341-3-17, o projeto da linha deve assegurar que a tração máxima admissível nos condutores não ultrapasse 40% da tração de rutura dos mesmos [IEC, 2013].

O limite de tração máxima que os condutores podem suportar sem o risco de rutura é calculado pela seguinte equação:

$$t_{seg} = \frac{T_R}{2,5 \times \sigma} \quad (75)$$

Em que se pode verificar a tração de segurança com t_{seg} dado em $\frac{daN}{mm^2}$, a partir de T_R a tração de rutura em daN por 2,5 vezes a secção do condutor [IEC, 2013].

4.7 Cálculo de isolamento elétrico

Os isoladores têm como função evitar a passagem de corrente do condutor ao apoio ou suporte e sustentar mecanicamente os cabos. Em linhas aéreas até 30 kV inclusive, podem utilizar-se isoladores rígidos, de eixo vertical ou de eixo horizontal e isoladores de cadeia como mostrado na Figura 19 [Hugo Pedreira, 2013]. A seleção dos isoladores é influenciado pelo nível de poluição da área onde a linha será instalada, pois esta condição aumenta o risco de contaminação, exigindo um dimensionamento mais preciso [Rui Almeida, 2016].

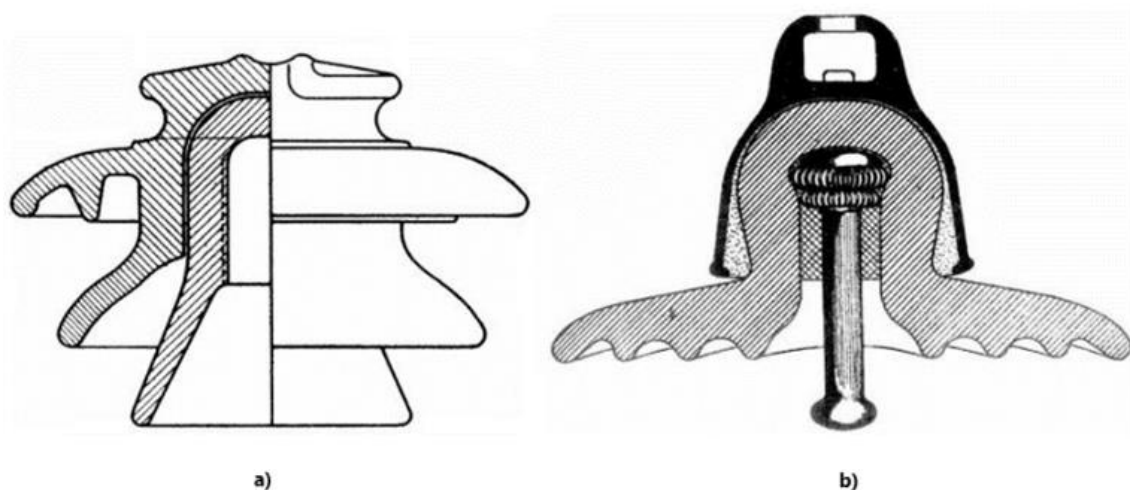


Figura 19 - Tipos de isoladores: (a) Isolador rígido; (b) Isolador de acoplamento em cadeia [IEP, 2020].

Os isoladores rígidos, apesar de mais económicos, têm sido menos utilizados porque, em caso de falha no isolamento, é necessário substituir todo o isolador. Por outro lado, nas cadeias de isoladores, só é preciso trocar a campânula com defeito, tornando a manutenção mais simples [IEP, 2020].

As cadeias de isoladores consistem em vários isoladores feitos de materiais como porcelana, vidro ou resinas artificiais, juntamente com componentes metálicos e material de ligação para os unir. Podem ainda incluir anéis de guarda, também conhecidos como anéis de Nicholson, ou hastes de descarga, colocadas num ou ambos os extremos da cadeia, para proteger contra os arcos elétricos e distribuir melhor a potência entre os elementos da cadeia. As hastes de descarga também são úteis para proteger as cadeias de isoladores contra as descargas atmosféricas, uma vez que a corrente de descarga pode danificar a superfície da cadeia e causar um curto-circuito à terra [José Nunes, 2007].

No entanto, apesar das suas propriedades isolantes, os isoladores nem sempre conseguem impedir a passagem de corrente entre os condutores e os suportes devido a vários fatores:

- **Condução Superficial:** ocorre quando a chuva, o gelo ou a poeira cobrem toda a superfície dos isoladores, criando condutividade nas suas paredes externas;

- **Perfuração dos Isoladores:** durante incêndios florestais próximos a linhas elétricas aéreas, os isoladores podem ser expostos a altas temperaturas, o que pode comprometer suas propriedades e resultar em microfissuras. Isto pode permitir a condução de energia através da água da chuva ou da humidade que se infiltra nessas fissuras, causando curto-circuito entre o condutor e a terra;
- **Descarga Disruptiva:** em certas situações, a rigidez dielétrica do ar diminui, possibilitando a formação de um arco elétrico entre o condutor e o apoio. Sendo que pode ocorrer em dias de tempestade ou devido a sobretensões nas linhas.

A linha de fuga dos isoladores é um fator crítico no dimensionamento de equipamentos para garantir o isolamento adequado, especialmente em ambientes com elevados níveis de poluição. Para o cálculo tem-se:

Linha de Fuga Necessária

A linha de fuga necessária I_f é calculada com base na tensão nominal e na linha de fuga nominal específica mínima, nela tem-se I_{fe} : que é a linha de fuga nominal específica mínima em mm/kV (depende do nível de poluição e das condições ambientais); U : Tensão composta em kV (tensão nominal do sistema) [Daniel Teixeira, 2017]. A equação é dada por:

$$I_f = I_{fe} \times U \quad (76)$$

A linha de fuga necessária é essencial para definir a resistência das isoladoras contra descargas superficiais em função da tensão de operação e do ambiente em que está instalada a linha.

Escolha dos Isoladores em Função da Linha de Fuga:

A escolha dos isoladores é feita considerando, se se está a lidar com isoladores rígidos ou isoladores de cadeia.

Para isoladores rígidos (como isoladores de porcelana ou vidro), a seleção deve assegurar que o comprimento da linha de fuga de cada isolador seja superior ou igual à linha de fuga necessária I_f .

No caso de isoladores de cadeia acoplados em série, é necessário determinar quantos isoladores são necessários para atender à linha de fuga total. A fórmula para determinar o número de isoladores N é:

$$N = \frac{I_f}{\text{comprimento da linha de fuga de um isolador}} \quad (77)$$

Assim, ao conhecer o comprimento da linha de fuga em mm , de um isolador individual, pode-se calcular o número de isoladores necessários para garantir a adequada proteção contra descargas superficiais, especialmente em ambientes sujeitos a níveis elevados de poluição.

A utilização de cadeias equipadas com hastes de descarga, têm por objetivo proteger o condutor e a cadeia de isoladores dos efeitos nocivos provocados pelos arcos de contornamento resultantes das sobretensões atmosféricas. As cadeias equipadas com hastes de descarga são uma solução prevista no RSLEAT, para evitar o sobreisolamento em mais de quatro apoios consecutivos. Estas cadeias, quando utilizadas, devem ser empregues em apoios localizados em locais de difícil acesso e relativamente afastados de habitações ou zonas densamente povoadas.

4.8 Seccionamento

Os seccionadores tripolares e interruptores-seccionadores são dispositivos de corte e seccionamento projetados para serem utilizados tanto em linhas aéreas de média tensão, quanto em postos de transformação aéreos. Uma de suas características distintivas é a distância de seccionamento, que se refere aos níveis de isolamento na posição aberta que impedem qualquer corrente de fuga entre a montante e a jusante [EDP, 2022]. Esta

distância é medida no ar entre o contato fixo e a parte mais próxima do contato móvel (faca de seccionamento) de cada uma das fases, alguns aspetos relativos podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Níveis de isolamento dos seccionadores e interruptores-seccionadores tripolares [EDP, 2022].

Tensão estipulada (kV)	Tensão suportável ao choque atmosférico (kV pico)		Tensão suportável à frequência industrial durante 1 minuto (v. eficaz) sob chuva (kV)	
	À terra	Sobre a distância de seccionamento	À terra	Sobre a distância de seccionamento
12	75	85	28	32
17,5	95	110	38	45
36	170	195	70	80

Além disso, os seccionadores não possuem capacidade de corte e fecho, o que significa que só devem ser operados (abertos/fechados), quando as linhas/postes aéreos estiverem sem carga.

Dado que os seccionadores serão instalados em linhas aéreas de média tensão, para as quais o nível de isolamento estabelecido é de 250 kV (com distâncias mínimas de isolamento de 480 mm entre fase e terra, e 540 mm entre fases), esses equipamentos poderão ser equipados com DST (Descarregador de sobretensão), conforme previsto no “Guia de Coordenação de Isolamento” [E-REDES, 2021]. A composição dos seccionadores tripolares de média tensão está resumida na Figura 20.

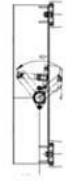

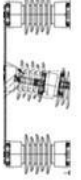



CONSTITUIÇÃO	ELEMENTOS	CONJUNTO
CHASSIS		
ISOLADORES		
TERMINAIS		
FACAS DE SECCIONAMENTO		

Figura 20 - Composição de um seccionador tripolar [E-REDES, 2021].

Estas características fazem dos seccionadores equipamentos ideais para abrir e isolar trechos de linhas aéreas a jusante do local de instalação, permitindo a realização de trabalhos de manutenção nos trechos afetados com segurança.

Por outro lado, os interruptores-seccionadores tripolares de MT, como o próprio nome sugere, combinam as duas características: possuem distância de seccionamento e têm capacidade de corte e fecho. Eles podem ser operados com as linhas/postes aéreos em carga, o que os torna adequados para um tipo diferente de uso em comparação com os seccionadores, a composição dos interruptores-seccionadores tripolares de MT pode ser vista na Figura 21 [E-REDES, 2021].

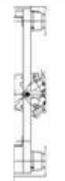


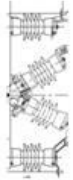

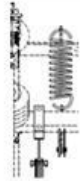

CONSTITUIÇÃO	ELEMENTOS	CONJUNTO
CHASSIS		 
ISOLADORES		
TERMINAIS		
MOLA DE DISPARO		
FACAS DE SECCIONAMENTO + HASTES DE EXTINÇÃO		

Figura 21 - Composição de um interruptor-seccionador. [E-REDES, 2021].

Os seccionadores e interruptores-seccionadores tripolares de MT são projetados para funcionar tanto na posição horizontal quanto na vertical. No entanto, devido às restrições impostas pela avifauna nos seccionadores horizontais e a compromisso da concessionária com o Instituto da Conservação da Natureza e das Florestas (ICNF) deverão ser projetados para utilização vertical [E-REDES, 2021]. Ao selecionar e instalar os seccionadores tripolares de MT, é essencial considerar em projeto que os seccionadores verticais devem ser montados em apoios com armações em esteira horizontal ou em triângulo, na face oposta à alimentação da linha, deve-se também evitar instalar

seccionadores verticais em apoios com armação em galhardete ou em apoios de derivação.

4.9 Proteção de rede

Um dos métodos para proteção das redes é realizado por meio de DST, que são utilizados para proteger equipamentos e instalações contra as descargas atmosféricas e sobretensões de manobra. Estes dispositivos são geralmente classificados com base na sua capacidade de descarga de corrente.

Os descarregadores de sobretensões, devido à característica não linear das resistências de óxido de zinco, atuam como um "caminho" de baixa impedância quando ocorrem sobretensões. Isso permite que a corrente de descarga seja desviada para a terra de proteção, limitando a tensão nos terminais do descarregador. Por outro lado, em situações de tensão dentro dos valores nominais da frequência industrial, eles comportam-se como isoladores, oferecendo uma alta impedância [E-REDES, 2022].

Portanto, é essencial equipar os dispositivos de MT com proteção adequada contra sobretensões, a fim de evitar avarias e taxas de contornamentos elevadas nos locais onde esses equipamentos estão instalados.

Os dispositivos de MT que possuem isolamento autorregenerável, como seccionadores e interruptores-seccionadores, ou seja, aqueles com menor risco de ocorrência de defeitos permanentes, não são priorizados na instalação de descarregadores de sobretensões de acordo com as diretrizes do “Guia de Coordenação de Isolamento” (GCI).

A Tabela 5, apresenta diferentes situações e as soluções correspondentes sobre a aplicação de descarregadores de sobretensões em equipamentos diretamente associados à rede aérea de MT:

Tabela 5 - Aplicações de descarregadores de sobretensões [E-REDES, 2022].

Equipamento MT	Instalação de DST	Observações
Órgãos de corte de rede	Obrigatório	Instalação em ambos os lados
Troço de cabo subterrâneo	Obrigatório	De acordo com a secção 3.4.1 do DRE-C65-110/N
Transformadores de MT/BT	Obrigatório	De acordo com as secção 3.4.2 , 3.4.3 e 3.4.4 do DRE-C65-110/N
Seccionadores	Não Obrigatório	Instalação de 1 lado ou dos 2 lados, se o seccionador é normalmente fechado ou normalmente aberto, respetivamente

Os DST a instalar nas redes de MT para proteção dos equipamentos devem ser dispostos com a distância máxima de proteção, conforme definido no GCI e apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Distância de proteção para níveis de tensão [E-REDES, 2022].

Nível de tensão	Distância máxima de proteção
10 kV	3 metros
15 kV	4 metros
30 kV	7 metros

4.10 Características de armações

As armações mais utilizadas são as que possibilitam a disposição dos condutores em esteira horizontal, em esteira vertical, em triângulo ou em galhardete. Atendendo ao RSLEAT e a normalização das armações no DMA-C67-620/N [EDP, 2018], deve ser

utilizada uma determinada armação conforme a função do apoio. Assim, para apoios de alinhamento, ângulo e reforço é recomendado o uso das seguintes armações:

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

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

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

Estes tipos de armações podem ser vistos na prática nas Figuras 22 a 27:

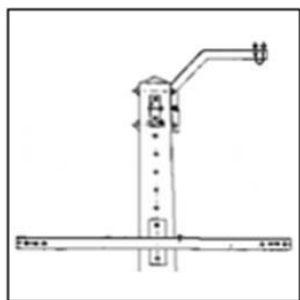


Figura 22 - Armação TAN.

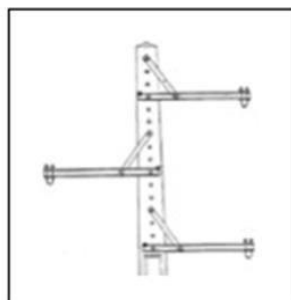


Figura 23 - Armação GAL.



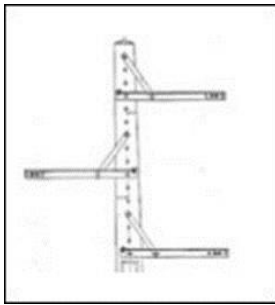


Figura 24 - Armação GAN.

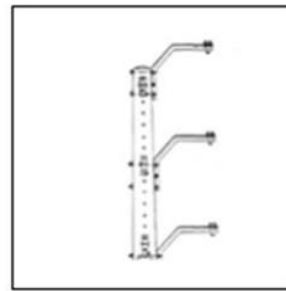


Figura 25 - Armação VAL.

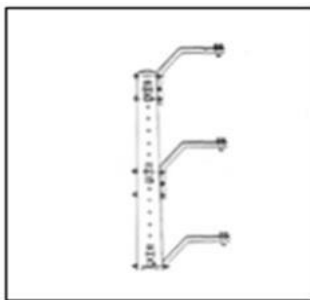


Figura 26 - Armação VAN.

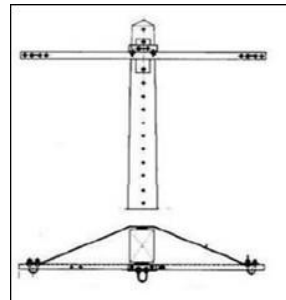


Figura 27 - Armação HTP4.

A verificação da distância de garantia entre condutores será efetuada através do método do vão máximo admissível para a geometria da cabeça dos apoios a utilizar e distância entre pontos de fixação em cada armação.

De acordo com o artigo 31.º, número 2, do RSLEAT, fora das zonas sujeitas a gelo, a distância vertical entre dois condutores pode ser até dois terços menor que a distância horizontal. Esta assimetria ocorre porque as oscilações verticais são principalmente causadas pela queda de gelo dos condutores. Portanto, a distância de garantia no eixo vertical é 1,5 vezes maior que a distância de garantia no eixo horizontal dos vários tipos de armações utilizados em apoios de betão [DR, 1992]. De referir que, construtivamente, a HDR e HRF são semelhantes a HRFSC e GAL é semelhante à GAN.

Para calcular o vão máximo admitido pela travessa: L_{max} , tem-se:

$$L_{max} = 8P \times \sqrt{\left[\left(\frac{D_g - \frac{U}{200}}{0,75K} \right)^2 - d \right]} \quad (78)$$

Em que D_g – Distância de garantia de uma dada armação em metros; U – Tensão da linha em kV; d – Comprimento das cadeiras de isoladores em metros; K – Constante que depende da natureza do condutor que se considera 0,6, para condutores de cobre e alumínio-aço e 0,7 para condutores de liga de alumínio.

4.11 Balizagem

O objetivo de balizagem e colocação de bolas de sinalização é garantir a segurança de voos e garantir que os aviões mantenham uma distância vertical segura em relação ao solo e quaisquer elementos naturais ou construídos, como prédios, torres, antenas, linhas elétricas, turbinas eólicas, balões, etc. Quando esta distância mínima não é cumprida, considera-se que o elemento em questão representa um obstáculo para as operações de voo.

Estes obstáculos podem ser classificados como naturais ou artificiais. Os obstáculos naturais referem-se ao terreno, que está presente de forma permanente e é identificado em cartas topográficas e informações aeronáuticas, permitindo que as tripulações planeiem as suas rotas com segurança. Já os obstáculos artificiais são aqueles que não fazem parte do terreno natural e podem não estar claramente identificados nas informações aeronáuticas, o que pode dificultar sua detecção pelos pilotos durante o voo [ANAC, 2003].

A presença de obstáculos artificiais é mais preocupante quando os voos precisam ocorrer em altitudes mais baixas, como durante operações militares, de busca e resgate,

emergências médicas ou combate a incêndios florestais. A criação de obstáculos artificiais é regulamentada por lei, mas ainda assim é importante adotar medidas para torná-los visíveis aos pilotos e reduzir os riscos para as aeronaves. Isso pode envolver tornar os obstáculos mais visíveis à distância para que os pilotos possam identificá-los com antecedência e evitar colisões [ANAC, 2003].

No caso específico de linhas elétricas, as diretrizes para a balizagem de cabos e apoios de linhas aéreas, como os de energia. As bolas de balizagem devem ser de cores específicas (branca, vermelha ou laranja) com exemplo na Figura 28, e com espaçamentos adequados entre elas, dependendo do diâmetro da bola e da localização dos cabos. Em casos de múltiplos cabos, as balizas devem ser colocadas no cabo mais elevado, com exceções em situações específicas. Os apoios das linhas também devem ser balizados de acordo com as regras estabelecidas. Em áreas de servidão de autoestradas, itinerários principais e complementares, existem especificidades quanto à balizagem dos cabos e apoios, dependendo se cruzam ou não as vias que podem ser consultadas [ANAC, 2003].



Figura 28 - Bola de sinalização laranja.

5 Dimensionamento e projeto de linha de distribuição

As linhas elétricas assumem diversas formas, desde as tradicionais linhas aéreas, compostas por condutores de alumínio ou cobre, suspensos por isoladores em postes de diferentes materiais, até às linhas subterrâneas, que se tornaram uma alternativa cada vez mais utilizada em ambientes urbanos.

As linhas de distribuição não são apenas condutores físicos de eletricidade; são também sistemas complexos que requerem planejamento cuidadoso, projeto adequado e manutenção regular para garantir um fornecimento confiável de energia elétrica. Além disso, estas infraestruturas não estão isentas de desafios e impactos ambientais, que vão desde a necessidade de equilibrar a eficiência energética com a preservação da paisagem e da vida selvagem até à mitigação de riscos para a saúde pública e segurança.

As redes podem ser classificadas de acordo com o tipo de construção, configuração e modo de operação. Quanto ao tipo construtivo, as redes podem ser aéreas, subterrâneas ou mistas, combinando elementos aéreos e subterrâneos. Enquanto as linhas aéreas são comuns em áreas rurais, suburbanas e semiurbanas, as redes subterrâneas são preferidas em áreas urbanas e algumas semiurbanas, devido à estética e menor impacto visual.

As configurações usuais das incluem o sistema radial, onde a energia flui numa única direção, o sistema em rede malhada, onde a energia pode circular em diferentes direções, e a rede em anel em que tem os dois aspetos e proporciona maior redundância e maior confiabilidade devido a alimentação por diferentes percursos, as três configurações podem ser verificadas na Figura 29. Em áreas onde a continuidade do serviço é crítica, como em zonas semiurbanas e urbanas, a configuração em anel é preferível, pois permite uma rápida recuperação em caso de falha.

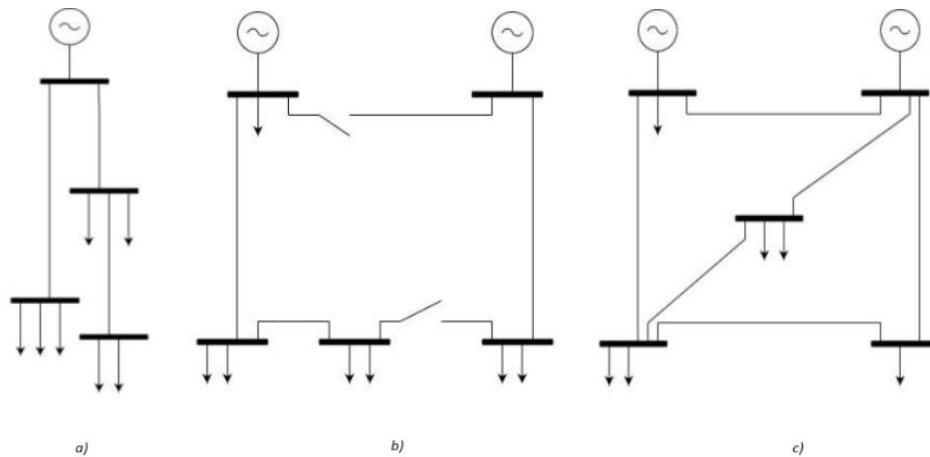


Figura 29 - Topologias de rede: a) radial; b) malhada; c) anel [José Paiva, 2015].

Além disso, existe a configuração mista, que é um compromisso entre o custo de construção e operação da rede e a garantia de continuidade de serviço. Esta configuração é preferencialmente utilizada em áreas semiurbanas ou rurais onde a interrupção do fornecimento de energia pode ter um impacto significativo, como em indústrias agroalimentícias. Estas redes combinam elementos aéreos e subterrâneos para otimizar a eficiência e confiabilidade do sistema.

5.1 Projeto de infraestrutura elétrica

Antes de se iniciar a elaboração de um projeto de infraestruturas elétricas, o projetista deve obedecer às orientações necessárias para garantir uma execução correta do mesmo, bem como identificar eventuais condicionalismos a considerar. Alguns dos pontos-chave a serem abordados incluem:

- Ponto de ligação à rede pública (MT ou BT) com disponibilidade para alimentação do empreendimento;
- Eventual existência de loteamentos próximos que estejam em fase semelhante de desenvolvimento, visando conciliar as várias infraestruturas de energia elétrica, o que pode representar uma solução economicamente mais vantajosa para os Promotores.

Quanto à constituição do projeto, de acordo com o Decreto-Lei n.º 446/76, de 5 de junho, com as alterações introduzidas pela Portaria n.º 401/76, de 6 de julho, o projeto das instalações elétricas de serviço público deve incluir [DR, 1976]:

5.1.1 Memória descritiva e justificativa

Este documento deve conter todos os elementos e esclarecimentos necessários para proporcionar uma compreensão completa da natureza, importância, função e características da instalação. Isso inclui informações sobre as razões para a apresentação do projeto, a localização e a constituição do loteamento/urbanização, a discriminação das classes e dos tipos de obras que constituem o projeto, e as características e condições de estabelecimento dos equipamentos/materiais, exemplar no anexo B.

5.1.2 Termo de Responsabilidade

Um documento que atesta a responsabilidade pela elaboração do projeto, assinado por um Engenheiro Eletrotécnico ou Engenheiro Técnico da especialidade eletrotécnica inscrito na DGEG.

No anexo C tem-se a “documentação necessária por tipo de pedido de ligação à rede”, com termos de responsabilidade.

5.1.3 Traçados das redes

Estes devem incluir as redes de distribuição BT e de Iluminação Pública que forem consideradas necessárias, eventuais postos de transformação e a respetiva rede de MT que assegure a inserção dos Postos de Transformação na rede existente. Além disso, devem ser apresentados os traçados da rede AT existente no local, demonstrando a adequação do projeto do loteamento/urbanização em função da rede AT existente, e/ou eventual modificação da rede AT.

Os Postos de Transformação devem ser situados em domínio público, garantindo acesso livre e direto à via pública para permitir a entrada e o estacionamento de viaturas pesadas do ORD a qualquer hora do dia e da noite. Além disso, estes edifícios devem ser equipados com sistemas de ventilação que assegurem, em condições de segurança, o arrefecimento do transformador de potência.

Em casos onde os Postos de Transformação precisem ser integrados em edifícios ou localizados próximos a áreas sensíveis, onde não seja viável afastar o compartimento do(s) transformador(es) desses locais, é necessário realizar um estudo de condicionamento acústico. Este estudo deve ser validado por meio de ensaios realizados por uma entidade credenciada, garantindo que a transmissão de ruído e vibrações para fora do compartimento seja negligenciável de acordo com as exigências regulamentares vigentes. É fundamental respeitar os requisitos acústicos definidos pela regulamentação em vigor, conforme descrito no documento "Requisitos de ruído para postos de transformação" (D00-C13-030/N) [EDP, 2016] e no "Guia para controlo e mitigação do ruído em postos de transformação" [E-REDES 2021].

No caso de Postos de Transformação integrados em edifícios, é necessário observar o estipulado nos Regulamentos de Segurança contra Incêndios em Edifícios, conforme a legislação em vigor (Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro [DR, 2008], Decreto-Lei n.º 224/2015, de 9 de outubro [DR, 2015], e Portaria n.º 1532/2008, de 29 de dezembro [DR, 2008]). A prévia aprovação dos projetos de implantação, aspeto arquitetónico e enquadramento paisagístico dos edifícios e cabinas pré-fabricadas destinadas a Postos de Transformação é da responsabilidade do Promotor, devendo ser obtida junto da Câmara Municipal.

Se o terreno a lotear for atravessado por linhas aéreas de média/alta tensão e não atender às distâncias regulamentares entre as construções a serem edificadas e as linhas, será necessário proceder à alteração destas últimas, quando viável. Os estudos e execução das operações de modificação das linhas serão realizados pelo ORD, às custas do Promotor.

5.1.4 Peças desenhadas

Todas as peças desenhadas devem ser rubricadas pelo Técnico responsável e devem ser claras e inequívocas, numeradas ou identificadas por letras ou algarismos, e dobradas de acordo com as normas e regras técnicas em vigor.

As peças desenhadas deveram ser anexadas no projeto e conter:

- Uma planta de localização do loteamento/urbanização, à escala 1:1000 ou superior, que indique claramente os limites da área objeto de intervenção;
- Plantas separadas para cada classe de obra prevista (BT, MT, PT, IP), à escala 1:1000 ou vertical - 1:500 e horizontal - 1:2500;
- Uma planta que identifique as infraestruturas elétricas já existentes no terreno;
- Desenhos detalhados de elementos específicos, como valas, armários de distribuição, candeeiros de IP e postos de transformação.

5.1.5 Quedas de tensão, sobrecargas e curtos-circuitos

Nas redes de distribuição BT e da Iluminação Pública devem ser realizados conforme o estabelecido no Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão, com os resultados anexados ao projeto.

O projeto também deve incluir o cálculo da potência total da urbanização/loteamento, identificando os coeficientes de simultaneidade aplicados, a distribuição da potência atribuída a cada unidade e lote, o cálculo luminotécnico e, quando necessário, o cálculo dos encargos de potência.

No dimensionamento dos elementos de rede necessários à ligação das infraestruturas, é importante observar:

- A determinação das potências das instalações de utilização e do loteamento/urbanização, que são de responsabilidade do Promotor e não podem ser inferiores aos valores regulamentares;

- O cálculo do coeficiente de simultaneidade mínimo "C", aplicado ao ramal de alimentação e às redes internas, conforme a fórmula fornecida, levando em consideração o número de instalações de utilização;
- A aplicação dos coeficientes previstos na Portaria n.º 949-A/2006 para o dimensionamento dos ramais de alimentação dos edifícios.

Recomenda-se o preenchimento de uma ficha síntese para sistematizar a informação relativa às potências a requisitar, por lote e no total do empreendimento [DR, 1976].

5.1.6 Orçamento e o mapa de medições

Estes aspetos devem seguir um modelo definido e incluir a descrição e quantificação dos materiais/trabalhos, separados pelas classes de obras previstas no projeto, bem como outros encargos inerentes à construção e ligação das infraestruturas, exemplar no anexo D.

5.1.7 Projeto da rede de Iluminação Pública

Algumas considerações a tomar na conceção de projeto de IP, sendo que deverá conter:

- A Portaria n.º 454/2001, de 5 de maio (secção V) [DR, 2001];
- As especificações da Câmara Municipal, especialmente em relação ao tipo de luminárias, quantidade de focos luminosos e colunas de IP;
- O alinhamento e distância entre as luminárias;
- A harmonização das valas das várias redes previstas no projeto;
- Os passeios, rotundas, estacionamento, varandas e zonas verdes.

O projeto de infraestruturas deve incluir as condições técnicas do Caderno de Encargos para a execução da obra.

5.2 Características gerais da linha

No projeto de infraestruturas de energia elétrica, apenas serão considerados os ramais de alimentação para as diversas instalações individuais ou coletivas se houver condições para o seu estabelecimento em termos definitivos, simultaneamente com as redes de distribuição. Todos os ramais BT devem terminar em portinholas ou quadros de colunas, conforme estabelecido no documento "DIT-C14-100/N - Ligações à rede de clientes BT - Soluções técnicas normalizadas" [E-REDES, 2024].

Se não for possível contemplar os futuros ramais no projeto, deve-se prever a instalação de tubagem nos locais previstos para a passagem de condutores.

Os Projetistas devem solicitar ao ORD os desenhos-tipo de Postos de Seccionamento e/ou de Transformação, quadros gerais de baixa tensão, valas para redes MT e BT, armários de distribuição BT e armários de IP.

Na escolha do traçado de uma linha elétrica, é recomendável, sempre que possível, que os alinhamentos sejam compostos por segmentos retilíneos de grande extensão. Esta estratégia visa otimizar o número de apoios, reduzindo os custos operacionais, uma vez que menos apoios implicam menor investimento. Além disso, os percursos paralelos às vias de comunicação facilitam o acesso durante a construção e manutenção, contribuindo para a eficácia do sistema.

A escolha de ângulos suaves ao longo do percurso também é crucial, pois ângulos acentuados exigem apoios mais robustos, o que aumenta os custos. Esta abordagem promove a eficiência económica e a sustentabilidade do projeto, assegurando a estabilidade da infraestrutura elétrica com um investimento otimizado.

No entanto, é necessário ponderar os impactos estéticos ou paisagísticos. Em casos onde estejam presentes edifícios históricos ou estruturas de valor artístico, a flexibilidade no traçado torna-se essencial. Nestes casos, podem ser adotadas soluções mais sinuosas, equilibrando os requisitos técnicos com as considerações estéticas.

Para assegurar a viabilidade da construção e manutenção da linha, é fundamental estabelecer uma faixa de serviço de 5 metros de largura ao longo do traçado, dividida ao meio pelo eixo da linha. Esta faixa permite intervenções, como cortes e desbastes de árvores, garantindo condições adequadas para a operação da infraestrutura [DR, 1992].

No contexto específico das linhas de 2.^a classe, a delimitação da zona de proteção com uma largura máxima de 15 metros é essencial para garantir a segurança operacional. Este critério está em conformidade com o RSLEAT, especialmente o Artigo 28.º, que define parâmetros específicos para a segurança dessas infraestruturas.

No que diz respeito à vegetação ao longo do traçado, a remoção de árvores como pinheiros e eucaliptos, de crescimento rápido, deve seguir as orientações regulamentares e ambientais, evitando riscos para a operação. No entanto, o RSLEAT recomenda a preservação de árvores de fruto e de crescimento lento, como carvalhos e sobreiros, devido ao seu valor ecológico e características especiais, conforme as normas ambientais aplicáveis.

Manter uma distância mínima de 2,5 metros entre os condutores nus e as árvores é essencial, em conformidade com o RSLEAT e com as normas europeias. Além disso, é importante observar outras distâncias mínimas na fase de planeamento, tendo em conta as condições de flecha máxima dos cabos, desviados ou não pelo vento, para garantir a integridade da infraestrutura.

Para linhas de 30 kV, as distâncias mínimas especificadas pelo RSLEAT em relação ao solo, edifícios e obstáculos são imperativas para garantir a segurança e operabilidade das linhas. Estes parâmetros asseguram que as linhas estão em conformidade com os mais altos padrões regulatórios e de segurança.

No que se refere à proximidade dos condutores em relação às edificações, é obrigatório manter uma distância mínima de 4 metros, evitando potenciais interferências e riscos para a segurança dos ocupantes. Esta medida também previne riscos de arcos elétricos e preserva a integridade das estruturas adjacentes.

Estas distâncias mínimas, definidas pelo RSLEAT, reforçam o compromisso com a segurança operacional e a integridade da infraestrutura, garantindo a conformidade com as normativas em vigor em Portugal e na União Europeia.

A proibição de passagem sobre áreas sensíveis, como depósitos de combustíveis, recintos escolares, zonas de aeródromos, instalações militares e centros de radiocomunicação, está alinhada com o RSLEAT, que visa mitigar riscos e interferências em locais de elevada sensibilidade.

Na fase inicial do planeamento do traçado, é comum recorrer a imagens aéreas para a análise do terreno e identificação de locais críticos. Esta abordagem contribui para a eficiência na escolha de rotas viáveis e para a redução dos impactos ambientais.

Na escolha dos locais de apoio ao longo do trajeto, é importante minimizar interferências nas atividades locais. Os apoios são preferencialmente localizados nos limites dos terrenos ou em áreas públicas, para reduzir o impacto sobre as atividades quotidianas e facilitar a integração da infraestrutura com o ambiente.

Estas práticas refletem não só a eficiência técnica e económica, mas também uma sensibilidade às questões estéticas e ambientais, promovendo uma integração harmoniosa entre a infraestrutura elétrica e o ambiente envolvente. Tal abordagem contribui para o desenvolvimento sustentável e a aceitação social dos projetos de linhas elétricas.

5.3 Zonamento de território

As características do território têm uma influência significativa nas condições de dimensionamento das linhas aéreas, uma vez que a ação dos agentes atmosféricos pode interagir com seus componentes.

No RSLEAT, a ação dos agentes atmosféricos é caracterizada, sendo função da zona do território onde se pretende estabelecer a linha.

5.3.1 Dimensionamento mecânico

O dimensionamento da linha considera a influência dos agentes atmosféricos que podem interagir com seus componentes. Os principais agentes atmosféricos que afetam o comportamento mecânico dos componentes das linhas são o vento e o gelo.

Para cada um destes agentes e de acordo com a cláusula 4.2.2 da EN50341-3-17 [EN, 2001], são definidas duas zonas, conforme descrito na Tabela 7 e visualizasse no mapa na Figura 30:

Tabela 7 - Agentes atmosféricos por zona.

ZONA	VENTO	GELO
ZONA A	Distância à orla marítima > 5 km Altitude < 600 m	-
ZONA B sem gelo	Distância à orla marítima ≤ 5 km	-
Zona B sem gelo	Altitude ≥ 600 m	-
Zona B com gelo	Altitude ≥ 600 m	Altitude ≥ 700 m ⁽¹⁾

Para as zonas consideradas deverão ser tomados os seguintes valores de carga de vento ⁽²⁾:

¹ Considera-se possibilidade de formação de manga de gelo nos distritos de Viana do Castelo, Braga, Vila Real, Bragança, Porto, Viseu, Guarda, Castelo Branco, Coimbra e Portalegre.

² Considera-se como carga de vento a pressão dinâmica devida ao vento máximo habitual. A carga de vento reduzido corresponde a 40% da carga de vento máximo.

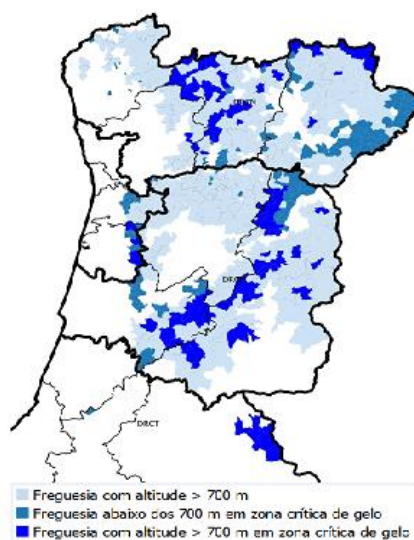


Figura 30 - Representação das freguesias com altitude acima e abaixo de 700 m com predominância de gelo [E-REDES, 2022].

Para as zonas em altitude, são definidas na Tabela 8 [E-REDES, 2022].:

Tabela 8 - Zonas em altitude.

ZONA	ALTURA ACIMA DO SOLO	VENTO MÁXIMO HABITUAL	VENTO REDUZIDO
ZONA A	<30 m	750 Pa a +15°C	300 Pa a -5°C
	$30 \text{ m} \leq h < 50 \text{ m}$	900 Pa a +15°C	360 Pa a -5°C
	$h \geq 50 \text{ m}$	1050 Pa a +15°C	420 Pa a -5°C
ZONA B sem gelo	<30 m	900 Pa a +15°C	360 Pa a -5°C
	$30 \text{ m} \leq h < 50 \text{ m}$	1050 Pa a +15°C	420 Pa a -5°C
	$h \geq 50 \text{ m}$	1270 Pa a + 15°C	508 Pa a -5°C
Zona B com gelo	<30 m	900 Pa a +15°C	360 Pa a -10°C
	$30 \text{ m} \leq h < 50 \text{ m}$	1050 Pa a +15°C	420 Pa a -10°C
	$h \geq 50 \text{ m}$	1270 Pa a + 15°C	508 Pa a -10°C

Na zona B, onde não há ocorrência de gelo, é possível considerar condições de fabrico especial para os postes de betão, aplicando produtos de proteção contra a corrosão salina, sempre que justificado, como mostrado na Figura 31, as zonas de alto grau de corrosão. Esta medida visa garantir uma maior durabilidade e resistência dos postes às condições ambientais específicas da zona, contribuindo para a sua integridade estrutural ao longo do tempo.

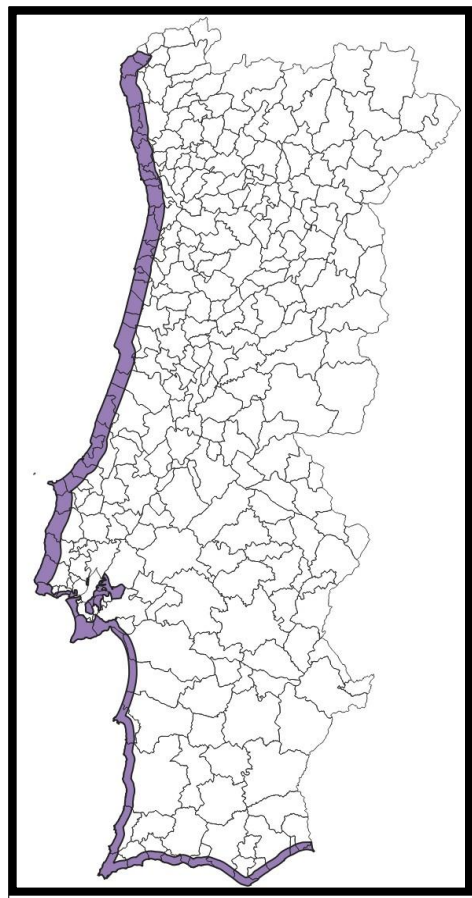


Figura 31 - Representação gráfica das zonas de elevado grau de corrosão [E-REDES, 2022].

5.3.2 Dimensionamento térmico

Para o dimensionamento térmico de condutores de linhas aéreas, são considerados a radiação solar incidente sobre os condutores e a velocidade do vento. Estes dados são

utilizados na equação que expressa o balanço térmico de um condutor, adotada a partir do modelo Kuipers & Brown.

Valores comuns adotados no dimensionamento de linhas são mostrados na Tabela 9:

Tabela 9 - Valores comuns adotados para dimensionamento térmico [E-REDES, 2022].

Radiação solar	Velocidade do vento	Temperatura do ar ambiente no inverno	Temperatura do ar ambiente no verão
900 W/m ² ou 1000 W/m	0,6 m/s ou 1,0 m/s	+15°C	+35°C

5.3.3 Dimensionamento elétrico

Para o dimensionamento elétrico, é relevante o nível de poluição considerado para cada local. Isto é determinante para a escolha do material a ser utilizado na constituição dos condutores nus e para o comprimento mínimo de linha de fuga específica, em mm/kV, a ser observado entre fase e terra, especialmente ao longo dos isoladores ou cadeias de isoladores para a fixação de condutores nus.

Os valores de linha de fuga específica a considerar para os diferentes níveis de poluição são descritos na Tabela 10:

Tabela 10 - Valores comuns adotados para dimensionamento elétrico [E-REDES, 2022].

Classe	Nível de poluição	Linha de fuga específica mínima [cm/kV]
1	Fraco	1,6
2	Médio	2,0
3	Forte	2,5
4	Muito forte	3,1

5.4 Desenho técnico e dimensionamento

No âmbito de exemplo de dimensionamento, aborda-se a execução de uma linha de distribuição elétrica de média tensão com aproximadamente 0,236 km de extensão, detalhando as principais particularidades encontradas durante a sua projeção. O projeto consiste em três apoios, sendo que o primeiro apoio já se encontra no local e será adaptado para incluir uma derivação com uma armação do tipo HRFSC. O segundo apoio deverá ser colocado 123,85m da origem, pois é o considerado o melhor lugar para implantação, com aplicação em ângulo de 21,82 grados. Entre estes dois apoios, será realizada a travessia de uma autoestrada, para a qual foram planeadas quatro bolas de sinalização, conforme as normas de segurança vigentes. A linha será finalizada com um apoio de fim de linha equipado com um transformador, de ressaltar que o local não é definido por nenhuma das zonas com considerações especiais.

O condutor escolhido para esta linha é de 50 mm², dimensionado pelo ORD. O desenvolvimento do projeto foi realizado no software AutoCAD para a criação do desenho técnico, anexo E, enquanto os cálculos estruturais dos apoios, levando em consideração a altura, distâncias e ângulos, foram efetuados por meio de uma folha de cálculo, garantindo que todas as condições de segurança e eficiência fossem atendidas, anexo F.

5.4.1 Cabo

Na escolha do cabo e calculando a secção técnica e económica, alguns aspetos a ter em conta são os seguintes:

- Secção útil;
- Diâmetro do cabo;
- Fator de raio médio geométrico;
- Raio médio geométrico;
- Massa quilométrica;
- Peso unitário;

- Tração/Carga de rotura;
- Módulo de elasticidade final;
- Coeficiente de dilatação linear.

Estas características são fornecidas pelo fabricante do cabo, ver anexo G, e segue uma base standard com base de homologação pelo operador, os cabos normativos mais utilizados são os cabos do tipo ACSR (*Aluminium Cable Steel Reinforced*).

O núcleo de aço presente no cabo confere maior resistência mecânica em comparação ao alumínio puro, aumentando a capacidade de suportar tensões mecânicas elevadas e minimizando o risco de rotura. Além disso, o aço possui menor elasticidade e alongamento, o que reduz a dilatação térmica sob carga, diminuindo a "flecha" (desvio) do cabo, mesmo em condições de carga elevada, uma vantagem em relação aos cabos AAC (*All Aluminium Conductors*).

Outro ponto relevante é a proteção do núcleo de aço, que é frequentemente galvanizado ou revestido com materiais anticorrosivos, prolongando a vida útil do cabo ao reduzir os efeitos da corrosão. O cabo ACSR também é reforçado com aço, mas a sua temperatura de operação contínua é limitada a 75 °C. Apesar desta limitação, em aplicações que exigem temperaturas mais elevadas, pode-se optar por cabos ACSS (*Aluminium Conductor Steel Supported*), que suportam temperaturas de até 250 °C, graças à sua maior dependência da resistência do aço [ZMS, 2024].

5.4.2 Isolamento

O peso de uma cadeia de isoladores varia de acordo com o número de elementos que a compõem. Para determinar esse número, é necessário considerar o tipo de isolador escolhido, consultando a ficha técnica do mesmo, de onde se obtém informações sobre a linha de fuga. A seleção adequada do isolador também requer uma avaliação da zona de implantação da linha quanto ao nível de poluição presente [Rui Almeida, 2016].

Em termos de compósito do corpo isolante do isolador é fabricado e pode ser de porcelana, vidro, resina ou compósito, sendo que ao longo dos anos, a escolha residiu nos isoladores de porcelana, devido às boas propriedades isolantes que apresenta. No entanto, o seu fabrico é muito dispendioso, o que levou, a que nos últimos anos, houvesse uma crescente utilização dos isoladores de vidro, uma vez que estes foram progredindo tecnologicamente, possuindo, atualmente, materiais com melhores características de isolamento e maior robustez [João Verde, 2016].

Isoladores de Perfil Padrão:

Para o tipo de amarração simples, na Figura 32, são amplamente utilizados em linhas localizadas em áreas de baixa poluição, sendo reconhecidos pela sua boa performance. Esta eficiência deve-se às pequenas nervuras bem espaçadas, que garantem uma distância de escoamento superior ao exigido pelas normas IEC 60305 [IEC, 2021] e ANSI C29.2 [ANSI, 2013].



Figura 32 - Isoladores de Perfil Padrão (U70BS).

Isoladores de Perfil Anti-Poluição ou Anti-Neblina:

Com o tipo de amarração reforçada, Figura 33, é disposto de duas formas distintas para zonas com média e alta poluição. Estes isoladores possuem uma distância de escoamento aumentada, que supera os requisitos da norma IEC 60305 [IEC, 2021]. Graças às nervuras

mais profundas, é possível mitigar os efeitos da poluição sem que seja necessário aumentar a altura da cadeia de isoladores.



Figura 33 - Isoladores de Perfil Antipoluição (U100BLP).

No caso deste projeto foi determinado o uso de Isoladores de Perfil Antipoluição e tipo de amarração reforçada, mais especificamente do tipo U100BLP.

5.4.3 Dispositivos de nidificação

É necessário considerar, conforme a localização, a instalação de dispositivos anti poiso e anti nidificação nos apoios de linhas até MT, Figura 34, visa dois principais objetivos [E-REDES, 2021]:

- Prevenir o poiso de aves de médio e grande porte, bem como a nidificação da cegonha-branca, reduzindo o risco de eletrocussão. Isto protege as aves de possíveis acidentes ao entrar em contato com os cabos ou componentes da rede elétrica;
- Evitar o contornamento das cadeias de isoladores, que pode ser causado pela acumulação de materiais como dejetos ou objetos usados na construção de ninhos. Isso ajuda a prevenir falhas no sistema, melhorando a qualidade do serviço elétrico ao minimizar os impactos negativos que estes detritos podem causar na operação das linhas.



Figura 34 – Dispositivo do tipo guarda-chuva.

5.4.4 Planta de localização e desenho técnico

Nesta fase, apresenta-se a planta de localização, sendo o objetivo da mesma identificar o traçado da linha, com isso analisa-se o mapa topográfico no âmbito de posicionar os apoios e garantir a conformidade com os limites e características geográficas da área de implantação.

Numa fase em que as localizações dos apoios já estão aferidas, a partir de observação no terreno e com a autorização de proprietários, pode-se fazer o desenho inicial, podendo-se assim verificar a planta de localização com a marcação dos apoios em linha, como pode ser visto na Figura 35:

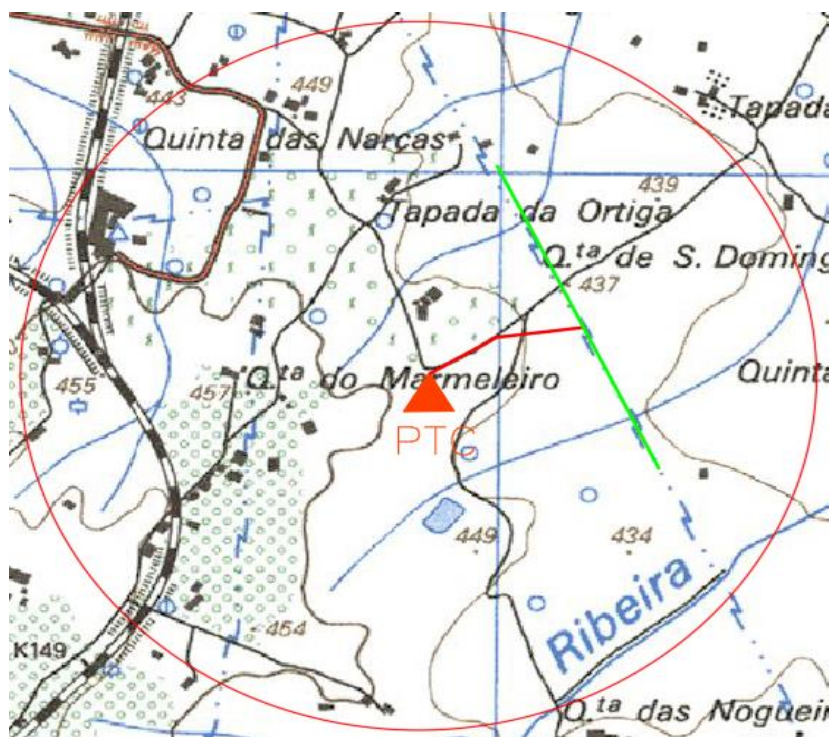


Figura 35 - Planta de localização da linha a executar, a vermelho.

Com os dados das cotas do terreno verifica-se então as distâncias entre a linha e objetos e/ou solo que podem ser observadas na Tabela 11, que são calculados dependendo da tensão na linha, sendo que para 30kV:

Tabela 11 - Distâncias regulamentares [RSLEAT, 1992].

Distância ao solo	6,15m
Distância dos condutores a árvores	2,225m
Distância dos condutores a cursos de água não navegáveis	6,15m
Distância dos condutores a edifícios	3,225m
Distância dos condutores a obstáculos diversos	2,225m

Observa-se assim com estes dados que a distância mínima do condutor ao chão, no projeto é de 35 metros, na zona do círculo da Figura 36, o que garante que a linha esteja em conformidade com as distâncias mínimas regulamentares vigentes.

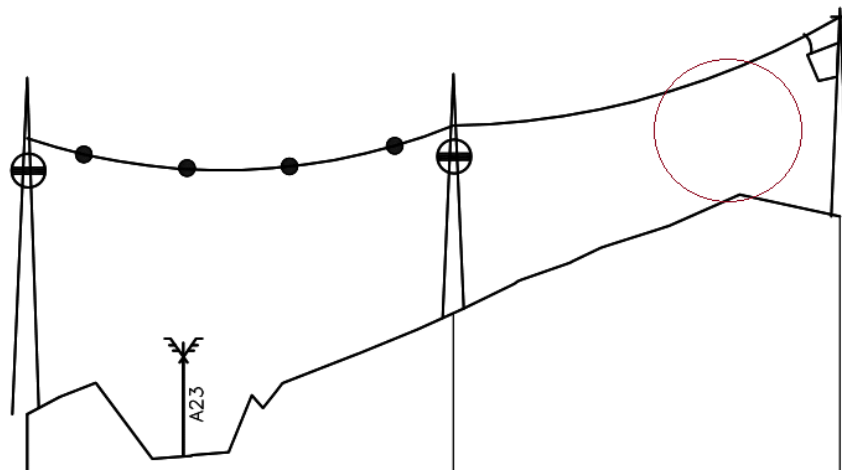


Figura 36 - Distância mínima entre vão e solo.

5.4.5 Parâmetros de cálculo

É importante destacar que alguns parâmetros essenciais para o dimensionamento completo da linha, como potências, quedas de tensão, dimensionamento dos cabos, armações a utilizar, entre outros, não foram considerados neste estudo. Isto ocorre porque tais informações são fornecidas diretamente pelo D.O. (Dono da Obra), sendo este a colocar todos os envolvidos a par de todos estes temas e possíveis alterações, a responsabilidade do projetista é da realização do desenho técnico, cálculo dos apoios e a análise dos esforços envolvidos.

Os parâmetros de cálculo são focados nos apoios e esforços envolvidos na linha, são calculadas através de folha de calculo, considerando diferentes hipóteses, como vento perpendicular à linha e sem vento. Os pontos a baixo fornecem uma visão detalhada de

diversos parâmetros relevantes para o dimensionamento dos apoios e dos condutores em diferentes condições.

Parâmetros do Condutor:

Verifica-se, os principais parâmetros do condutor utilizados no cálculo dos esforços e especificações da linha de média tensão. Estes parâmetros são fundamentais para entender o comportamento mecânico do condutor e sua interação com os apoios:

- Área da seção transversal do condutor;
- Diâmetro do condutor;
- Peso por unidade de comprimento do condutor.

Esforços e Trações:

São listados os esforços e trações que o condutor exerce sobre os apoios. Estes parâmetros são cruciais para dimensionar adequadamente os apoios e garantir a estabilidade da linha sob diferentes condições de carga:

- Esforço aplicado ao condutor devido ao vento;
- Coeficiente que reduz a ação do vento no condutor;
- Coeficiente que considera a aerodinâmica do condutor;
- Coeficiente que considera a aerodinâmica do condutor;
- Força máxima que o condutor exerce sobre os apoios;
- Tração máxima por unidade de comprimento;
- Rigidez do condutor em fase inicial de carga;
- Rigidez do condutor em fase final de carga.

Sobrecargas e Dilatação:

Os parâmetros nos pontos a seguir, referem-se às sobrecargas e à dilatação térmica do condutor, importantes para prever como o condutor se comportará em diferentes condições ambientais e de carga:

- Coeficiente representando sobrecarga em condições HI (*High Intensity*);
- Coeficiente representando sobrecarga em condições HP (*High Pressure*);
- Coeficiente que prevê a variação do comprimento do condutor.

Cargas e Pressões:

Aqui observa-se os parâmetros para as cargas e pressões, fornecendo informações sobre as cargas e pressões que atuam sobre o condutor. Compreender estes parâmetros é essencial para avaliar o impacto das forças externas, como o vento, na estrutura da linha:

- Carga unitária aplicada ao condutor sem vento;
- Pressão do vento em condições HI;
- Pressão do vento em condições HP.

Tensões:

Os parâmetros apresentados para as tensões, são relacionados às tensões mecânicas no condutor. São fundamentais para garantir que o condutor seja instalado corretamente, evitando tensões excessivas que possam comprometer a estabilidade da linha:

- Tensão aplicada ao condutor durante a instalação;
- Tensão do condutor a uma temperatura de 15°C;
- Temperatura durante a instalação, que afeta a tensão residual.

As armações e os condutores associados, bem como a ação do vento sobre a armação, são fatores que contribuem para os esforços totais que os apoios devem suportar. Para finalizar, as hipóteses de vento são consideradas para simular diferentes cenários de carga, como vento paralelo ou perpendicular à bissetriz do ângulo da linha principal, sendo estes cenários, para calcular os esforços máximos em situações reais. Todos estes fatores são somados para calcular os esforços totais, garantindo que os apoios sejam

dimensionados para suportar as cargas previstas em diferentes condições a folha de cálculo utilizada para o cálculo dos apoios, pode ser vista no anexo F.

Como foi verificado na secção 4.11 do capítulo 4: “em áreas de servidão de autoestradas, itinerários principais e complementares, existem especificidades quanto à balizagem dos cabos e apoios, dependendo se cruzam ou não as vias que podem ser consultadas”. Foi definida a necessidade de colocação de balizagem devido à passagem por autoestrada, a Figura 37 mostra o desenho das bolas no projeto.

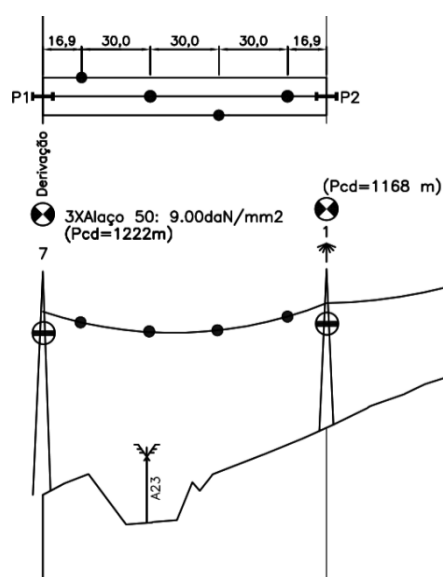


Figura 37 - Bolas de sinalização em desenho técnico.

Em linhas com mais de um plano de colisão, como nas disposições em galhardete ou em esteira vertical, os sinalizadores devem ser alternados nos cabos nus de fase. Assim, o afastamento aparente entre os sinalizadores não deve exceder 10 metros, resultando numa distância de 30 metros entre os sinalizadores em cada cabo nu [E-REDES, 2021].

6 Procedimentos de execução

Os procedimentos de execução são feitos de acordo com as normas definidas em cadernos de encargos sendo com efeito a respeitar exigências do D.O., a AMD na qualidade de empreiteiro, nunca pode contrariar os procedimentos definidos em regulamentos e normas como definido anteriormente, devendo os trabalhos a executar ser regidos com base nos parâmetros como os Regulamentos de Segurança aplicáveis e as orientações da entidade concessionária, como “Projetos-tipo e Guias Técnicos, como os Projetos-tipo de PT Aéreos E-REDES para os tipos R100 e R250” [E-REDES, 2022], o “Guia Técnico de Terras, a Ligação de Clientes BT” [E-REDES, 2022] e a “Ligação de Postos de Transformação de Clientes MT” [E-REDES, 2021], devem ser seguidas [Manuel Bolotinha, 2020].

Qualquer proposta de alteração do projeto deve ser justificada previamente e contar com o acordo da entidade concessionária e da entidade licenciadora. Alterações em materiais ou equipamentos também devem ser propostas pelo Promotor e ter a concordância do D.O., que depois comunica aos empreiteiros.

O Promotor é responsável pela coordenação da montagem das redes de diversas infraestruturas, como água, saneamento, telecomunicações, gás e energia, para garantir que a instalação das infraestruturas elétricas ocorra logo após as de água e esgoto.

O Promotor é o único responsável pela reparação de danos às redes de energia causados pela instalação de outras infraestruturas ou trabalhos.

A ligação dos cabos subterrâneos MT só pode ser realizada por trabalhadores habilitados pelo D.O. e deve ser previamente coordenado.

O acompanhamento da obra será feito por um colaborador do ORD designado para o efeito, com livre acesso a todos os locais de trabalho. Trabalhos que possam interferir com instalações existentes do ORD ou de outros operadores requerem comunicação prévia ao ORD.

O ORD pode ordenar a suspensão dos trabalhos caso não estejam sendo executados conforme as condições e especificações técnicas, devendo a situação ser corrigida com brevidade.

A execução faseada das infraestruturas elétricas só é permitida se estiver prevista no projeto e contemplada no “Alvará de loteamento/urbanização” [E-REDES, 2021].

6.1 Procedimentos de montagem

A montagem das Linhas Aéreas é um processo complexo que requer planejamento meticuloso e execução precisa. Este procedimento envolve uma série de etapas sequenciais que garantem não apenas a eficiência da instalação, mas também a segurança de todos os envolvidos. Desde o planejamento e reconhecimento inicial até a conclusão do projeto, cada passo é crucial para assegurar o funcionamento adequado da infraestrutura elétrica.

6.1.1 Reconhecimento do traçado e corredor ou faixa de proteção da linha

Utilizando a planta à escala 1/25.000 e o perfil da linha à escala 1/2500, o corredor funciona como uma zona de proteção para a linha aérea, assegurando a distância de isolamento de segurança entre a linha e a área circundante. Além disso, ele é utilizado para garantir a operacionalidade de todos os meios de montagem necessários na construção. Também serve como área designada para o armazenamento de equipamentos e posteriormente para o acesso aos apoios durante as operações de inspeção e manutenção, tanto preventivas quanto corretivas.

Conforme estabelecido pelo RSLEAT, a largura máxima dos corredores ou faixas de proteção de LAMT é 15 metros (7,5 metros para cada lado do eixo da linha) [Manuel Bolotinha, 2020].

6.1.2 Piquetagem da linha

Piquetagem consiste na localização, no terreno dos pontos de implantação dos apoios definidos sobre o perfil da linha. Isso é realizado através da medição e transmissão de alinhamentos e da medição de vãos.

A definição dos alinhamentos é feita utilizando um taqueómetro (ou estação total) ou GPS, ou ainda uma combinação de ambos. Este processo envolve o uso de marcas ou estacas já estabelecidas no terreno, que demarcam os diversos vértices e pontos dominantes do traçado da linha como mostrado na Figura 38. Estes pontos serviram como base para o levantamento do perfil longitudinal da linha [Manuel Bolotinha, 2020].



Figura 38 - Estacas de demarcação.

6.1.3 Apoios

Os apoios utilizados pelo ORD no caso das linhas de distribuição podem ser metálicos ou de betão armado. A escolha de um apoio depende de vários fatores:

- Local onde vai ser implantado;
- Económicos;
- Esforços a que vai estar sujeito;
- Altura do apoio;

- Apoios disponíveis.

Atualmente são adotados preferencialmente apoios de betão, pois apresentam um custo muito inferior a um apoio metálico, requerem menores dimensões para os respetivos maciços, o que resulta numa área de expropriação menor. Como os maciços representam cerca de 30 % do custo total de uma obra, uma menor dimensão dos maciços resulta numa diminuição do custo global da obra [André Granja, 2017]. Os apoios de betão apresentam, no entanto, algumas desvantagens. Quando o acesso ao local é muito difícil, torna-se mais prático utilizar um apoio metálico pois este pode ser transportado e montado por tramos no local. Outra das desvantagens que um apoio de betão apresenta é que a partir dos 22 metros de altura requer um transporte especial com escolta policial, acrescentando mais esses custos ao custo global do projeto.

A partir de determinada altura e determinados esforços não é possível utilizar apoios de betão, sendo necessário recorrer então a apoios metálicos.

Os apoios de betão são geralmente transportados em camiões, cujas características são adaptadas à quantidade de postes a serem transportados e à capacidade de descarregá-los no local designado. Estes camiões devem ser equipados com cavaletes fixos na caixa de carga, a fim de minimizar os esforços de flexão durante o transporte. Os postes devem ser colocados sobre os cavaletes e o leito do camião, alinhados de acordo com o seu maior momento de inércia. Além disso, a superfície de apoio deve estar no mesmo plano e ter uma área de apoio de, pelo menos, 25 cm², na Figura 39, pode-se ver um diagrama deste tipo de transporte [Manuel Bolotinha, 2020].

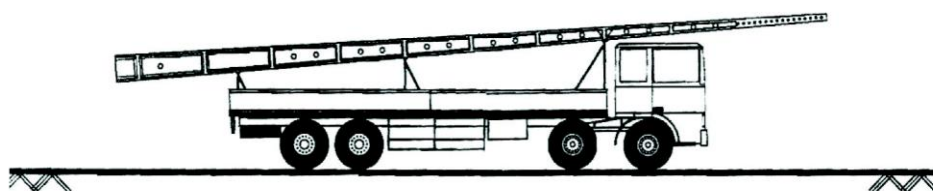


Figura 39 - Diagrama de transporte de apoio em camião.

6.1.4 Abertura das covas dos maciços de fundação dos postes

Com base nas estacas geolocalizadas colocadas no local, isto tudo de acordo com as coordenadas do projeto licenciado de onde deverá ter lugar cada apoio, em seguida, pode-se proceder para a execução da cova.

As covas para os maciços devem apresentar paredes verticais e seguir as dimensões especificadas nos desenhos correspondentes. No entanto, é permitido que a profundidade das covas sofra ligeiras variações, se necessário, para melhor adaptar o apoio ao terreno. Esta flexibilidade na profundidade da cova permite uma adequação mais precisa às características do terreno local, garantindo uma instalação mais segura e estável do maciço. O fundo das covas deve ser mantido no estado natural do terreno, perfeitamente regularizado e horizontal como mostra a Figura 40.

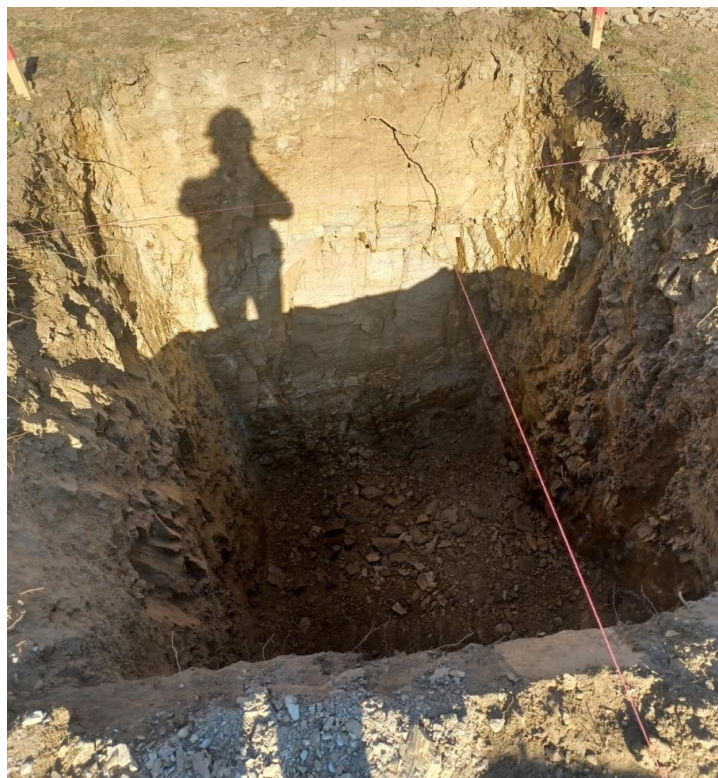


Figura 40 - Cova aberta, para colocação de apoio.

Depois de aberta a cova, a mesma deverá estar identificada e protegida com baias, para proteção da população em geral e deverá ser agendado da forma mais célere o possível a

betonagem do maciço, que deverá ser feita para apoios MT com betão seco, o tipo de betão a utilizar deverá ter em conta a proximidade em orla marítima, zonas de grande salinidade e neve, se nenhum destes se verificar, é utilizado o betão C25-30, recomendado para as fundações das linhas aéreas, a resistência característica obtida num ensaio a um provete normalizado cilíndrico com diâmetro de 150 mm e altura de 300 mm, deverá ser de 25 MPa, enquanto que a resistência característica obtida num ensaio a um provete normalizado cúbico com aresta de 150 mm, deverá ser de 30 MPa, deverá ser testado a partir de ensaio com a Execução de 4 provetes de acordo com o protocolo de ensaios: DPE-C11-401/N [EDP, 2020], sendo recomendado 4 provetes por apoio, (2 aos 7 dias e 2 aos 28 dias) e envio dos respetivos resultados dos ensaios de identidade de betão até 5 dias úteis após a realização dos mesmos (executados em laboratório acreditado de ensaios de betão, de acordo com as normas EN 12350-1, EN 12390-2 e EN12390-3) [Manuel Bolotinha, 2020].

6.1.5 Arvoreamento e montagem dos postes e armações

No processo de instalação dos postes de betão, o maciço de fundação é executado imediatamente após o seu arvoreamento e verticalização. Geralmente, os postes de betão são erguidos com o auxílio de um camião com grua hidráulica ou, preferencialmente, com uma auto-grua hidráulica telescópica como mostra a Figura 41.

Antes da elevação, várias operações preparatórias deverão ter sido realizadas:

- Limpeza da cova de quaisquer resíduos como terra ou pedras;
- Cravação de quatro estacas de ancoragem no solo, dispostas em cruz e paralelas aos eixos longitudinal e transversal do apoio, com a ancoragem de quatro tirfors a cada uma;
- Amarração de pelo menos duas espigas na cabeça do poste, com comprimento suficiente para passar pelos tirfors e serem tracionadas por eles;
- Colocação de um estropo forte o suficiente para suportar o peso do poste, posicionado ligeiramente acima do centro de gravidade do poste, que geralmente

está localizado a cerca de um terço da sua altura total a partir da base. O estropo deve ter guarnições macias para evitar danos ao betão nas abas do poste;

- As armações metálicas que serão montadas no poste devem ser posicionadas no terreno para a sua fixação no início da elevação.

Depois do poste ser erguido e alinhado corretamente na cova, procede-se ao vazamento do betão para a construção do maciço de fundação. Após a execução do maciço, todo o equipamento utilizado na montagem, como a grua, estropos, roldanas e estacas de ancoragem, exceto as espigas de ancoragem na cabeça do poste e respectivas estacas, deve ser retirado.

Posteriormente, é feita a ligação das travessas e armações ao elétrodo de terra, utilizando um cabo de cobre nu de 35 mm². Finalmente, após serem erguidos e alinhados na posição final, os postes devem ser estaiados até que o betão do maciço tenha curado completamente [Manuel Bolotinha, 2020].

A colocação de apoio é verificada a partir de modelo de contrato de empreitada que pode ter algumas das seguintes obrigações como definido, como por ex.:

- Meios humanos e materiais necessários à realização da atividade.
- Transporte do pessoal, materiais e equipamentos necessários à realização da atividade.
- Sinalização dos trabalhos de acordo com a legislação em vigor.
- Confirmação da consignação da instalação, se necessário.
- Contacto com o fornecedor para definição da data e do local de entrega.
- Receção dos postes no local de entrega, acessível a camião e assinatura das guias de remessa no ato de descarga, incluindo os
- meios materiais e humanos necessários à realização da atividade.
- Entrega das guias de remessa assinadas.
- Transporte do poste desde o local de entrega, até ao local da sua implantação.
- Reparação de danos no betão e superfície do poste.
- Arvoramento, aprumagem e espiamento do poste para garantir a sua verticalização.
- Enchimento e compactação da cova no caso de não ser necessário a execução de maciço.

- Fornecimento e colocação de placa de sinalização com o número do poste para rondas aéreas, se necessário.
- Fornecimento de:
 - parafuso hexagonal com porca A8.8 m10*45;
 - tinta.
- Montagem de dois elétrodos de terra tipo vareta e abraçadeiras, nas condições regulamentares:
 - abertura e tapamento de vala com 3 m de comprimento e 0,80m de profundidade, se necessário;



Figura 41 - Levantamento de apoio com caminhão grua.

6.1.6 Montagem das cadeias de isoladores, pinças e roldanas

Os isoladores suspensos são constituídos pelos seguintes componentes principais:

- Um dielétrico feito de vidro temperado, com formas e características adequadas às condições ambientais em que será instalado;
- Um capuz metálico fundido, fabricado em metal maleável dúctil ou nodular, galvanizado a fogo;
- Uma haste ou pino de aço forjado, também galvanizado a fogo;

- O capuz e a haste são fixados à peça de vidro por meio de cimento aluminoso, capaz de suportar as tensões termomecânicas;
- O capuz inclui um mecanismo de travamento, como uma cupilha de aço inoxidável ou bronze fosforoso, que assegura o acoplamento das unidades isoladoras [Hubbel, 2016].

Na montagem das cadeias de isoladores, pinças de amarração e roldanas, o procedimento varia dependendo do tipo de poste utilizado.

Nos postes de betão, a elevação das cadeias de suspensão, fixações nos braços do poste ou nas armações são normalmente realizadas durante o arvoreamento do poste. No entanto, se a cadeia for de amarração deverá ser realizada depois de o poste estar devidamente arvorado e realizada a consolidação do betão.

Depois de se verificar a consolidação do apoio arvorado são colocadas as roldanas, que não são fixadas na extremidade das cadeias nos postes com cadeias de amarração. Em vez disso, elas são fixadas nos ganchos dos braços, onde posteriormente serão fixadas as cadeias de amarração, como mostra a Figura 42.



Figura 42 - Fixação de cadeias de amarração.

As roldanas são feitas de aço e têm uma estrutura dotada de chapa amovível para facilitar a colocação e remoção do cabo. Elas devem ter uma gola profunda para evitar o galgamento do cabo, forradas interiormente com neoprene e com uma profundidade não inferior a 1,2 vezes o diâmetro do cabo. O diâmetro das rodas, medido no fundo da gola, deve ser igual ou superior a 23 vezes o diâmetro exterior do cabo que desenrola [Manuel Bolotinha, 2020].

6.1.7 Montagem de condutores

A montagem dos cabos condutores segue um procedimento específico, envolvendo o uso de equipamentos adequados e medidas de segurança. Segue um resumo de todo o procedimento para colocação dos condutores:

- Preparação dos meios auxiliares de montagem:

Além das bobinas de cabos e das roldanas, são necessários outros equipamentos, como uniões destorcedoras, mordentes, mangas elásticas terminais e de junção, tirlfors e *pull-lifts*.

- Trabalhos preparatórios e operação de desenrolamento de cabos:
 - a) Distribuição estratégica das bobinas de cabo ao longo da linha, de acordo com o plano de distribuição;
 - b) Posicionamento do cabrestante e das bobinas nos extremos do primeiro cantão, com os cavaletes de suporte;
 - c) Estendimento manual do cabo guia ao longo do traçado, passando por todas as roldanas e postes do cantão;
 - d) Conexão do cabo guia ao cabo a desenrolar na bobina e ao cabrestante;
 - e) Início do desenrolamento com cuidado e comunicação entre a equipa de desenrolamento;
 - f) Se houver desenrolamento de duas bobinas, a ponta final da primeira é estropada e ligada à ponta inicial da segunda;
 - g) Após o desenrolamento, as extremidades dos cabos são estropadas ao solo ou aos postes mais próximos;
 - h) O procedimento é repetido nas restantes fases da linha.

Em áreas montanhosas existem considerações especiais, onde um apoio pode ficar a uma cota muito inferior aos apoios adjacentes, são necessárias medidas adicionais de segurança. Isso inclui a instalação de roldanas de retenção ancoradas ao solo para evitar o escape do cabo tensor da gola da roldana, o que pode resultar em acidentes graves durante o desenrolamento.

Estas etapas garantem um processo seguro e eficiente de montagem dos cabos condutores e do cabo de guarda nas linhas MT [Manuel Bolotinha, 2020].

6.1.8 Regulação dos cabos

A regulação dos cabos pode ser feita por métodos óticos, como a medição da flecha, ou pela medida da tensão de colocação nos vãos constantes do projeto. Deste modo, explica-se seguidamente cada um dos métodos e as considerações envolvidas:

- Método da medição da flecha:
 - Este é o método mais comum, também conhecido como método da visada;
 - Utiliza-se equipamento topográfico, como uma luneta de retículo e um alvo, fixados nos apoios;
 - A luneta e o alvo são posicionados à mesma distância vertical dos pontos de suspensão dos cabos sobre a estrutura;
 - A linha de visada é paralela à corda da curva do cabo a regular. Quando os cabos estão tangentes à linha de visada, estão tensionados no valor desejado;
 - Durante a regulação, um observador fornece indicações por rádio ao operador do equipamento de tração (tirfor), que ajusta a tração no cabo conforme as instruções recebidas;
 - A regulação termina quando as flechas estão dentro das tolerâncias nos vãos de regulação e de confirmação;
 - Em dias de vento ou variações bruscas de temperatura, a regulação não deve ser realizada.
- Método da medida da tensão de colocação:
 - Utiliza-se dinamómetros calibrados para medir a tensão nos cabos;
 - Este método pode ser feito em vãos próximos do tensionamento devido ao atrito nas roldanas, mas é menos preciso em vãos mais distantes;
 - Este método pode ser feito em vãos próximos do tensionamento devido ao atrito nas roldanas, mas é menos preciso em vãos mais distantes;
 - Recomenda-se para secções de regulação com um pequeno número de vãos.

- Tolerâncias admissíveis:
 - As tolerâncias para afastamentos entre as flechas teóricas e as medidas são definidas, geralmente entre -2,5% e +1,5%, com valores máximos absolutos;
 - A diferença de flechas entre cabos no mesmo vão e entre cabos de fases diferentes também tem limites específicos.

Além disso, durante a regulação, os cabos devem permanecer ligados à terra, em média a cada 4 apoios, através de uma ligação franca, até que os condutores estejam fixados.

Estes métodos garantem que os cabos sejam tensionados adequadamente e dentro das tolerâncias especificadas para garantir o desempenho seguro e eficaz das Linhas Aéreas [Manuel Bolotinha, 2020].

6.1.9 Fixação e ligação de cabos

Após decorridas 48 horas desde a conclusão da operação de regulação do cantão, os cabos condutores podem ser libertados das roldanas. Nos apoios de suspensão, são fixados nas respectivas pinças de suspensão, enquanto nos apoios de amarração, são ancorados nos braços ou travessas através das cadeias de isoladores de amarração. Nas extremidades, são então fixados nas pinças terminais de aperto por parafusos.

Os ligadores devem ser escolhidos de acordo com o material dos condutores (cobre, alumínio-aço, ligas de alumínio, etc.) e as suas secções, alguns dos tipos de ligadores podem ser vistos na Figura 43. A montagem deve seguir rigorosamente as instruções do fabricante, especialmente em relação ao binário de aperto dos parafusos e à posição relativa dos cabos [Manuel Bolotinha, 2020].

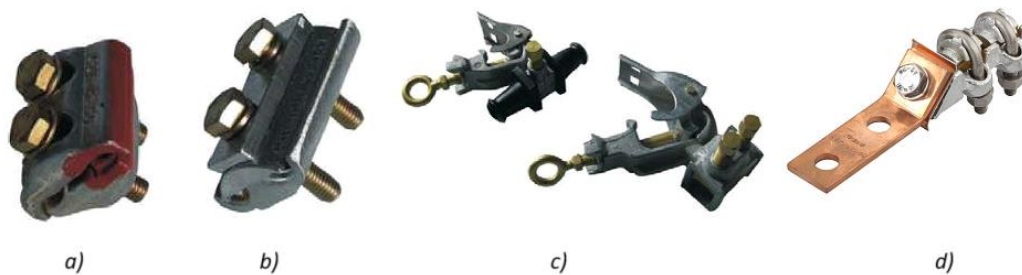


Figura 43 - a) Ligador bimetálico; b) Ligador paralelo para condutores em alumínio; c) Ligador de bico móvel; d) Ligador de estribo.

O aperto dos parafusos deve ser feito com chaves dinamométricas calibradas para evitar deformações permanentes nos cabos devido a um aperto excessivo ou insuficiente. No caso de ligadores com mais de um parafuso, o aperto deve ser alternado para garantir uma distribuição uniforme da pressão.

Para secções maiores, são usados ligadores de cravação, que requerem uma prensa de cravar calibrada e matrizes compatíveis com as dimensões do ligador.

Nas ligações entre cabos de alumínio e cobre, para evitar a corrosão eletrolítica, especialmente em instalações externas expostas à água, devem ser utilizados ligadores bimetálicos. A placa bimetálica deve ser protegida por uma pintura betuminosa para evitar a infiltração de água [Manuel Bolotinha, 2018].

É essencial que as superfícies de contato dos cabos estejam limpas de qualquer contaminação ou oxidação ao aplicar o ligador. Isto pode ser feito escovando os cabos na zona de contato com escovas apropriadas.

As junções entre cabos não devem ser feitas muito próximas dos postes para evitar danos devido a vibrações intensas. Sempre que possível, as junções devem ser colocadas nos arcos condutores entre cadeias de amarração.

No caso de derivações, geralmente é montada uma armação para derivação, ligada ao circuito de terra do poste. A linha derivada sai numa esteira horizontal e as cadeias de

amarração da linha derivada são ligadas à armação por meio de alongadores [Manuel Bolotinha, 2020].

6.1.10 Montagem das bolas de sinalização

A montagem das bolas de sinalização nos cabos pode ser realizada a partir de utilização de escada de alumínio com duas rodas de alumínio assentes no cabo. É importante que a escada possua um sistema que permita a travagem para garantir a segurança durante o trabalho.

As bolas a serem montadas podem estar suspensas na escada ou podem ser elevadas do solo usando uma roldana de serviço. O espaçamento entre as bolas pode ser determinado através de marcações no solo e indicação das respectivas prumadas.

Em alguns casos, especialmente em linhas aéreas muito longas, são utilizados métodos alternativos. Por exemplo, pode-se usar uma bicicleta especialmente projetada para trabalhos em linhas aéreas, que também pode ser usada para percorrer a linha, Figura 44. Outra opção é o uso de um cesto com roldanas para facilitar o trabalho de montagem das bolas de sinalização [Manuel Bolotinha, 2020].



Figura 44 - Uso de bicicleta para fixação de bolas de sinalização [Manuel Bolotinha, 2020].

6.1.11 Seccionamento e corte

As ligações elétricas dos seccionadores e interruptores-seccionadores deverão ser executadas utilizando cabo coberto de secção igual ou equivalente à secção da linha principal, na Figura 45, trabalhos com seccionador com as facas abertas.



Figura 45 - Seccionador de facas aberto, para trabalhos em posto de transformação do tipo AII.

A preparação das pontas do cabo coberto será realizada com uma faca de corte rotativa para remover o isolamento, garantindo que os fios de alumínio da camada exterior do cabo não sejam danificados. Ao ligar os seccionadores/interruptores-seccionadores à linha, é importante evitar que os arcos exerçam esforços mecânicos excessivos devido ao peso próprio dos cabos e à ação do vento sobre eles, alguns dos aspetos construtivos a ter em conta na execução são:

- O arco da fase do meio pode ser fixo com cadeia de suspensão ou isolador polimérico na horizontal;
- Aplicar massa neutra na parte desnudada do cabo coberto para reduzir incidentes.
- Em alternativa ao cabo coberto, pode aplicar a "manga protetora" conforme o DFT-C11-310 em situações existentes [EDP, 2020];

- Ao preparar as pontas do cabo coberto, utiliza-se preferencialmente uma faca de corte rotativa para remover o isolamento, garantindo que não danifica os fios de alumínio externos;
- Interligar as armações, seccionadores, ferragens de suporte dos DST e outras ferragens com fio de cobre nu de 16 mm², ligando tudo ao terminal de terra superior do poste. Nos apoios metálicos, estas ligações não são necessárias.

As plataformas de manobra ou de equipotencialidade são instaladas na base dos postes das linhas MT que possuem seccionadores de linha, tanto horizontais (na cabeça do poste) quanto verticais (no corpo do poste), e equipamentos de *recloser* automático (OCR), para facilitar as operações de abertura e fecho.

Estas plataformas devem ser posicionadas na base dos postes e parcialmente apoiadas no respetivo maciço. Elas são pré-fabricadas em betão e possuem armadura constituída por arame de 4 mm de diâmetro, disposto em malha de 20x20 mm, com dimensões de 1000x700 mm.

Nos postes equipados com OCR, uma plataforma de manobra é montada, a parte da plataforma que não está apoiada no maciço do poste é assente numa fundação própria, com espessura de 20 cm, feita com enrocamento de pedra comprimida a maço. A execução deste trabalho coincide com a betonagem do maciço do poste. O topo do maciço da plataforma fica 10 cm acima das dimensões da própria plataforma, e a placa da plataforma pré-fabricada é assentada sobre este maciço de forma que fique elevada em relação a ele por pelo menos 3 mm. As varas de manobra destinadas ao comando do seccionador são habitualmente em tubo galvanizado, da série média de diâmetro 1” [Manuel Bolotinha, 2020].

7 Fiscalização

O acompanhamento da equipa de fiscalização pode ser definido pelo D.O., em que são aferidos os controlos de custos, prazos e qualidade técnica de execução de projeto.

A composição da Equipa de Fiscalização e as qualificações dos técnicos supervisores, geralmente designados por Fiscais, dependem das características específicas da obra, incluindo o tipo, o volume e os requisitos técnicos.

O chefe da equipa de fiscalização, que deve ser um Engenheiro Eletrotécnico com experiência comprovada nesta área, é normalmente denominado Diretor de Projeto (DP). O responsável pela supervisão da segurança no local da obra, o Coordenador de Segurança (CS) deve possuir a classificação de Técnico Superior de Segurança, com certificado de aptidão profissional (CAP) de nível 6 a 8.

Na construção de linhas elétricas, para além do DP e do CS, a Equipa de Fiscalização deve incluir o número adequado de fiscais especializados em construção civil e eletromecânica, para cada tipo de tarefa [Manuel Bolotinha, 2020].

É importante observar que a classificação CAP nível 6 a 8 é concedida apenas a detentores de doutoramento, mestrado ou licenciatura nas áreas de segurança no trabalho e saúde ocupacional, ou a profissionais com outras qualificações que tenham concluído com êxito o curso de formação inicial de Técnico Superior de Segurança no Trabalho ministrado por uma entidade certificada pela ACT, conforme estabelecido na Lei 42/2012 de 28 de agosto [PGL, 2012].

7.1 Equipa de fiscalização

De uma maneira geral, compete à equipa de fiscalização, a supervisão minuciosa e verificação rigorosa do cumprimento exato do projeto, contrato, condições especiais e plano de trabalhos em vigor. Esta responsabilidade abrange várias tarefas, como assegurar que a obra está a ser executada de acordo com as especificações fornecidas à AMD, avaliar a precisão do projeto em conjunto com o empreiteiro, especialmente no que diz respeito às características do terreno, e aprovar os planos de implementação da obra e os

materiais a serem utilizados, assim como os respectivos relatórios de ensaio, quando necessário.

Além disso, é incumbência da equipa de fiscalização monitorizar o progresso do projeto, verificar as suas dimensões e a forma como os trabalhos estão a ser executados, garantindo também as condições de segurança de acordo com o plano de segurança e saúde (PSS).

A equipa multidisciplinar tem também a responsabilidade de controlar o cumprimento dos prazos estipulados contratualmente, efetuar medições necessárias para avaliar o avanço dos trabalhos, verificar se há violações ao contrato e às leis aplicáveis, bem como se os trabalhos estão a ser realizados na sequência e com os recursos estabelecidos no plano correspondente.

Adicionalmente, o D.O. deve comunicar ao fiscal da AMD quaisquer alterações no plano de trabalhos, aprovar propostas submetidas, relatar ao diretor de obra todas as questões relevantes levantadas, com acordo prévio deste, e tomar medidas para garantir o bom andamento dos trabalhos, a sua qualidade e segurança, além de facilitar as medições necessárias.

Para desempenhar eficazmente estas funções, a equipa de fiscalização precisa de ter acesso a uma série de documentos importantes, tais como o contrato e os seus aditamentos, o projeto de execução aprovado (na sua última revisão), e um programa de trabalhos atualizado, que não só inclua o planeamento das atividades com um cronograma de trabalhos, com exemplo no anexo H, mas também indique os recursos humanos, maquinaria e outros meios necessários à execução dos trabalhos [Manuel Bolotinha, 2020].

7.2 Inspeção e ensaios

O Plano de Inspeção e Ensaio (PIE), preparado pelo projetista da Líder da Autoridade, que pode ser o D.O. ou alguém contratado por ele, deve fazer parte das Condições Especiais (CE) do projeto. O seu objetivo é estabelecer as inspeções e testes necessários

para os equipamentos e sistemas da Sociedade Executora (SE), tanto na fábrica (FAT) como no local da obra (SAT). Este plano é complementado pelo Empreiteiro, que o submete à aprovação do D.O. ou de um representante designado por ele [Manuel Bolotinha, 2020].

Os PIEs submetidos pelo Empreiteiro devem incluir, no mínimo, os seguintes pontos:

- 1) Identificação do equipamento, sistema ou instalação sujeito ao PIE.
- 2) Identificação do local (empresa e morada) onde serão realizadas as inspeções e os ensaios.
- 3) Lista dos documentos de referência, como especificações técnicas, normas aplicáveis, etc.
- 4) Sequência das inspeções/ensaios.
- 5) Lista das atividades de controlo, especificando para cada uma:
 - a) Método/procedimento de inspeção/ensaio;
 - b) Equipamento de teste e medição;
 - c) Critérios de aceitação/rejeição;
 - d) Registo da inspeção/ensaio;
 - e) Identificação do responsável pela realização da inspeção/ensaio;
 - f) Ação corretiva (se necessário);
 - g) Presenças necessárias na inspeção/ensaio;
 - h) Data da inspeção/ensaio;
 - i) Identificação e assinatura do responsável pela realização da inspeção/ensaio;
 - j) Condições em que a inspeção/ensaio decorreu, se relevantes para o resultado;
 - i) Identificação e assinatura do aprovador do resultado da inspeção/ensaio.

6) Lista de outros registos ou documentos necessários para comprovar a execução do PIE.

Os prazos para entrega do PIE e, eventualmente, das Especificações de Equipamento (EE), devem ser acordados com o D.O.

7.3 Acompanhante de obra

Os acompanhantes de obra têm a responsabilidade de acompanhar de forma contínua os trabalhos, garantindo a conformidade com RSLEAT e/ou o Regulamento de Segurança e Requisitos de Desempenho de Estruturas de Engenharia de Betão (RSRDEEBT), o Plano de Execução (PE) aprovado e as melhores práticas, assegurando também que os equipamentos e materiais utilizados estão em conformidade com as Especificações Técnicas (ET) e as normas aplicáveis. Isso inclui a inspeção dos materiais e equipamentos da AMD, os ajustes orçamentais e de realização técnica da obra também poderão ser discutidos com o acompanhante, mas terão de ser aprovados pelo D.P.

Entre as várias ações a serem realizadas pelos acompanhantes de obra, destacam-se:

- Acompanhamento da demarcação da linha e marcação das covas;
- Verificação da abertura das covas e da cofragem, garantindo a sua correta colocação e o estado das madeiras;
- Supervisão das betonagens, incluindo a aprovação dos inertes, recolha de provetes para ensaios, e realização do teste de abatimento (*slump test*);
- Acompanhamento da montagem dos postes de betão ou base dos postes metálicos nas covas e seu chumbamento com betão;
- Acompanhamento da montagem das secções dos postes metálicos;

- Supervisão da montagem de correntes e cabos, garantindo o cumprimento dos procedimentos estabelecidos e verificando o esforço de tração, regulação e fixação dos cabos;
- Medição das deflexões da linha, comparando com os valores estabelecidos no PE;
- Medição da resistência de terra dos apoios;
- Inspeção e verificação da linha para garantir a conformidade com as especificações e se as correções solicitadas foram realizadas.

No caso de detecção de defeitos nos materiais, equipamentos ou execução incorreta dos trabalhos, o acompanhante deve abrir um Registo de Não Conformidade, que será entregue à AMD, após validação pelo Diretor de Projeto, para que as correções necessárias sejam implementadas [Manuel Bolotinha, 2020].

8 Segurança

Para a execução de atividade construtiva, estes tipos de trabalho apresentam riscos iminentes para os seus trabalhadores, sendo assim da responsabilidade das empresas, a necessidade primordial de assegurar a segurança no local de trabalho. Para isso, é essencial que a empresa adote uma série de medidas para proteger o seu pessoal:

- Criação de um departamento dedicado à Higiene, Segurança, Saúde e Ambiente (HSSA), responsável por todas as ações relacionadas com a segurança na empresa, e que inclua Técnicos de Higiene e Segurança (THS) devidamente qualificados;
- Conhecimento claro da legislação de segurança nacional e estrangeira, caso a empresa realize trabalhos em países terceiros, garantindo que todos os funcionários estejam cientes destas regulamentações;
- Formação e formação contínua para todos os funcionários em questões de segurança, com atualizações regulares para garantir a conformidade com as melhores práticas;
- Garantia de que todos os trabalhadores tenham o equipamento de proteção individual (EPI) necessário e disponibilização dos equipamentos de proteção coletiva (EPC) adequados para os trabalhos a serem realizados;
- Utilização de ferramentas e equipamentos de montagem apropriados e em bom estado de conservação;
- Realização de verificações regulares de alcoolemia e consumo de drogas entre os trabalhadores no estaleiro;
- Identificação e avaliação dos riscos associados às diversas tarefas;
- Elaboração do Plano de Segurança e Saúde (PSS) da obra, abordando de forma abrangente todas as questões relacionadas com a segurança;
- Estabelecimento de procedimentos claros para a execução das diferentes tarefas, incluindo a documentação necessária, de acordo com as normas da empresa.

Estas medidas visam garantir um ambiente de trabalho seguro para todos os envolvidos, priorizando a saúde e o bem-estar dos funcionários [Manuel Bolotinha, 2020].

8.1 Regras de Ouro

Todos os trabalhos em instalações elétricas devem ser executados por profissionais devidamente qualificados para o efeito. Os trabalhos com instalações em tensão só podem ser feitos por trabalhadores com habilitação para tal, que tenham recebido formação específica e que utilizem ferramentas homologadas para os TET (Trabalhos Em Tensão).

A segurança da execução do trabalho é garantida pela colocação fora de tensão e pela consignação elétrica da instalação, relativamente aos trabalhos a serem realizados, mantendo estado de consignação enquanto o trabalho não for concluído.

A consignação de uma instalação elétrica é normalmente atestada pela emissão de um Boletim de Autorização de Trabalhos.

De modo a garantir a segurança no trabalho, enquanto este decorrer é fundamental respeitar as seguintes regras, conhecidas como 5 Regras de Ouro, para os trabalhos fora de tensão, observa-se na Figura 46 [IFA, 2013]



Figura 46 - Cinco regras de ouro [O Instalador, 2020].

Sendo estas cinco regras definidas:

- i. Cortar a alimentação separando (isolar) completamente a instalação de todas as possíveis fontes de tensão;
- ii. Bloquear (proteger contra a religação) na posição de abertura todos os órgãos de corte ou seccionamento, ou adotar medidas preventivas quando tal não seja exequível;
- iii. Confirmar a ausência de tensão, depois de previamente identificada no local de trabalho a instalação colocada fora de tensão;
- iv. Ligar à terra e em curto-circuito;
- v. Delimitar a zona de trabalhos e proteger contra as peças em tensão adjacentes.

8.2 Plano de segurança e saúde

O Plano de Segurança e Saúde (PSS) é um documento essencial para a planificação e gestão da segurança e saúde nos estaleiros temporários ou móveis, sendo de vital importância para definir as regras de segurança e prevenir acidentes e doenças profissionais. Além disso, é um documento dinâmico que está em constante atualização, conforme a evolução da obra. Existem dois tipos principais de PSS: o PSS de projeto, que define, numa fase inicial, os aspetos relevantes relacionados com a segurança e saúde dos intervenientes; e o PSS de fase de obra, um desenvolvimento do Plano de Segurança e Saúde de projeto, contendo informações mais objetivas e detalhadas sobre os trabalhos a serem realizados em cada fase específica da obra. Este tipo de PSS é mais específico e prático, abordando as medidas de segurança adequadas para as tarefas a serem executadas em cada momento da obra. Ambos os tipos de PSS são essenciais para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores durante todo o ciclo da obra, desde a fase de planeamento até a conclusão do projeto.

O PSS é obrigatório em obras sujeitas a projeto e que envolvam trabalhos com riscos especiais, ou quando é necessário fazer a comunicação prévia da abertura do estaleiro à ACT – Autoridade para as Condições de Trabalho.

Esta comunicação prévia é exigida sempre que se preveja que a obra dure mais de 30 dias, que haja mais de 20 trabalhadores presentes simultaneamente em algum momento, ou quando se antecipe que a obra, mesmo que não seja contínua, tenha uma duração total superior a 500 dias [Manuel Bolotinha, 2020].

Nos casos em que não existe um Plano de Segurança e Saúde, mas os trabalhos apresentam riscos especiais, a entidade responsável pela execução deve elaborar Fichas de Procedimento de Segurança (FPS).

É importante salientar que o PSS não pode sobrepor-se nem substituir a legislação e normas vigentes relacionadas com a segurança e saúde, as quais têm sempre prioridade sobre o PSS.

Os principais objetivos do PSS, que deve ser desenvolvido tendo em conta os recursos humanos e materiais a serem utilizados na execução dos trabalhos, são:

- Identificar os riscos associados a cada fase ou tipo de trabalho da obra e definir os equipamentos de proteção e meios de montagem necessários;
- Definir e explicar a organização de segurança e sua gestão durante a execução dos trabalhos;
- Estabelecer o programa de formação e/ou formação dos trabalhadores.

Um princípio fundamental na organização do trabalho, refletido não apenas no conteúdo e estrutura do PSS, mas principalmente na minimização de acidentes, a aprovação e verificação de todos estes aspetos assim como aprovação do documento deverá ser realizada pelo Coordenador de Segurança em Obra (CSO).

O papel do Coordenador de Segurança em obra é fundamental para garantir que todas as entidades envolvidas na obra cumpram as regras e diretrizes estabelecidas no PSS ou nas FPS. Ele coordena a atividade de segurança e saúde, garantindo a comunicação e cooperação entre as diferentes partes envolvidas, e também supervisiona o cumprimento das normas de segurança.

Por outro lado, o Técnico de Segurança em Obra trabalha em colaboração com o Coordenador de Segurança em obra para definir as diretrizes que visam proteger a segurança e saúde dos trabalhadores. Além disso, ele é responsável por operacionalizar as atividades de prevenção e proteção contra os riscos profissionais, tanto no planejamento quanto na execução das tarefas no terreno. O Técnico também reporta suas observações e questões de segurança ao Coordenador de Segurança em obra, garantindo uma abordagem abrangente e eficaz para lidar com os riscos no local de trabalho.

A estrutura típica de um PSS inclui:

- I. Objetivo e âmbito.
- II. Caracterização da obra;
- III. Riscos associados ao meio envolvente;
- IV. Fases da obra e programa de execução dos diversos trabalhos;
- V. Riscos evidenciados e medidas de prevenção;
- VI. Riscos especiais (fases de trabalhos com riscos especiais; lista de materiais com riscos especiais);
- VII. Gestão e organização do estaleiro;
 - VII.i Organigrama funcional da empreitada;
 - VII.ii Difusão da informação sobre segurança;
 - VII.iii Auditorias de avaliação de riscos profissionais;
 - VII.iv Implantação do estaleiro de obras (localização; acessos ao estaleiro; vedações; instalações sociais e sanitárias; procedimentos em caso de emergência);
- VIII. Anexos – Lista de documentos associados.

De entre os documentos que constituem os Anexos do PSS referem-se os seguintes:

- Anexo I - Riscos associados ao meio envolvente;
- Anexo II – Fases da obra e programa de execução dos diversos trabalhos;
- Anexo III - Riscos evidenciados e medidas de prevenção (para todas as fases e operações do trabalho);
- Anexo IV – Lista de verificação de conformidade de segurança;
- Anexo V – FPS, Ficha de procedimento de segurança;
- Anexo VI – Registo de telefones de emergência.

Estes documentos são essenciais para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores durante a realização da obra.

8.3 Higiene e Segurança

O THS, ou Técnico de Higiene e Segurança, desempenha um papel crucial na implementação e manutenção de medidas de segurança no local de trabalho. De acordo com a legislação vigente, e dependendo da natureza dos trabalhos, é obrigatório que a AMD, mantenha em obra um ou mais THS, para:

- Avaliar os riscos associados à execução dos trabalhos:

Identificar os potenciais riscos de segurança e saúde no local de trabalho e desenvolver medidas preventivas adequadas para mitigar esses riscos;

- Propor ao D.O. o desenvolvimento e adaptações do PSS:

Com base na avaliação de riscos e nas condições de trabalho, o THS sugere ao CSO alterações ou ajustes no PSS quando necessário, garantindo a eficácia e abordagem de todas as questões pertinentes à segurança;

- Divulgar e fazer cumprir o PSS:

Divulgar e garantir o cumprimento do PSS pelos trabalhadores, assegurando que eles compreendam as diretrizes de segurança e estejam cientes de suas responsabilidades relacionadas à prevenção de acidentes;

- Elaborar fichas de procedimentos de segurança:

Criação de fichas de procedimentos de segurança para trabalhos específicos que apresentem riscos especiais, garantindo que os trabalhadores tenham conhecimento das medidas de segurança necessárias para realizar suas tarefas com segurança;

- Assegurar a aplicação do PSS e das fichas de procedimentos de segurança:

Garantir que os trabalhadores sigam as diretrizes estabelecidas no PSS e nas fichas de procedimentos de segurança, implementando medidas corretivas conforme necessário;

- Organizar e gerir o estaleiro:

Responsável por organizar e gerir eficientemente o estaleiro, incluindo a implementação de um sistema de emergência eficaz para lidar com situações de emergência;

- Controlar o acesso ao estaleiro:

O THS toma medidas para garantir que apenas pessoas autorizadas tenham acesso ao estaleiro, ajudando a controlar e minimizar os riscos de segurança.

9 Conclusões

Este estágio curricular foi uma oportunidade única de integração entre teoria e prática no setor de distribuição de energia elétrica, permitindo aplicar conhecimentos avançados em engenharia eletrotécnica no contexto dinâmico de uma empresa de referência no setor de empreitada, como a AMD. Esta experiência foi decisiva para a consolidação de habilidades técnicas em dimensionamento e concepção de linhas elétricas, bem como no desenvolvimento de competências de análise crítica, resolução de problemas e adaptação a cenários complexos. A prática adquirida reforçou a importância de uma abordagem técnica rigorosa e estratégica, centrada na segurança, eficiência e robustez das infraestruturas de rede.

A experiência no dimensionamento elétrico e mecânico de linhas foi um dos principais pontos de desenvolvimento técnico. A análise técnica, realizada com base nas normas técnicas e melhores práticas do setor, foram fundamentais para garantir a segurança e a confiabilidade das redes que foram implementadas sobre acompanhamento. Fatores como temperatura, vento e outros efeitos externos influenciam a tensão e o desempenho dos cabos permitindo compreender a complexidade do dimensionamento, reforçando a importância de uma abordagem integrada que leve em consideração tanto os aspectos elétricos quanto os mecânicos.

A fiscalização e a supervisão das obras foram igualmente enriquecedoras. No acompanhamento de instalações de média tensão, foi possível realizar inspeções rigorosas nos materiais utilizados, verificar a adequação das técnicas de montagem e garantir que as normas de segurança e os prazos estipulados eram respeitados. Esta atuação permitiu desenvolver uma visão mais apurada sobre a importância de controle de qualidade e segurança em cada etapa do processo. Verificando, por exemplo, detalhes de instalação, como o posicionamento e fixação dos condutores e isoladores, afetam diretamente a estabilidade e durabilidade da linha. Esta experiência revelou o papel fundamental da fiscalização não apenas para o cumprimento das normas, mas também para a prevenção de falhas futuras e otimização da vida útil das infraestruturas.

Participar na gestão da empreitada, e reuniões de planeamento das etapas de execução também contribuiu de forma expressiva para o desenvolvimento de habilidades interpessoais e de gestão. As atividades de coordenação entre equipas, gestão de recursos e resolução de problemas em tempo real permitiram exercitar a tomada de decisões informadas e estratégicas, essenciais para o sucesso em projetos complexos. Com a oportunidade de acompanhamento de todas as fases do processo, desde o levantamento inicial do traçado até à montagem final dos postes e cadeias de isoladores. A experiência direta na execução das etapas, revelou a importância de um planeamento minucioso, onde cada elemento deve ser cuidadosamente calculado para evitar atrasos e imprevistos, contribuindo para um projeto eficiente e dentro do orçamento.

Outro aspeto importante foi a colaboração em pedidos de ligação à rede elétrica, o que exigiu uma compreensão profunda dos requisitos técnicos e regulatórios aplicáveis. Esta atividade incluiu desde a análise da viabilidade técnica até a preparação de documentação e o trabalho conjunto com entidades reguladoras para obter as aprovações necessárias. Tal experiência permitiu o entendimento e o papel crítico do cumprimento das regulamentações e da documentação adequada, assegurando que o projeto está em total conformidade com os requisitos legais e de segurança.

Além disso, as atividades de manutenção preventiva e corretiva, proporcionaram uma visão aprofundada dos fatores que influenciam a continuidade e a fiabilidade de serviço. A experiência em intervenções de manutenção preventiva permitiu a ponderação, na inspeção periódica e a substituição preventiva de componentes críticos são fundamentais para garantir a operação segura e contínua das redes de distribuição. A análise dos desgastes dos materiais e as intervenções para mitigar possíveis falhas reforçaram a importância da manutenção como uma medida de economia a longo prazo, que minimiza o tempo de inatividade e as interrupções no fornecimento de energia.

Em suma, este estágio proporcionou um aprimoramento técnico e prático essencial para o desenvolvimento de uma atuação segura e eficiente no setor energético. A experiência consolidou a formação em Engenharia Eletrotécnica e a preparação para os desafios da distribuição de energia com uma abordagem completa e integrada, que valoriza a

segurança, a eficiência e a inovação. Resta agora com esta aprendizagem, contribuir de forma significativa para a melhoria das redes de distribuição, reforçando um compromisso com a excelência e a sustentabilidade, fundamentais para o progresso do setor energético e para a garantia de uma infraestrutura elétrica robusta e confiável.

Referências Bibliográficas

Milou Beerepoot (2007). Government regulation as an impetus for innovation: Evidence from energy performance regulation in the Dutch residential building sector. *Energy Policy*, Volume 35, Issue 10, Elsevier, pp. 4865-4875, ISSN 0301-4215.

Swagata Das (2022). *Fault Location on Transmission and Distribution Lines: Principles and Applications*. IEEE Press, 1ª Edição, ISBN 978-1119693513.

Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG) (2024). Sistema Elétrico Nacional - SEN. Obtido em [https://www.dgeg.gov.pt/pt/areas-transversais/relacoes-internacionais/politica-energetica/sistema-eletrico-nacional-sen/] (acesso em outubro de 2024).

Diário da República (2022). Artigo 6º do Decreto-Lei n.º 15/2022. Portugal.

Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) (2024). Obtido em [https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/producao/] (acesso em abril de 2024).

REN (2024). Produção de energia renovável bate recorde em 2023. Obtido em [https://www.ren.pt/pt-pt/media/noticias/producao-de-energia-renovavel-bate-recorde-em-2023] (acesso em abril de 2024).

Célia Maria dos Santos Carneiro (2019). Rede Nacional de Transporte. Artigo, Portugal.

REN (2024). Obtido em [https://datahub.ren.pt/pt/redes/] (acesso em abril de 2024).

Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) (2024). Obtido em [<https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/distribuicao/>] (acesso em abril de 2024).

Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) (2017). Concessão de distribuição de eletricidade em BT, Propostas para as peças tipo dos procedimentos de atribuição das concessões ao abrigo da lei nº31/2017. Lisboa: ERSE.

Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) (2024). Obtido em [<https://www.erse.pt/eletricidade/funcionamento/comercializacao/>] (acesso em abril de 2024).

Secretaria Municipal de Educação (SME) (2022). Fontes de Energia, Goiânia. Obtido em [https://sme.goiania.go.gov.br/conexaoescola/ensino_fundamental/geografia-fontes-de-energia] (acesso em outubro de 2024).

Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) (2023). Estrutura Tarifária do Setor Elétrico em 2024. Lisboa: ERSE.

João Santana (2016). Sistema Elétrico - Análise Técnico-Económica. LIDEL, 1ª Edição, ISBN 978-9896930101.

Manuel Bolotinha (2018). Distribuição de Energia Eléctrica em Média e Baixa Tensão. Lisboa: Edições Almedina, ISBN 978-9724059308.

Direção-Geral de Energia (1992). Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão (RSLEAT). Decreto Regulamentar nº 1/92 de 18 de fevereiro, Portugal.

Direção-Geral de Energia (1960). Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Seccionamento (RSSPTS). Decreto nº 42895 de 31 de março, alterado pelos Decretos Regulamentares nº 14/77 de 18 de fevereiro e nº 56/85 de 6 de setembro, Portugal.

Direção-Geral de Energia (1985). Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição em Baixa Tensão (RSRDEEBT). Decreto Regulamentar nº 90/84 de 26 de dezembro, Portugal.

Direção-Geral de Energia (2006). Regras Técnicas das Instalações Eléctricas em Baixa Tensão (RTIEBT). Portaria nº 949-A/2006 de 11 de setembro, Portugal.

Direção-Geral de Energia (2007). Guia Técnico das Instalações Eléctricas de Produção Independente. Portugal.

Direção-Geral de Energia. Projecto-Tipo de Postos de Transformação em Cabine Alta dos Tipos CA1 e CA2

Direção-Geral de Energia (1996). Projecto-Tipo de Postos de Transformação em Cabine Baixa dos Tipos CBU e CBL. Portugal.

Direção-Geral de Energia. Projecto-Tipo de Postos de Transformação Aérea dos Tipos AI-1 e AI-2

Direção-Geral de Energia (1995). Projecto-Tipo de Postos de Transformação Aérea dos Tipos A e AS

Direção-Geral de Energia (1986). Recomendações para Linhas Aéreas de Alta Tensão até 30 kV. Volume 1, Portugal.

Direção-Geral de Energia (1991). Guia Técnico das Redes Aéreas de Baixa Tensão em Condutores Isolados. Portugal.

Direção-Geral de Energia (2006). Guia Técnico das Redes Aéreas de Baixa Tensão em Condutores Nus. Portugal.

Direção-Geral de Energia (1990). Guia Técnico dos Armários de Distribuição e Seus Maciços de Fundação. Portugal.

Direção-Geral de Energia (2015). Guia Técnico das Instalações de Descarregador de sobretensões. Portugal.

Direção-Geral de Energia (2018). Guia Técnico das Instalações Eléctricas Estabelecidas em Condomínios Fechados. Portugal.

Direção-Geral de Energia (2005). Guia Técnico das Instalações Eléctricas Estabelecidas em Locais Residenciais ou de uso Profissional. Portugal.

Massimo Guarnieri (2013). "The Beginning of Electric Energy Transmission: Part Two". IEEE Industrial Electronics Magazine, Volume 7, Issue 3, IEEE Press, pp. 57-60, ISSN 1932-4529.

Thomas Hughes (1983). Networks of Power: Electrification in Western Society 1880–1930. The Johns Hopkins University Press, Baltimore, ISBN 978-0801828732.

José Paiva (2015). Redes de Energia Elétrica: Uma Análise Sistémica. IST Press, 4ª Edição, Lisboa, ISBN 978-9728469790.

Leonard L. Grigsby (2007). Electric Power Engineering Handbook. 2ª Edição. Taylor & Francis Group, ISBN 978-0849392917.

Alexandra von Meier (2006). Electric Power Systems: A Conceptual Introduction. Wiley-IEEE Press, ISBN 978-0471178590.

Octávio Madureira (2009). Projecto e construção da linha aérea em média tensão de interligação do parque eólico e a subestação de Pinhal Novo. IP Bragança, Portugal.

John Grainger (2016). Power Systems Analysis. McGraw-Hill Education, ISBN 978-0070612938.

Instituto Federal de Santa Catarina (2015). Parâmetros primários da linha de transmissão. Obtido em [\[https://wiki.sj.ifsc.edu.br/index.php/Par%C3%A2metros_prim%C3%A1rios_da_linha_de_transmiss%C3%A3o\]](https://wiki.sj.ifsc.edu.br/index.php/Par%C3%A2metros_prim%C3%A1rios_da_linha_de_transmiss%C3%A3o) (acesso em março de 2024)

Paulo Moises (2011). Efeito pelicular. Obtido em [https://www.estgv.ipv.pt/paginaspessoais/paulomoises/Artigos_Máquinas/Efeito%20pelicular/skin.PDF] (acesso em maio de 2024).

Clayton R. Paul (2006). Introduction to Electromagnetic Compatibility. John Wiley & Sons Inc., 2ª Edição, pp. 925-926, ISBN 978-0471755005.

W. Wang (2017) “Waveguide Theory”, 2017, Wei-Chih Wang, Institute of Nanoengineering and Microsystems, National Tsing Hua University.

Xi Nan & C. R. Sullivan (2005). "An Equivalent Complex Permeability Model for Litz-Wire Windings". IEEE Transactions on Power Electronics, Volume 16, Issue 3, pp. 386-392, IEEE Press, ISSN 0885-8993.

Leonard L. Grigsby (2006). Electric Power Generation, Transmission, and Distribution. CRC Press.

Marco Silva (2016). “Previsão da capacidade de transporte das linhas aéreas para o mercado diário do MIBEL”. ISEL.

EDP (2004). Apoios para linhas aéreas, postes de betão para redes de MT. Norma DMA-67-215/N. Portugal.

Norma EN (2004). European Standard 12843.

Hélder Leite (2018); “Elaboração de Projectos de Linhas Aéreas de Distribuição de Energia”, FEUP 2008.

Norma IEC (2013). Standard 50341. International Electrotechnical Commission. Genebra, Suíça.

Hugo Miguel Domingos Pedreira (2013). Linhas Elétricas Aéreas: Estudo do Movimento das Cadeias de Isoladores em Suspensão e Determinação dos Limites Técnicos para a sua Aplicação. Lisboa: Universidade de Lisboa, Faculdade de Ciências.

Rui Emanuel Póvoas Duarte de Almeida (2016). Otimização da Metodologia de Projeto de Linhas Aéreas de Alta-Tensão com Modelização do Traçado Real em 3D. Tese de Mestrado, Lisboa: Instituto Superior Técnico.

IEP (2020). Isoladores MT e BT. Obtido em [<https://iep.pt>] (acesso em agosto de 2024).

José Nunes (2007). Projeto de Linhas de Média Tensão, Redes de Baixa Tensão, Iluminação Pública e Postos de Transformação. Relatório de Estágio

Daniel Teixeira (2017). Projeto de uma Linha Aérea de Alta Tensão Viabilidade Técnica e Económica na Aplicação da Tecnologia Cross-Bonding numa Linha Subterrânea: Instituto Politécnico do Porto. Porto.

EDP (2022). Materiais para redes - Aparelhagem AT e MT: Quadros metálicos modulares para postos de transformação MT/BT e para postos de corte e seccionamento MT. EDP, Lisboa.

E-REDES (2021). Materiais para redes – Aparelhagem AT e MT: Seccionadores e interruptores-seccionadores tripolares de MT para montagem exterior. E-REDES, Lisboa.

E-REDES (2022). Materiais para proteção de redes: Guia prático de seleção e disposição de descarregadores de sobretensões em instalações AT e MT: Regras de execução e de montagem. E-REDES, Lisboa.

EDP (2018). Material para linhas elétricas: Armações de aço para postes de betão de MT: Características e ensaios. EDP, Lisboa.

DR (1992). Decreto Regulamentar 1/92 de 18 de Fevereiro da Direcção-Geral de Energia. Diário da República, Lisboa.

ANAC (2003). Limitações em altura e balizagem de obstáculos artificiais à navegação aérea. ANAC, Lisboa.

DR (1976). Diário da República, Decreto-Lei n.º 446/76. Diário da República, Lisboa.

EDP (2016). Instalações AT e MT: Requisitos de ruído para postos de transformação (D00-C13-030/N). EDP, Lisboa.

E-REDES (2021). Guia para controlo e mitigação do ruído em postos de transformação. E-REDES, Lisboa.

DR (2008). Decreto-Lei n.º 220/2008, de 12 de novembro. Diário da República, Lisboa.

DR (2015). Decreto-Lei n.º 224/2015, de 9 de outubro. Diário da República, Lisboa.

DR (2008). Portaria n.º 1532/2008. Diário da República, Lisboa.

EDP (2006). Manual de iluminação pública. EDP, Lisboa.

DR (2001). Portaria n.º 454/2001, de 5 de maio. Diário da República, Lisboa.

E-REDES (2024). DIT-C14-100/N: Derivações e baixadas: Ligação de clientes de Baixa Tensão – Soluções técnicas normalizadas. E-REDES, Lisboa.

EN (2001). National Normative Aspects (NNA) for Portugal based on EN 50341-1:2001. Lisboa.

E-REDES (2022). Redes - Linhas: Rede MT - Soluções Especiais: situações de gelo, de elevada corrosão, avifauna, arcos, derivações em suspensão e reparação de roturas de cabos com alma unifilar. E-REDES, Lisboa.

ZMS (2024). Características do condutor ACSR. Acedido em setembro de 2024. <https://zmscable.es/pt/caracteristicas-acsr-conductor/>.

João Verde (2016). Desenvolvimento de projeto e linha aérea de alta tensão - Viabilidade técnica do uso de condutores de alta temperatura. FEUP, Porto. ISBN: 978-989-787-733-2.

IEC (2021). IEC 60305. IEC, Genebra.

ANSI (2013). ANSI C29.2. ANSI, Nova Iorque.

E-REDES (2021). Materiais para proteção de redes: Soluções dissuasoras de poiso e de nidificação da cegonha branca em apoios de linhas aéreas AT e MT. E-REDES, Lisboa.

E-REDES (2021). Redes - Linhas: Projeto e construção de infraestruturas elétricas em áreas importantes sob o ponto de vista da conservação da natureza e da biodiversidade: Guia técnico. E-REDES, Lisboa.

E-REDES (2022). Posto de transformação aéreo R250. E-REDES, Lisboa.

E-REDES (2022). Guia técnico de terras: Ligações à terra e eletrodos de terra: Regras para a ligação à terra das instalações de distribuição de energia em AT, MT e BT (redes de Alta e Média Tensão, Postos de Transformação e redes de BT). E-REDES, Lisboa.

E-REDES (2021). Manual de ligações à rede: Guia técnico logístico de boas práticas. E-REDES, Lisboa.

Manuel Bolotinha (2020). Linhas aéreas - Tipologias, características, equipamentos e princípios construtivos. ENGEBOOK, Lisboa. ISBN: 978-989-8413-17-3.

E-REDES (2021). Redes - Linhas: Regras para a conceção, aprovação e ligação à rede dos projetos de infraestruturas elétricas de loteamentos/urbanizações de iniciativa privada e entregas em espécie DIT-C11-010/N. E-REDES, Lisboa.

André Granja (2017). Estudo e optimização de Central Fotovoltaica 1MW. Mestrado, FEUP.

EDP (2020). Redes - Linhas: Linhas aéreas AT e MT: Protocolo de ensaios DPE-C11-401/N. EDP, Lisboa.

HUBBEL (2016). CA08032P-Glass-Insulators-Catalog-Portuguese. HUBBEL.

EDP (2020). Redes – Linhas: Dispositivos para proteção da avifauna: Fichas técnicas DFT-C11-310/N. EDP, Lisboa.

PGL (2012). Lei n.º 42/2012, de 28 de Agosto - Técnico Superior de Segurança no Trabalho. Procuradoria-Geral de Lisboa, Lisboa.

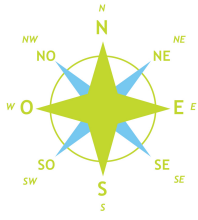
IFA (2013). IFA: 638.22 Electrical safety: implementation of the five safety rules in control systems.

O Instalador (2020). [<https://www.oinstalador.com/Artigos/298736-Eletricidade-nao-subestimar-os-Riscos-do-Perigo-oculto-3.html>] (acesso em outubro de 2024).

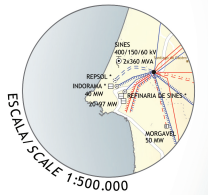
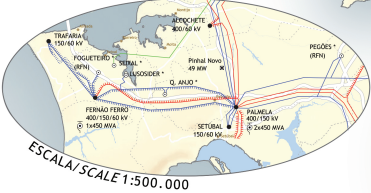
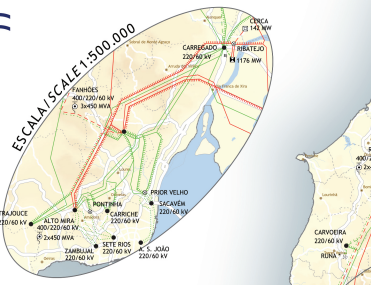
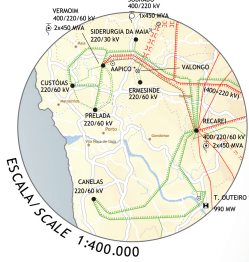
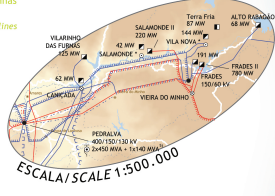
Anexos

- Anexo A – Mapa da Rede Nacional de Transporte.
- Anexo B – Exemplo de memória descritiva e justificativa.
- Anexo C – Documentação necessária por tipo de pedido de ligação à rede.
- Anexo D – Exemplar de mapa de medições.
- Anexo E – Desenho técnico de projeto.
- Anexo F – Folhas de cálculo de apoios.
- Anexo G – Aspectos de cabos ACSR.
- Anexo H – Cronograma de Trabalhos.

ANEXO A



A localização das subestações e o traçado das linhas são indicativos, não estando georreferenciados.
The location of infrastructures and the layout of the lines are indicative, not being georeferenced.



Espanha
Spain

Legenda / Map key

Validada em 31 de dezembro de 2022 e principal infraestrutura em construção no planejamento da rede elétrica até dezembro de 2022 and user construction of planned for the main zone

Consultar www.ren.pt for further information, please refer to www.ren.pt

Conte (Tensão de Colores / Colors (Design Insulation voltage))

- 400 kV
- 220 kV
- 150 kV
- 110 kV

Simbologia / Map symbology

Linhas / Transmission lines

Ativa / Active	Plano / Plan	3D / 3D	Em construção / Under construction	Interconexão / Interconnection
1	1	1	1	1
2	2	2	2	2

Subestações, Pontos de Corte, de Desconexão e de Transferência / Substations, Switching and Transition Stations

Subestação / Substation	Ponto de Corte / Switching	Ponto de Desconexão / Transition	Ponto de Transferência / Transition
1	1	1	1
2	2	2	2

Centros Produtivos ligados diretamente à REN / Power Plants directly connected to the REN

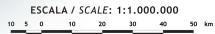
Central / Central	Em construção / Under construction	Operativa / Operative
1	1	1
2	2	2

NOTAS / COMMENTS

- 1) Este plano representa a infraestrutura elétrica planejada para o sistema elétrico nacional em 2022.
- 2) Este plano representa a infraestrutura elétrica planejada para o sistema elétrico nacional em 2022.
- 3) Este plano representa a infraestrutura elétrica planejada para o sistema elétrico nacional em 2022.
- 4) Este plano representa a infraestrutura elétrica planejada para o sistema elétrico nacional em 2022.
- 5) Este plano representa a infraestrutura elétrica planejada para o sistema elétrico nacional em 2022.
- 6) Este plano representa a infraestrutura elétrica planejada para o sistema elétrico nacional em 2022.
- 7) Este plano representa a infraestrutura elétrica planejada para o sistema elétrico nacional em 2022.
- 8) Este plano representa a infraestrutura elétrica planejada para o sistema elétrico nacional em 2022.
- 9) Este plano representa a infraestrutura elétrica planejada para o sistema elétrico nacional em 2022.
- 10) Este plano representa a infraestrutura elétrica planejada para o sistema elétrico nacional em 2022.

REN
Rede Eléctrica Nacional, S.A.
Av. E. U. A., 55
1749-061 Lisboa
Tel. 21 001 3500
Fax 21 001 3100
www.ren.pt

NRV
CONSULTORES DE ENGENHARIA
www.nrv-novis.com
Base Cartográfica cedida por ESRI Portugal.
Cartographic Base by courtesy of ESRI Portugal.



MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

ENTIDADE

INSTALAÇÃO PROJETADA Linha de média tensão a 30kV

Concelho:

Concelho:

ORIGEM

OBJETIVO

LOCALIZAÇÃO

Freguesia(s):

Concelho(s):

TRAÇADO

1 - Rede de Média Tensão

Planta geral: Des. nº

Perfil e Planta parcelar: Des. nº

Cruzamentos com Telecomunicações:

Cruzamentos com Autoestrada:

2 - Posto de Seccionamento

Planta geral: Des. nº

Planta parcelar: Des. nº

CARACTERÍSTICAS

1 - Rede de Média Tensão

Comprimento subst. (m):

Neutro da rede à terra

<i>Condutores:</i>	Material:	Secção (mm ²):	Comprimento (m):
	Material:	Secção (mm ²):	Comprimento (m):
	Material:	Secção (mm ²):	Comprimento (m):

2 - Posto de Seccionamento

Constituição:

O projecto foi elaborado com observância da Regulamentação de Segurança em vigor, das Normas Portuguesas aplicáveis, das regras da boa técnica e das Recomendações para Projecto de Linhas de Alta Tensão, até 30 kV, da DGE.

Local e data

O Autor do Projeto

O Técnico Responsável

Eng.º Eletrotécnico
(inscrito na OET n.º)

Eng.º Eletrotécnico
(inscrito na OE c/ n.º _____)

ARTIGO 27º

APROVAÇÃO DE PROJETO (Art. 27º)

Assunto:

Linha de média tensão a 30kV

Concelho: 0

Exmos. Senhores,

Declara-se, para os devidos e legais efeitos, que esta Empresa se compromete em obter as autorizações necessárias para efetuar os respetivos trabalhos.

Pede deferimento,

O Técnico Responsável

Anexo: Projeto em triplicado seguirá por correio normal.

DOCUMENTAÇÃO NECESSÁRIA POR TIPO DE PEDIDO DE LIGAÇÃO À REDE

Os documentos necessários para abertura de um pedido de ligação à rede variam de acordo com a tipologia de pedido. Na tabela abaixo são listadas as tipologias de pedidos existentes, bem como os documentos necessários para cada uma:

TIPOLOGIA DO PEDIDO	DOCUMENTOS NECESSÁRIOS
Vivenda Unifamiliar Edifício Coletivo Condomínio Fechado Posto de Carregamento de Veículos Elétricos	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha eletrotécnica (modelo aprovado pela DGEG) assinada por técnico responsável inscrito na DGEG e preenchida na totalidade. A ficha deve indicar a constituição total do prédio em causa e não apenas a constituição da(s) fração(ões); - Licença municipal de construção, declaração de entidade competente (Câmara Municipal, Junta de Freguesia) ou caderneta predial que ateste a legalidade da construção.
Recinto para motor	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha eletrotécnica (modelo aprovado pela DGEG) assinada por técnico responsável inscrito na DGEG e preenchida na totalidade. A ficha deve indicar a constituição total do prédio em causa e não apenas a constituição da(s) fração(ões); - Licença municipal de construção, declaração de entidade competente (Câmara Municipal, Junta de Freguesia) ou caderneta predial que ateste a legalidade da construção; - Licença da APA (obrigatória sempre que a potência requisitada na Ficha Eletrotécnica for igual ou superior a 6,9 kVA)
Aumento de Potência (instalações individuais)	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha eletrotécnica (modelo aprovado pela DGEG) com a constituição da instalação elétrica existente e com indicação de NIP e CPE para a nova potência pretendida; - Declaração de autorização de terceiros - apenas quando o requerente do pedido for diferente do titular do CPE da instalação existente (aplicável geralmente em postos de carregamento de veículos elétricos (PCVE), quando instalados em espaços de acesso público de domínio privado como por exemplo restaurantes, hotéis, centros comerciais).
Alteração Prédio Existente (alteração de potência, criação de nova(s) fração(ões) e/ou eliminação de frações existentes em prédios coletivos)	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha eletrotécnica (modelo aprovado pela DGEG) assinada por técnico responsável inscrito na DGEG e preenchida na totalidade. A ficha deve indicar a constituição total do prédio em causa e não apenas a constituição da(s) fração(ões); - Memória descritiva ou indicação da(s) fração(ões) do prédio na(s) qual(ais) se pretende intervir; - Declaração de autorização de terceiros - apenas quando o requerente do pedido for diferente do titular do CPE da instalação existente (aplicável geralmente em postos de carregamento de veículos elétricos (PCVE), quando instalados em espaços de acesso público de domínio privado como por exemplo restaurantes, hotéis, centros comerciais). - Documento de destaque parcelar - apenas quando o requerente do pedido pretende ter um CPE exclusivo associado ao NIP existente (aplicável geralmente em postos de carregamento de veículos elétricos (PCVE)).

<p>Obras – Ramal definitivo (o ramal é executado para alimentar a obra e posteriormente alimenta a instalação definitiva)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha eletrotécnica (modelo aprovado pela DGEG) assinada por técnico responsável inscrito na DGEG e preenchida na totalidade; - Termo de responsabilidade pela execução de instalações elétricas de serviço particular; - Termo de responsabilidade pela exploração de instalações elétricas de serviço particular, caso a potência solicitada para a obra seja superior a 41,40 kVA; - Licença municipal de construção, declaração de entidade competente (Câmara Municipal, Junta de Freguesia) ou caderneta predial que ateste a legalidade da construção.
<p>Obras – Ramal provisório (o ramal é executado para alimentação da obra e posteriormente é removido)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha eletrotécnica (modelo aprovado pela DGEG) assinada por técnico responsável inscrito na DGEG e preenchida na totalidade; - Termo de responsabilidade pela execução de instalações elétricas de serviço particular para efeitos de realização de obra; - Termo de responsabilidade pela exploração, caso a potência solicitada para a obra seja superior a 41,40 kVA - Licença municipal de construção, declaração de entidade competente (Câmara Municipal, Junta de Freguesia) ou caderneta predial que ateste a legalidade da construção.
<p>Eventual</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Ficha eletrotécnica (modelo aprovado pela DGEG) assinada por técnico responsável inscrito na DGEG e preenchida na totalidade; - Termo de responsabilidade pela execução de instalações elétricas de serviço particular (com validade não inferior a 1 mês); - Termo de responsabilidade pela exploração de instalações elétricas de serviço particular, caso a potência solicitada para a obra seja superior a 41,40 kVA (com validade não inferior a 1 mês); - Autorização da entidade administrativa competente (designadamente câmara municipal, junta de freguesia, polícia, delegação marítima, ou outra).
<p>Urbanização/Loteamento e Empreendimento</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Licença municipal de construção, declaração de entidade competente (Câmara Municipal, Junta de Freguesia) ou caderneta predial que ateste a legalidade da construção; - Ficha síntese de loteamento; - Ficha de identificação do projeto.
<p>Mudança Local de Contador</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Fotografia(s) do novo ponto de entrega construído; - Descrição simplificada da modificação pretendida; - Identificação da instalação de consumo (CPE).
<p>Desvio de Rede</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Descrição por escrito da modificação a realizar; - Definição das coordenadas geográficas dos elementos de rede a desviar com uma planta de localização; - Um dos seguintes documentos: Licença/Alvará de construção; Alvará de Loteamento; Projetos de Infraestruturas aprovados (com representação das linhas existentes a modificar).

ANEXO 1 - FICHA ELETROTÉCNICA

Exemplo meramente ilustrativo.

<p>FICHA ELETROTÉCNICA DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE SERVIÇO PARTICULAR <small>(emitido nos termos do disposto no artigo 12.º do Decreto-Lei n.º 96/2017, de 10 de agosto)</small></p>
--

1 - Requerente/Entidade Exploradora			
Nome:			NIF/NIPC:
Telefone:	E-Mail:		
Morada:			
C. Postal:			

2 - Técnico Responsável			
Nome:			NIF:
Telefone:	E-Mail:	N.º DGEG:	

3 - Localização do imóvel			
Freguesia:	Concelho:		Distrito:
Entrada ⁽¹⁾ principal (Lugar/Rua):	E1	Coordenadas GPS:	
Outra Entrada ⁽¹⁾ do Imóvel:		Coordenadas GPS:	

4 - Caracterização do imóvel			
Descrição do Imóvel:			Instalação:
Classificação das instalações ⁽²⁾ :			Total Ramais:

5 - Instalação Elétrica											
Tipo da Instalação ⁽³⁾	Entrada do Imóvel	Ramal N.º	NIP ⁽⁴⁾ (existente)	CPE ⁽⁵⁾ (existente)	Andar	Fração	Tipo utilização individual ⁽⁶⁾	Entrada	Total Instalado (kVA)	Fator de Simultaneidade	Potência a Alimentar (kVA)

Tipo de Instalação	Potência Total Instalada (kVA)
--------------------	--------------------------------

Tipo A: geradores de segurança e de socorro	
---	--

Tipo B: instalações alimentadas em MT/AT/MAT	
--	--

Tipo C: instalações alimentadas em BT	
---------------------------------------	--

<p>Declaro que a informação apresentada caracteriza a instalação elétrica.</p> <p>20__/__/__</p> <p>(Data e assinatura do técnico responsável)</p>
--

FE_v.20190222

(1) Localização (Rua e numeração de porta ou Lugar) do(s) ponto(s) de entrega ao imóvel (ramais de alimentação).

Caso a instalação de utilização seja alimentada por um ramal próprio, deve mencionar a respetiva localização.

(2) Conforme Anexo I do Despacho n.º 1/2018 da DGEG.

(3) Conforme art.º 3.º do Decreto-Lei n.º 96/2017. Para instalações do "Tipo A", de socorro ou segurança, indicar a "Entrada", "Ramal N.º", "NIP" e "CPE" da instalação de utilização a que está associado.

(4) NIP - Número de Identificação do Prédio. Caso ainda não esteja atribuído, colocar "-".

(5) CPE - Código do Ponto de Entrega (conforme art.º 229º do RRC). Caso ainda não esteja atribuído, colocar "-".

(6) Conforme Anexo II do Despacho n.º 1/2018 da DGEG.

ANEXO 2 – AUTO DE ENTREGA E DE RECEÇÃO PROVISÓRIA

Exemplo meramente ilustrativo.

AUTO DE ENTREGA E DE RECEÇÃO PROVISÓRIA

O Promotor..... (titular do alvará), com sede em matriculada na Conservatória de Registo Comercial de, com o número de matrícula e de pessoa coletiva....., representado por, na qualidade de e que declara ter poderes para o ato, construiu diretamente as infraestruturas elétricas do empreendimento urbanístico designada(o).....situado em, freguesia de, concelho de, adiante designado abreviadamente por Empreendimento, em conforme planta de localização e desenhos anexos, mediante contrato que celebrou com a Empresa Executante (empresa executante das infraestruturas), com sede em, matriculada na Conservatória de Registo Comercial de, com o número de matrícula e de pessoa coletiva, representada por, na qualidade de

O Promotor, a Empresa Executante e o Técnico Responsável pela execução das infraestruturas elétricas, Sr., declaram que as infraestruturas elétricas do Empreendimento foram executadas e se encontram em conformidade com o Alvará n.º, Admissão de Comunicação Prévia (conforme aplicável), emitido pela Câmara Municipal de, nomeadamente com o projeto de especialidade respetivo e com as demais peças constantes do processo arquivado na E-REDES, Distribuição de Eletricidade, S.A. (E-REDES). Procedeu-se à vistoria das infraestruturas elétricas do Empreendimento na presença dos representantes do Promotor e da Empresa Executante, do Técnico Responsável e dos representantes da E-REDES.

O Promotor mais declara que as infraestruturas realizadas estão em condições de ser recebidas e integradas nas redes de distribuição de eletricidade, pelo que as entrega, sem ónus ou encargos, afim de serem transferidas para a rede afeta à concessão, nos termos e para os efeitos das disposições aplicáveis do Regulamento de Relações Comerciais do sector elétrico.

A E-REDES aceita as infraestruturas supra referidas, constituindo esta aceitação a receção provisória das mesmas.

O Promotor entregou à E-REDES toda a documentação técnica devida até à receção provisória.

Pelo exposto vai ser assinado o presente Auto de Entrega e de Receção Provisória, o qual assumirá automaticamente natureza definitiva, uma vez decorrido o prazo de cinco anos sem se verificar qualquer defeito nas infraestruturas agora rececionadas.

....., de de 20...

O Promotor

A Empresa Executante

.....

.....

Confirmei a assinatura pelo original do
BI/CC n.º _____

O Técnico Responsável pela execução das
instalações elétricas

.....

Pela E-REDES, Distribuição de Eletricidade, SA

.....

Visto em

O Diretor da DSA

.....

ANEXO 3 – TERMO DE RESPONSABILIDADE PELA EXECUÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE SERVIÇO PARTICULAR PARA EFEITOS DE REALIZAÇÃO DE OBRA

Exemplo meramente ilustrativo.

<h3>TERMO DE RESPONSABILIDADE PELA EXECUÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE SERVIÇO PARTICULAR para efeitos de REALIZAÇÃO DE OBRA</h3> <p>(emitido nos termos do disposto na subalínea ii) da alínea a) do artigo 31.º do Decreto-Lei n.º 96/2017, de 10 de agosto, em articulação com o regime jurídico do urbanismo e edificação)</p>

1	Entidades			
1.1 Promotor / Entidade Exploradora				
Nome:				NIF/NIPC:
Telefone:		E-mail:		
Morada:				
C. Postal:				
1.2 Técnico responsável pela execução				
Nome:				NIF:
N.º OE:		N.º OET:		N.º DGEG:
Telefone:		E-mail:		

2	Instalação elétrica			Tipo ⁽¹⁾ :
2.1 Localização				
Lugar/Rua:				
Freguesia:		Concelho:		
Distrito:		Coordenadas GPS:		
2.2 Caracterização				
Tipo de estabelecimento:		Instalação: Nova <input type="checkbox"/> Existente <input type="checkbox"/>		
2.3 Constituição				
Andar	Classificação do local de utilização	Entrada	Potência a instalar (kVA)	
Potência total a alimentar (kVA):				

Notas:

– Nos campos com o símbolo “□” (afirmação falsa), clicar para mudar estado para “☒” (afirmação verdadeira), quando aplicável.

⁽¹⁾ Tipo A, B ou C, nos termos do art.º 3 do DL 96/2017.

Declaro para os devidos efeitos que foi previamente solicitada a viabilidade de ligação à rede junto do Operador da Rede de Distribuição, tendo sido requisitada a potência necessária para a sua alimentação e que a ficha eletrotécnica está devidamente coordenada com a constituição da edificação.

20__/__/__

(Data e assinatura do técnico responsável pela execução)

ANEXO 4 – TERMO DE RESPONSABILIDADE PELA EXECUÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE SERVIÇO PARTICULAR

Exemplo meramente ilustrativo.

TERMO DE RESPONSABILIDADE PELA EXECUÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE SERVIÇO PARTICULAR

(artigo 7.º do Decreto-Lei n.º 96/2017, de 10 de agosto)

1 Promotor / Entidade Exploradora				
Nome:				
Telefone:		E-mail:		NIF:
2 Técnico responsável pela execução				
Nome:				
N.º BI/CC:				
Telefone:		E-mail:		NIF:
N.º DGEG:		N.º OE:		N.º OET:
Morada:				
C. Postal:				
3 Identificação do imóvel				
Lugar/Rua:				
Freguesia:				
Concelho:		Distrito:		
Tipo de estabelecimento:				
4 Identificação da instalação elétrica				
NIP:		Instalação com projeto	Instalação nova	
CPE(s):			Instalação existente	

Declaro que tomo a responsabilidade pela execução, a título individual, da instalação elétrica, de acordo com o respetivo projeto de execução, caso seja legalmente exigido, e com as disposições regulamentares de segurança aplicáveis.

Declaro também que foram efetuados os ensaios e verificações necessários para garantir a segurança e o correto funcionamento das instalações elétricas, tendo em vista a sua entrada em exploração.

__/__/20__

(Data e assinatura do técnico responsável pela execução)

ANEXO 5 – TERMO DE RESPONSABILIDADE PELA EXPLORAÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE SERVIÇO PARTICULAR

Exemplo meramente ilustrativo.

TERMO DE RESPONSABILIDADE PELA EXPLORAÇÃO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS DE SERVIÇO PARTICULAR

(artigo 15.º do Decreto-Lei n.º 96/2017, de 10 de agosto)

1 Promotor / Entidade Exploradora

Nome:			
Telefone:	E-mail:	NIF:	

2 Técnico responsável pela exploração

Nome:			
N.º BI/CC:			
Telefone:	E-mail:	NIF:	
N.º DGEG:	N.º OE:	N.º OET:	
Morada:			
C. Postal:			

3 Identificação do imóvel

Lugar/Rua:			
Freguesia:			
Concelho:	Distrito:		
Tipo de estabelecimento:			

4 Identificação da instalação elétrica

NIP:	Instalação com projeto	Instalação nova	
CPE(s):		Instalação existente	

Declaro que que tomo a responsabilidade pela boa exploração da instalação elétrica, de acordo com as disposições regulamentares de segurança em vigor e demais legislação aplicável, enquanto esta estiver em exploração, salvo declaração expressa em contrário, e pela boa exploração das instalações que se venham a estabelecer, desde que essas sejam do meu conhecimento expresso.

__/__/20__

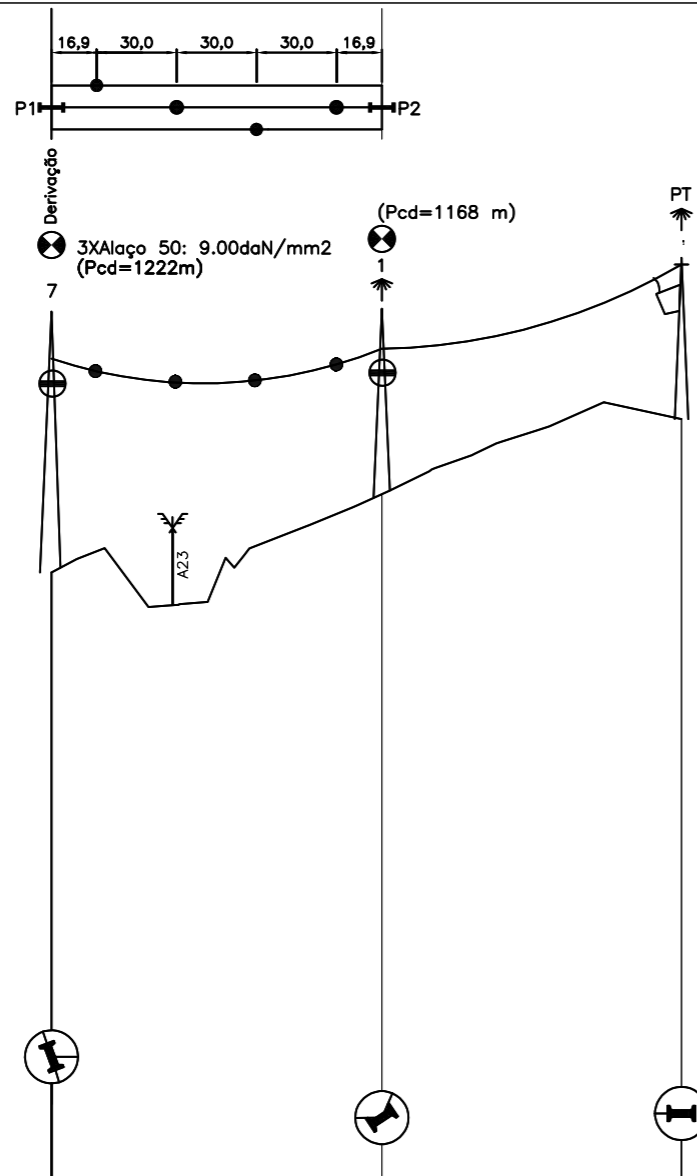
(Data e assinatura do técnico responsável pela exploração)

ANEXO D

MAPA DE MEDIÇÕES

	Planeado	Realizado	
DESLIG+POST LIG RAMAL/ARCOS TET MT DESM+TRANSP P.BETAO ATE 7 T		UN	0 UN
DESMTG+TRANSP POSTE BETAO ATE7T C/MACICO		UN	0 UN
DESM+TRANSP P.BETAO ATE 7 T		UN	0 UN
DESMTG+TRANSP POSTE BETAO ATE7T C/MACICO		UN	0 UN
RETIRAR CABO AL/ACO 30 6X2.36/1X2.36		UN	0 UN
DESM LA/LAA/AA/CU <= 117MM2		KM	0 KM
DESM+TRANSP P.BETAO ATE 7 T		UN	0 UN
DESMTG+TRANSP POSTE BETAO ATE7T C/MACICO		UN	0 UN
RETIRAR CABO AL/ACO 30 6X2.36/1X2.36		UN	0 UN
DESM LA/LAA/AA/CU <= 117MM2		KM	0 KM
RETIRAR CABO AL/ACO 30 6X2.36/1X2.36		KM	0 KM
DESM LA/LAA/AA/CU <= 117MM2		KM	0 KM
DESM+TRANSP P.BETAO ATE 7 T		UN	0 UN
DESMTG+TRANSP POSTE BETAO ATE7T C/MACICO		UN	0 UN
DESM+TRANSP P.BETAO ATE 7 T		UN	0 UN
DESMTG+TRANSP POSTE BETAO ATE7T C/MACICO		UN	0 UN
DESM+TRANSP P.BETAO ATE 7 T		UN	0 UN
DESMTG+TRANSP POSTE BETAO S/MACICO		UN	0 UN
DESM+TRANSP P.BETAO ATE 7 T		UN	0 UN
DESMTG+TRANSP POSTE BETAO S/MACICO		UN	0 UN
DESM+TRANSP P.BETAO ATE 7 T		UN	0 UN
DESMTG+TRANSP POSTE BETAO S/MACICO		UN	0 UN
RETIRAR CABO AL/ACO 30 6X2.36/1X2.36		UN	0 UN
DESM LA/LAA/AA/CU <= 117MM2		KM	0 KM
DESM+TRANSP P.BETAO ATE 7 T		UN	0 UN
DESMTG+TRANSP POSTE BETAO S/MACICO		UN	0 UN
DESM+TRANSP P.BETAO ATE 7 T		UN	0 UN
DESMTG+TRANSP POSTE BETAO S/MACICO		UN	0 UN
DESM+TRANSP P.BETAO ATE 7 T		UN	0 UN
DESMTG+TRANSP POSTE BETAO S/MACICO		UN	0 UN
INSTALL REGULACAO AA/LA/LAA/CU<=117MO		UN	0 UN
REGUL LA/LAA/AA/CU <= 117MM2		KM	0,000 KM
REPLACE ARMACAO HPT4 TP4		UN	0 UN
SUBST ARMACAO EM POSTE		KG	0 KG
ARMACAO MT-HTP4 TP4		UN	0 UN
INSTALL ISOLADOR RIGIDO POLIMERICO		UN	0 UN
COLOC CAD SUSP/AMARR OU ISOLAD RIG MT		UN	0 UN
FERRO SUP M16X250 ISOL R H		UN	0 UN
FILACA ALUMINIO 6MM		KG	0 KG
FITA ALUMINIO 50MM		KG	0 KG
ISOLADOR RIGIDO POLIMERICO		UN	0 UN
INSTALL CADEIA DESCENDENTE 3xU70BS		UN	0 UN
COLOC CAD SUSP/AMARR OU ISOLAD RIG MT		UN	0 UN
FITA ALUMINIO 50MM		KG	0 KG
ISOLADOR CADEIA CAMP ESPIGAO U70BS		UN	0 UN
CONSERV INT/SECC EXIST POSTE LINHA OU PT		UN	0 UN
CONSERV INT/SECC EXIST POSTE LINHA OU PT		UN	0 UN
DESINST DESM+TRANSP P.BETAO ATE 7 T		UN	0 UN
DESMTG+TRANSP POSTE BETAO ATE7T C/MACICO		UN	0 UN
INSTALL CEDENCIA E OPERACAO GMS 250 KVA		H	0 H
CEDENCIA E OPERACAO GMS 250 KVA		H	0 H
INST MOBILIZAC GMS SUP A 160 ATE 400 KVA		UN	0 UN
MOBILIZACAO GMS SUP A 160 ATE 400 KVA		UN	0 UN

N.º DA LINHA



PLANO DE REFERÊNCIA:	0.0 m	X=55192.444 Y=54712.768	X=55066.876 Y=54696.731	X=54970.448 Y=54637.697
COTA DO TERRENO		437.64	442.44	447.92
NUMERO DO APOIO		7;0	1	2
TIPO DO APOIO		22M7500(ex)	16M2750	14HTP4
ALTURA UTIL		18.37/16.00	13.70	13.70
ARMAÇÃO		TAN (ex)/HRFSC3 100	GAN 1	HTP4-R160KVA
FIXAÇÃO DOS CONDUTORES		AR/AR	AR	AR
DISTÂNCIA ENTRE APOIOS			123.85	113.04
DISTÂNCIA À ORIGEM		0.00	123.85	236.13
CULTURAS		INCULTO	A 23	INCULTO

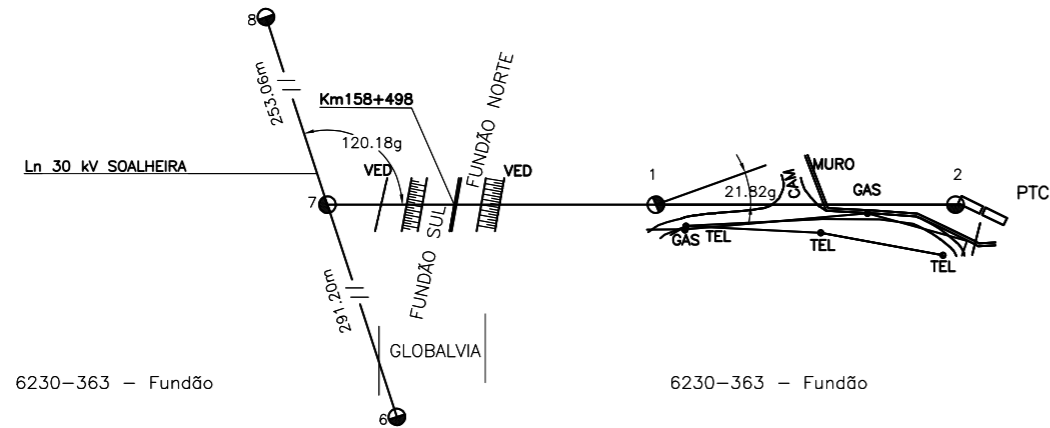
CARACTERÍSTICAS DOS CONDUTORES		FIXAÇÃO DOS CONDUTORES	ISOLADORES	
			QUANTIDADE POR CADEIA	TIPO
MATERIAL	ALAÇO	R — RÍGIDA SIMPLES		
	50	RD — RÍGIDA DUPLA		
Sn (mm²)	9	S — SUSPENSÃO SIMPLES		
		SR — SUSPENSÃO SIMPLES REFORÇADA COM ISOLAMENTO		
d (mm)	9	SRh — SUSPENSÃO SIMPLES REFORÇADA COM HASTE		
		A — AMARRAÇÃO SIMPLES		
t. máx. (daN/mm²)		AR — AMARRAÇÃO REFORÇADA	3	U100BLP
		AaR — AMARRAÇÃO SIMPLES REFORÇADA ASCENDENTE		
		ARh — AMARRAÇÃO SIMPLES REFORÇADA COM HASTE		

Cegonha branca: SIM
Aves de pequeno porte: SIM

Dispositivos dissuasores de nidificação:

- ☯ — DDN GCH simétrico
- ☯ — DDN GCH assimétrico
- ⊖ — Sinalização diurna no apoio
- — Sinalização diurna no vão (Bola Vermelha)
- ⊗ — Sinalização noturna no apoio

FOLHA N.º: 01/01
COMP. 236.13 m



				PROJ.	02-2-2024	JOAO MENDES
				LEV. TOP.		
				DES.		
				VERIF.		
ÍNDICE	DESCRIÇÃO	DATA	ALTERADO	APROVADO	DATA	RUBRICA
	FORMATO	LINHA AÉREA DE MT A 30KV				
	OUTPUT	PERFIL E PLANTA				
	Pnn - Inn	LINHA DE MÉDIA TENSÃO A 30 KV				
PLANTA(S)	ESCALA(S)	Freguesia(s): DONAS		Concelho(s): FUNDÃO		
		Substituí	CÓDIGOS DE OBRA	Nº DESENHO	ÍNDICE	
	V=1:500 H=1:2500				00001/2024	

ANEXO F

Cálculo de Apoios MT

Normal Reforço Fim de Linha

Linha Principal Derivada

Condutor	Al-Aço 50	Al-Aço 50	
Secção (A)	49,48	49,48	[mm ²]
Diametro (d)	9,00	9,00	[mm]
Peso unitário (W0)	0,169	0,169	[daN/m]
Esforço u. vento (W)	0,278	0,278	[daN/m]
Coef. Redução (α1)	0,7	0,7	
Coef. Forma (c)	1,2	1,2	
Tracção maxima (Tm)	445	445	[Kgf]
Tracção max. Unitária (tm)	9	9	[Kgf/mm ²]
Mod de elast. Inicial (B1)	6000	6000	[Kgs/mm ²]
Mod de elast. Final (B2)	7490	7490	[Kgs/mm ²]
C. Sobrecarga HI (m ₁)	1,526	1,526	[Kgs/m.mm ²]
C. Sobrecarga HP (m ₂)	3,051	3,051	[Kgs/m.mm ²]
Coef. Dilatação linear (α2)	1,90E-05	1,90E-05	

Carga unit. s/ Vento (q0)	3,41E-03	3,41E-03	
P. Dinâmica Vento HI (q1)	30	30	[Kgf/m ²]
P. Dinâmica vento HP (q2)	75	75	[Kgf/m ²]
Tensão montagem (T)	230	269	[Kgf]
Tensão Mont. 15°C (t)	4,655	5,440	[Kgf/mm ²]
Temperatura Montagem	15	15,0	[°C]

Vão Crítico	95,5	95,5	[m]
Vão médio (S _m)	183,5	124,0	[m]
Comprimento vão 1 (S ₁)	114,0	124,0	[m]
Comprimento vão 2 (S ₂)	253,0		[m]
Ângulo (β)	0,0	120,0	[grados]

Armação	HRFSC	Redução do esforço	
Condutor 1	1,05 [m]	Linha Principal (K)	2,59
Condutor 2	1,05 [m]	Linha Derivada (K')	2,75
Condutor 3	1,05 [m]		
Condutor d	0,00 [m]		
Ac. Vento Armação	28 [Kgs]	Isoladores LP	Amarração

Acção do Vento LP (V _{1i})	15,00
Acção do Vento LP (V _{2i})	9,00
Acção do Vento LD (V _{1i})	4,50
Acção do Vento LD (V _{2i})	7,50

Apoio de Reforço em Derivação (Alinhamento)

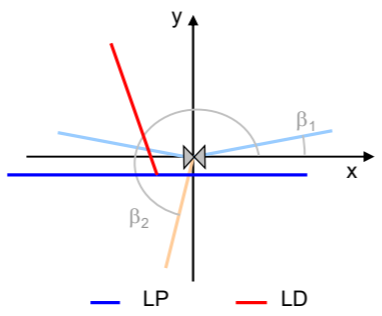
Hipotesse 1: Vento perpendicular à linha

Vento	LP	$V1 = K \cdot (W \cdot \cos^2 b1 \cdot (S1+S2)) + Vi$	279,0	[Kgf]
	LD	$V'1 = K' \cdot (W' \cdot \cos^2 b2 \cdot Sd) + V'1i$	13,6	[Kgf]
Tracção	LP	$Ty = K \cdot 2 \cdot T \cdot \sin b1$	0,0	[Kgf]
	LD	$T'y = K' \cdot T' \cdot \sin b2$	1164,7	[Kgf]
	LD	$T'x = K' \cdot T' \cdot \cos b2$	-378,4	[Kgf]
Totais	⊥ LP	$Fy = (V1 + V'1 + V'a) + Ty + T'y $	1485,3	[Kgf]
	// LP	$Fx = T'x $	378,4	[Kgf]

Hipotesse 2: Sem vento

Vento	LP	Sem Vento	0,0	[Kgf]
	LD	Sem Vento	0,0	[Kgf]
Tracção	LP	$Tx = 2 \cdot T$	890,6	[Kgf]
	LD	$T'y = K' \cdot T' \cdot \sin b2$	1164,7	[Kgf]
	LD	$T'x = K' \cdot T' \cdot \cos b2$	-378,4	[Kgf]
Totais	⊥ LP	$Fy = T'y $	1164,7	[Kgf]
	// LP	$Fx = T'x+T'y $	512,2	[Kgf]

Esquema Apoio a utilizar



Altura:	22	[m]
Esforço:	7500	[Kg]
Designação:	22MM12-7500-2500	

Tensão/flecha de montagem			
Temperatura	15	15	[°C]
Tracção S1	5,82	5,82	
Tracção S2	3,49	3,49	
Flecha S1	0,95	0,95	
Flecha S2	7,81	7,81	

Cálculo de Apoios MT

Normal
 Reforço
 Fim de Linha

Linha	Principal	Derivada	
Condutor	Al-Aço 50	Al-Aço 50	
Secção (A)	49,48	49,48	
Diametro (d)	9,00	9,00	
Peso unitário (W0)	0,169	0,169	
Esforço u. vento (W)	0,278	0,278	
Coef. Redução (α_1)	0,7	0,7	
Coef. Forma (c)	1,2	1,2	
Tracção maxima (Tm)	445	445	
Tracção max. Unitária (tm)	9	9	
Mod de elast. Inicial (B1)	6000	6000	
Mod de elast. Final (B2)	7490	7490	
C. Sobrecarga HI (m_1)	1,526	1,526	
C. Sobrecarga HP (m_2)	3,051	3,051	
Coef. Dilatação linear (α_2)	1,90E-05	1,90E-05	
Carga unit. s/ Vento (q0)	3,41E-03	3,41E-03	
P. Dinâmica Vento HI (q1)	30	30	
P. Dinâmica vento HP (q2)	75	75	
Tensão montagem (T)	281	269	
Tensão Mont. 15°C (t)	5,670	5,440	
Temperatura Montagem	15	15,0	
Vão Crítico	95,5	95,5	
Vão médio (S_m)	118,0	124,0	
Comprimento vão 1 (S_1)	123,9	124,0	
Comprimento vão 2 (S_2)	112,0		
Ângulo (β)	21,8	120,0	
Armação	GAN	Redução do esforço	
Condutor 1	0,50 [m]	Linha Principal (K)	2,48
Condutor 2	1,25 [m]	Linha Derivada (K')	2,06
Condutor 3	2,00 [m]	Isoladores LP	Amarração
Condutor d	3,20 [m]	Acção do Vento LP (V_{1i})	15,00
Ac. Vento Armação	25 [Kgs]	Acção do Vento LP (V_{2i})	9,00
		Acção do Vento LD (V'_{1i})	4,50
		Acção do Vento LD (V'_{2i})	7,50

Apoio de Derivação (Ângulo)

Hipotese 1: Vento paralelo à bissectriz do ângulo da linha Principal					
Vento	LP	$V1 = K \cdot (W \cdot \cos^2 b1 \cdot (S1+S2)) + Vi$	159,4	[Kgf]	
	LD	$V'1 = K' \cdot (W' \cdot \cos^2 b2 \cdot Sd) + V'1i$	11,3	[Kgf]	
Tracção	LP	$Ty = K \cdot 2 \cdot T \cdot \sin b1$	467,3	[Kgf]	
	LD	$T'y = K' \cdot T' \cdot \sin b2$	527,2	[Kgf]	
	LD	$T'x = K' \cdot T' \cdot \cos b2$	-171,3	[Kgf]	
Totais	⊥ LP	$Fy = (V1 + V'1 + V'a) + Ty + T'y $	1190,1	[Kgf]	
	// LP	$Fx = T'x $	171,3	[Kgf]	
Hipotese 2: Vento perpendicular à bissectriz do ângulo da linha Principal					
Vento	LP	$V2 = K \cdot (W \cdot \sin^2 b1 \cdot (S1+S2)) + V2i$	40,7	[Kgf]	
	LD	$V'2 = K' \cdot (W' \cdot \sin^2 b2 \cdot Sd) + V'2i$	79,7	[Kgf]	
Tracção	LP	$Ty = K \cdot 2 \cdot T \cdot \sin b1$	467,3	[Kgf]	
	LD	$T'y = K' \cdot T' \cdot \sin b2$	527,2	[Kgf]	
	LD	$T'x = K' \cdot T' \cdot \cos b2$	-171,3	[Kgf]	
Totais	⊥ LP	$Fy = Ty + T'y $	994,5	[Kgf]	
	// LP	$Fx = (V2 + V'2 + Va) + T'x $	316,6	[Kgf]	

Esquema	Apoio a utilizar	
	Altura:	16 [m]
	Esforço:	2750 [Kg]
	Designação:	16MM04-2750-960
	Tensão/flecha de montagem	
	Temperatura	15 [°C]
	Tracção S1	5,44
	Tracção S2	5,90
	Flecha S1	1,20
	Flecha S2	0,91

Cálculo de Apoios MT

Normal
 Reforço
 Fim de Linha

Linha	Principal	Derivada
Condutor	Al-Aço 50	Al-Aço 50
Secção (A)	49,48	[mm ²]
Diametro (d)	9,00	[mm]
Peso unitário (W0)	0,169	[daN/m]
Esforço u. vento (W)	0,278	[daN/m]
Coef. Redução (α_1)	0,7	
Coef. Forma (c)	1,2	
Tracção máxima (Tm)	445	[Kgf]
Tracção max. Unitária (tm)	9	[Kgf/mm ²]
Mod de elast. Inicial (B1)	6000	[Kgs/mm ²]
Mod de elast. Final (B2)	7490	[Kgs/mm ²]
C. Sobrecarga HI (m ₁)	1,526	[Kgs/m.mm ²]
C. Sobrecarga HP (m ₂)	3,051	[Kgs/m.mm ²]
Coef. Dilatação linear (α_2)	1,90E-05	
Carga unit. s/ Vento (q0)	3,41E-03	
P. Dinâmica Vento HI (q1)	30	[Kgf/m ²]
P. Dinâmica vento HP (q2)	75	[Kgf/m ²]
Tensão montagem (T)	289	[Kgf]
Tensão Mont. 15°C (t)	5,840	[Kgf/mm ²]
Temperatura Montagem	15	[°C]
Vão Crítico	95,5	[m]
Vão médio (S _m)	113,0	[m]
Comprimento vão 1 (S ₁)	113,0	[m]
Comprimento vão 2 (S ₂)		[m]
Ângulo (β)		[grados]
Armação	HRFSC	
Condutor 1	1,05 [m]	
Condutor 2	1,05 [m]	
Condutor 3	1,05 [m]	
Condutor d	[m]	
Ac. Vento Armação	28 [Kgs]	
Redução do esforço		
Linha Principal (K)	3,00	
Linha Derivada (K')		
Isoladores LP	Amarração	
Ação do Vento LP (V _{1i})	15,00	
Ação do Vento LP (V _{2i})	9,00	
Ação do Vento LD (V' _{1i})		
Ação do Vento LD (V' _{2i})		

Apoio de Fim de Linha

Hipótese 1: Vento perpendicular à linha				
Vento	LP	$V1 = K \cdot (W \cdot S1)$	94,3	[Kgf]
				[Kgf]
Tracção	LP	$Tx = 3 \cdot T$	1336,0	[Kgf]
				[Kgf]
				[Kgf]
Totais	⊥ LP	$Fy = (V1 + V'a)$	94,3	[Kgf]
	// LP	$Fx = Tx $	1336,0	[Kgf]
Hipótese 2: (não é de considerar)				
Vento	LP		0,0	[Kgf]
				[Kgf]
Tracção	LP		0,0	[Kgf]
				[Kgf]
				[Kgf]
Totais	⊥ LP		0,0	[Kgf]
	// LP		0,0	[Kgf]

Esquema	Apoio a utilizar	
	Altura:	14 [m]
	Esforço:	2250 [Kg]
	Designação:	14MP04-2250-740
	Tensão/flecha de montagem	
	Temperatura	15 15 [°C]
	Tracção S1	5,86 5,86
	Tracção S2	
	Flecha S1	0,93 0,93
	Flecha S2	

Características Eléctricas e Dimensionais dos Cabos de Alumínio com Alma de Aço - ALI/STIA

Designação		Area (mm ²)			Nº de fios		Diametro fios (mm)		Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20 °C	Modulo de Elasticidade Final ⁽²⁾ N/mm ²	Coeficiente linear de expansão 1/K	Capacidade Nominal ⁽¹⁾ A
Nova	Antiga	Alumínio	Aço	Total	Al	Aço	Alumínio	Aço	alma	cabo						
26-ALI/4-STIA	30	26.2	4.4	30.6	6	1	2.36	2.36	7.08	7.08	106.7	9.34	1.0932	76000	18.6E-6	150
42-ALI/7-STIA	50	42.4	7.1	49.5	6	1	3.00	3.00	9.00	9.00	172.4	14.93	0.6765	76000	18.6E-6	205
80-ALI/13-STIA	90	75.4	12.6	88.0	6	1	4.00	4.00	12.0	12.0	306.4	25.28	0.3806	76000	18.6E-6	300
80-ALI/47-STIA	Guinea 130	80.4	46.9	127.2	12	7	2.92	2.92	8.76	14.6	588.4	66.46	0.3598	104000	15.3E-6	325
96-ALI/56-STIA	Dorking 153	96.5	56.3	152.8	12	7	3.20	3.20	9.60	16.0	706.7	77.08	0.2992	104000	15.3E-6	365
94-ALI/22-STIA	Canna 116	94.2	22.0	116.2	30	7	2.00	2.00	6.00	14.0	432.2	42.41	0.3065	80000	17.9E-6	345
203-ALI/33-STIA	235	202.6	32.5	235.1	26	7	3.15	2.43	7.29	19.9	813.3	68.82	0.1425	73000	18.9E-6	565
136-ALI/22-STIA	Partridge 160	135.9	22.0	157.9	26	7	2.58	2.00	6.00	16.3	547.3	47.75	0.2124	73000	18.9E-6	435
212-ALI/49-STIA	Panther 260	212.1	49.5	261.5	30	7	3.00	3.00	9.00	21.0	972.4	90.76	0.1362	80000	17.9E-6	585
264-ALI/62-STIA	Bear 325	264.4	61.7	326.1	30	7	3.35	3.35	10.1	23.5	1212.6	109.38	0.1093	80000	17.9E-6	680
429-ALI/56-STIA	Zebra 485	428.9	55.6	484.5	54	7	3.18	3.18	9.54	28.6	1618.9	128.49	0.0674	70000	19.4E-6	915
565-ALI/30-STIA	Zambeze 595	565.4	29.6	595.0	42	7	4.14	2.32	6.96	31.8	1792.4	119.67	0.0511	62000	21.2E-6	1085

