



LINHAS AÉREAS, A 60kV, ENTRE AS SUBESTAÇÕES DOS SUB-PARQUES EÓLICOS DE ARGOMIL-MOURO E GALO-RAINHA À SUBESTAÇÃO 60/220kV DO SINCELO

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Julho 2018

ÍNDICE

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS.....	2
1.1. OBJETO	2
1.2. LOCALIZAÇÃO E TRAÇADO	2
1.3. CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS	3
1.4. CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS	3
1.5. CRITÉRIOS TÉCNICOS GERAIS	4
2. EQUIPAMENTOS.....	5
2.1. APOIOS	5
2.2. FUNDAÇÕES.....	5
2.3. LIGAÇÕES À TERRA	6
2.4. CABOS.....	6
2.4.1. ASPECTOS GERAIS DO DIMENSIONAMENTO	6
2.4.2. DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA.....	7
2.5. CADEIAS E ACESSÓRIOS.....	7
2.6. AMORTECEDORES	8
2.7. SINALIZAÇÃO	9
3. CÁLCULOS.....	9
3.1. CÁLCULOS MECÂNICOS	9
3.2. CÁLCULOS TÉRMICOS.....	10
3.3. CÁLCULOS ELÉTRICOS.....	11
3.3.1. Constantes elétricas características da Linha	11
3.4. CAMPO ELÉTRICO E CAMPO MAGNÉTICO	19
4. CONDICIONANTES LOCAIS DE INSTALAÇÃO.....	20
5. TRAVESSIAS E CRUZAMENTOS	20
5.1. Travessias de áreas classificadas (RAN, REN, Recursos Hídricos, etc.)	20
5.2. Travessias e cruzamentos com infraestruturas existentes.....	21
5.2.1. Travessias de autoestradas, estradas nacionais e municipais.....	22
5.2.2. Cruzamento com linhas aéreas de média, alta e muito alta tensão.....	22
5.2.3. Travessia de vias-férreas	22
6. BALIZAGEM AÉREA	22
6.1. BALIZAGEM DIURNA.....	23
6.2. BALIZAGEM NOTURNA.....	23
6.3. SINALIZAÇÃO PARA AVES	23
7. ANÁLISE DE RISCOS ORIGINADOS PELA PRESENÇA E FUNCIONAMENTO DA LINHA.....	23
7.1. Incêndios	24
7.2. Queda de apoios ou cabos	24
7.3. Contactos acidentais com elementos em tensão	25
7.4. Tensões induzidas	25
7.5. Obstáculos a ligar à terra e dimensionamento do circuito de terra.....	25
8. ELEMENTOS DE PROJETO	26
9. AUTORES DO PROJETO.....	27

1. CONSIDERAÇÕES GERAIS

1.1. OBJETO

O presente Projeto tem por objetivo definir todas as características das Linhas aéreas, a 60kV, que interligarão os Sub-Parques Eólicos de Argomil-Mouro e de Galo-Rainha, à Subestação (SE) 60/220kV do Sincelo.

O Sub-Parques Eólicos (SPE) acima referidos integram o Parque Eólico de Sincelo que é constituído pelos SPE de Argomil-Mouro (46,8MW) e de Galo-Rainha (46,8MW) cujo promotor é a Eólica do Sincelo, S.A. do grupo da EDP Renováveis.

As Linhas, a 60kV, a construir, destinam-se a escoar a energia produzida pelo SPE de Argomil-Mouro, a construir na Agregação das Freguesias Sul de Pinhel, concelho de Pinhel, e pelo SPE de Galo-Rainha, a construir na União de Freguesias de Avelãs de Ambom e Rocamondo, concelho da Guarda, para a Subestação 60/220kV do Sincelo, a construir na Freguesia de Baraçal, do Concelho de Celorico da Beira.

As Linhas desenvolver-se-ão em apoios de Linha Simples até ao Ponto de Confluência, a partir do qual seguem até à Subestação do Sincelo em apoios comuns de Linha Dupla, tal como representado na seguinte figura:



Fig1- Esquema de ligação das Linhas do PE Sincelo

1.2. LOCALIZAÇÃO E TRAÇADO

O Traçado das Linhas encontra-se representado no desenho n.º **0318038.01** - Planta Geral, à escala 1:25.000, que é parte integrante do presente projeto.

O somatório do comprimento dos troços de Linhas Simples e Dupla é de **15.528** metros.

As Linhas a construir, desenvolvem-se no Distrito da Guarda, nos seguintes concelhos e respetivas freguesias:

DISTRITO	CONCELHO	FREGUESIA
Guarda	Pinhel	Agregação de Freguesias do Sul de Pinhel
	Guarda	Vila Franca do Deão
		Pêra do Moço
		União das Freguesias de Avelãs do Ambom e Rocamondo
	Celorico da Beira	Baraçal
		União das Freguesias de Açores e Velosa

1.3. CONDIÇÕES TOPOGRÁFICAS

A presente infraestrutura situa-se em zona interior montanhosa, com encostas muito acidentadas pelo que se privilegiou a implementação do traçado a “meia-encosta” e localizar os respetivos apoios junto a acessos existentes. Verificam-se cotas do terreno entre 460 e 930 metros, tendo-se considerado manga de gelo de 10mm em toda a extensão do traçado das Linhas.

1.4. CARACTERÍSTICAS DAS LINHAS

Os troços de Linha Simples, até ao Ponto de Confluência das Linhas, têm as seguintes características:

- Nº de circuitos trifásicos: 1;
- Tensão nominal: 60kV;
- Tensão Máxima de Serviço: 72,5kV;
- Frequência: 50 Hz;
- Cabos Condutores: ACSR 485 (Zebra);
- Um cabo de guarda do tipo OPGW (AS/AA 32/113 ST 1x24 fibras óticas);
- Apoios metálicos da série “G” para Linhas Simples de Alta Tensão;
- Isoladores de vidro temperado do tipo U100BS;
- Cadeias de isoladores e acessórios adequados aos escalões de corrente de defeito de 20,0kA;
- Fundações dos apoios metálicos constituídas por dois maciços independentes.
- Comprimento: **3468 metros** (SPE Argomil-Mouro) e **93 metros** (SPE Galo-Rainha) .

O Troço Comum, do Ponto de Confluência das Linhas até à SE Sincelo, tem as seguintes características:

- Nº de circuitos trifásicos: 2, independentes;
- Tensão nominal: 60kV;
- Tensão Máxima de Serviço: 72,5kV;
- Frequência: 50 Hz;
- Cabos Condutores: 2 ternos equipados com ACSR 485 (Zebra);
- Um cabo de guarda do tipo OPGW (AS/AA 32/113 ST 1x24 fibras óticas);
- Apoios metálicos da série “F” para Linhas Duplas de Alta Tensão do tipo F30CD, F95CD e F165CD, apoios da família “W” para Linhas Duplas de Alta Tensão do tipo WR2 e apoios de betão do tipo “CAVAN” do tipo AK08-6000;
- Isoladores de vidro temperado do tipo U100BS;
- Cadeias de isoladores e acessórios adequados aos escalões de corrente de defeito de 20,0kA;

- Fundações dos apoios metálicos constituídas por dois maciços independentes no caso dos apoios F30CD e de quatro maciços independentes no caso dos restantes apoios metálicos. Nos apoios de betão as fundações são constituídas por um maciço monobloco;
- Comprimento: **11 967 metros**.

1.5. CRITÉRIOS TÉCNICOS GERAIS

Na elaboração do presente Projeto foram tomadas em consideração todas as disposições regulamentares aplicáveis, nomeadamente:

- EN 50341-3-17 Overhead electrical lines exceeding AC 45 kV;
- RSLEAT - Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta tensão (DR 1/92);
- Circulares dos Serviços de Aviação Civil;
- Circulares dos Serviços de Hidráulica;
- Regulamento de Proteção às Espécies Florestais e Agrícolas;
- Servidões Administrativas;
- Normas Nacionais e Internacionais Sobre os Temas:
 - Efeitos dos Campos Eletromagnéticos;
 - Tensões Induzidas.

No quadro seguinte indicam-se algumas das especificações de fabrico/montagem dos materiais principais a aplicar:

Utilização	Ref. da Especificação	Descrição
Linhas Aéreas	DMA-C34-120/N (5ª Ed. – Set 2010)	Condutores Nus de Alumínio com Alma de Aço.
	DMA-C34-122/N (Abr 2010)	Condutores Nus Para Linhas Aéreas – cabos de guarda com fibra óptica (OPGW)
	DMA-C65-110/N (2ª Ed. – Jan 2007)	Descarregadores de Sobretensões de óxido de Zinco.
	DMA-C65-210/N (2ª Ed. – Set 2005)	Eléctrodos de Terra
	DMA-C66-140/N (2ª Ed. – Jun 2008)	Isoladores para linhas Aéreas.
	DMA-C66-802/N (1ª Ed. – Jun 2002)	Terminais de aperto mecânico para linha aéreas nuas.
	DMA-C66-803/N (1ª Ed. - Mai 2002)	Conectores paralelos de aperto mecânico para linhas aéreas nuas.
	DMA-C66-902/N	Conjuntos de acessórios para cadeias de amarração e de suspensão.
	DMA-C66-915/N (1ª Ed – Nov 2005)	Bolas de balizagem diurna de condutores e cabos de guarda.
	DMA-C66-916/N (1ª Ed – Nov 2005)	Luzes de baixa intensidade para balizagem noturna de obstáculos.
	DMA-C66-917/N (1ª Ed – Jan 2006)	Balizadores.
	DMA-C67-020/N	Postes de aço reticulados da série F para linhas AT
	DMA-C67-225/N (1ª Ed. – Jun 2005)	Postes de Betão armado para linhas AT.
	DMA-C67-605/N (1ª Ed. – Set 2004)	Armações para postes de betão de linhas AT.
Geral	DRE-C10-001/N (1ª Ed. Jan 2008)	Guia de Coordenação de Isolamento.
	DRE-C11-040/N (2ª Ed. Mai 2007)	Guia Técnico de Terras

Em tudo o omissos serão observadas as Normas e Regras de Segurança EDPD em vigor.

2. EQUIPAMENTOS

2.1. APOIOS

Serão utilizados os apoios metálicos normalizados das séries “G”, para Linha Simples, e apoios “F” e “W” para Linha Dupla. Serão utilizados ainda postes de betão do tipo “CAVAN”, dos tipos indicados nos Elementos Gerais e no Perfil Longitudinal.

Os apoios acima referidos e respetivas fundações fazem parte de licenciamentos existentes na DGE, pelo que se referem seguidamente as respetivas características gerais.

Os apoios metálicos a utilizar são constituídos por estruturas inteiramente aparafusadas, apresentando os seus elementos constituintes as seguintes características principais:

- cantoneiras de abas iguais em aço laminado a quente, qualidade S275JR NP EN 10025 (Eq. Fe 430B/St 37.2), com tensão de cedência $\sigma_c = 275 \text{ N/mm}^2$;
- chapas, igualmente em aço laminado a quente, qualidade S275JR;
- parafusos de rosca métrica, segundo norma DIN 7990 – classe 5.6;
- porcas de rosca métrica, segundo norma DIN 934 – classe 5;
- anilhas planas, conforme DIN 7989;
- Componentes serão galvanizados por imersão a quente, segundo Norma Nacional NP EN ISO 1461:2002.

Os tipos de apoios a instalar, de acordo com a função, são os seguintes:

TIPO APOIO	FUNÇÃO
GR	LINHA SIMPLES, SUSPENSÃO EM ALINHAMENTO
GS	LINHA SIMPLES, REFORÇO / ÂNGULO / FIM DE LINHA
W	LINHA DUPLA, AMARRAÇÃO EM ALINHAMENTO / ÂNGULO
F30CD	LINHA DUPLA, SUSPENSÃO EM ALINHAMENTO
F95CD	LINHA DUPLA, REFORÇO / ÂNGULO
F165CD	LINHA DUPLA, REFORÇO / ÂNGULO / FIM DE LINHA
BETÃO	AMARRAÇÃO EM ALINHAMENTO

O subtipo e altura de cada apoio estão indicados nos Elementos Gerais da Linha e no Perfil longitudinal da Linha.

As silhuetas dos apoios integram o Anexo 1 da presente Memória Descritiva.

2.2. FUNDAÇÕES

O tipo e dimensões das fundações para os apoios metálicos são os normalmente usados, para os respetivos tipos de apoios e serão constituídas por dois maciços independentes nos apoios do tipo F30CD e por quatro maciços independentes no caso dos restantes tipos de apoios metálicos.

No caso dos apoios de betão a fundação consiste num maciço monobloco. As fundações dos apoios de betão foram dimensionadas pelo método de Sulzberger e têm as dimensões normalizadas e adotadas na EDP Distribuição para os diversos tipos de terrenos definidos no RSLEAT. Admitiu-se um coeficiente de compressibilidade do terreno de 70N.cm^{-3} .

As fundações para os diversos apoios a utilizar, foram projetadas para terrenos as seguintes características geotécnicas médias:

- . Massa Volúmica..... 1600 kg/m^3
- . Ângulo do talude natural..... 30° a 32°
- . Pressão admissível..... 200 a 300 kPa

Estas fundações são para tipos de terrenos considerados normais. Caso, durante a construção, se verifique a existência de terrenos com características diferentes, estes serão avaliados caso a caso, preconizando-se soluções tecnicamente adequadas para cada caso.

Na execução dos maciços de fundação deverá ser utilizado betão pronto da classe C30-37.

Os esquemas das fundações dos apoios integram o Anexo 2 a esta Memória Descritiva.

2.3. LIGAÇÕES À TERRA

O traçado das Linhas atravessa zonas que se podem classificar de pouco frequentadas.

Todos os apoios serão ligados à terra por intermédio de elétrodos de terra constituídos por varetas de “Copperweld” de 14,3 mm de diâmetro e 2 metros de comprimento e um revestimento mínimo de cobre de 0,25mm de espessura.

Cada elétrico, por montante de base, será ligado à estrutura do apoio através de cabo de cobre de secção não inferior a 35 mm^2 .

Como base, partir-se-á do princípio da ligação individual de cada apoio à terra por meio de um elétrico por maciço independente.

Se, nas medições a efetuar no decurso da montagem, os valores de terra obtidos ultrapassarem os regulamentares, deverá proceder-se ao seu melhoramento através de colocação de terra vegetal e/ou montagem de elétrodos suplementares ligados em série ou em paralelo, consoante as características do terreno, anéis e/ou outros sistemas a estudar caso a caso, sempre respeitando o “Guia Técnico de Terras” da EDP Distribuição. Com este tipo de ligação espera-se conseguir obter valores de resistência de terra inferiores a 20ohm . Se nas medições a obter em fase de montagem, os valores forem superiores, deverá a malha de terra ser melhorada por meio de colocação de terra “vegetal”, e/ou adição de varetas em série ou paralelo.

2.4. CABOS

2.4.1. ASPECTOS GERAIS DO DIMENSIONAMENTO

Os cabos a instalar nas linhas aéreas são do tipo:

- Cabos Condutores: ACSR 485mm^2 (Zebra); e
- Cabo de guarda: tipo OPGW (AS/AA 32/113 ST1x24F) com 24 fibras óticas incorporadas.

Os cabos foram dimensionados de forma a garantir o normal funcionamento da Linha, conciliando o aspetos técnicos, económicos e ambientais.

Os cabos condutores serão dispostos galhardete nos troços de Linha simples, nos apoios tipo “G” em esteira vertical dupla nos apoios da família “F” e “W”.

Serão ainda dispostos em esteira horizontal no apoio P62/48, por meio de três apoios de betão em pórtico, para permitir a travessia inferior das Linhas de 220kV (n.ºs 2124 e 2125), da REN, S.A.

2.4.2. DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA

As distâncias de segurança, particularmente aos obstáculos a sobre passar (solo, árvores, e estradas, etc.), são avaliadas para a situação de flecha máxima, ou seja, temperatura dos condutores de 75 °C sem sobrecarga de vento.

Neste Projeto as distâncias mínimas consideradas são as seguintes:

DISTÂNCIAS DE SEGURANÇA	Regulamentares	Projeto
Solo	6,3m	8,0m
Árvores	2,5m	5m
Edifícios	4,0m	5,0m
Estradas	7,0m	10m
Vias-Férreas eletrificadas ou cuja eletrificação esteja prevista	12,5m	13,5m
Linhas aéreas cruzadas superiormente	3,0m	4,0m
Linhas aéreas cruzadas inferiormente	4,46m ¹	5,0m

2.5. CADEIAS E ACESSÓRIOS

Os isoladores a utilizar são do tipo U100BS e as suas características são as seguintes:

- Diâmetro do espigão 16 mm
- Carga de rutura eletromecânica 100 kN
- Passo nominal 127 mm
- Comprimento de linha de fuga 315 mm
- Diâmetro do disco isolante 255 mm
- Tensão de perfuração à frequência industrial sob chuva (eficaz) 40 kV
- Tensão suportável ao choque atmosférico a seco (pico) 70 kV

Considerou-se neste Projeto o nível de poluição médio, pelo que linha de fuga específica é de 20mm/kV e consequentemente a linha de fuga mínima será de 1450mm por cadeia. Uma vez que o tipo de isolador adotado (U100BS) tem uma linha de fuga de 315mm por elemento isolador, a constituição mínima da cadeia é de 4,60 isoladores, ou seja, no mínimo 5 unidades. De acordo com estas considerações e atendendo a que todas as cadeias foram reforçadas com mais um isolador, a composição adequada para os diferentes tipos de cadeias é a seguinte:

¹ Distância mínima à Linha 220kV REN, a verificar no vão P62/48 – P63/49 onde: $D = 1,5 + 0,01 \cdot U + 0,005 \cdot L$ (artigo 109º RSLEAT): sendo $U=220kV$ e $L=152m$ (distância do apoio de 220kV mais próximo).

- | | |
|---|--------------|
| • Cadeias de amarração simples ao pórtico | 1 x 6 U100BS |
| • Cadeias de amarração simples | 1 x 6 U100BS |
| • Cadeias de suspensão simples | 1 x 6 U100BS |

As cadeias de isoladores da linha deverão ser dotadas de hastes de descarga fixas, superiores e inferiores, excluindo as cadeias de amarração da linha nos pórticos das Subestações que deverão ser dotadas de hastes de descarga reguláveis.

As hastes de descarga a utilizar são de varão de aço com um diâmetro de 16mm e a carga de rutura mínima especificada dos acessórios será de 120 kN.

A distância entre as hastes de guarda (explosores) das cadeias de amarração aos pórticos das Subestações deverá ser de 300mm.

Os acessórios dos condutores são dimensionados para suportar sem qualquer dano a corrente de defeito de 20 kA durante um segundo.

As uniões e as pinças de amarração são do tipo de compressão, constituídas por um tubo de aço que se comprime sobre a alma de aço e por um tubo de alumínio que se comprime sobre a superfície do condutor. Qualquer destes acessórios possui uma carga de rutura idêntica à dos cabos a que se destina, e particularmente as uniões garantem a carga de rutura teórica daqueles cabos, com uma resistência elétrica inferior a um troço de cabo de igual comprimento.

As pinças de suspensão para fixação dos cabos nos apoios de suspensão são do tipo "AGS, armour-grip suspension". O ângulo máximo de enrolamento dos cabos na pinça é de 120º.

As mangas de reparação são constituídas por duas peças de alumínio a comprimir sobre o cabo nas zonas em que apenas alguns fios da camada exterior se encontram danificados. Sempre que um ou mais fios das camadas interiores se encontrar danificado será aplicada uma união de compressão.

A amarração de cabos com fibras óticas deverá ser executada sem corte do cabo, devendo os acessórios para amarração realizar o aperto do cabo por intermédio de varetas pré-formadas, de acordo com as especificações do fabricante.

2.6. AMORTECEDORES

Consideram-se aqui os problemas de fadiga causada por vibrações eólicas sobre os fios dos cabos, uma vez que este problema não se coloca em relação aos apoios (este têm uma frequência própria de vibração muito baixa). Apesar das conhecidas características redutoras de danos de fadiga nos cabos condutores associadas ao uso de pinças de suspensão AGS, tanto estes como o cabo de guarda estão sujeitos a regimes de vibrações eólicas que exigem a adoção de sistemas especiais de amortecimento das mesmas.

Alguns fatores determinam o comportamento dos cabos nestas circunstâncias:

- Características de inércia (massa) e de elasticidade;
- Tensão mecânica de esticamento (normalmente referenciada ao EDS);
- Geometria dos vãos;
- Regime dos ventos;
- Orografia do terreno;

Para efeitos de estimativa de quantidades de Projeto considerou-se o critério de aplicação de 1 amortecedor por vão. O critério de colocação de amortecedores será determinado após a aprovação das condições de regulação dos cabos, elaborado com base em estudos específicos a realizar pelo fornecedor

deste tipo de equipamento. Os fabricantes dos amortecedores de vibrações serão os responsáveis por fornecer a informação necessária relativa à sua localização junto dos pontos de fixação dos cabos, em função dos seus próprios ensaios de amortecimento e condições próprias de cada tipo de amortecedor.

2.7. SINALIZAÇÃO

Cada apoio deve possuir sinalização claramente visível a partir do solo, constante de:

- Chapa de sinalização ou de advertência com o texto “PERIGO DE MORTE”;
- Chapa de identificação com a sigla da linha e número de ordem do apoio na linha;
- Chapa de numeração na cabeça do apoio para permitir identificar o apoio durante as rondas aéreas (de cinco em cinco apoios);

3. CÁLCULOS

3.1. CÁLCULOS MECÂNICOS

No cálculo mecânico dos cabos considerou-se o método hiperbólico nas ações dos cabos sem a sobrecarga do vento e o método dos elementos finitos aquando da sobrecarga de vento.

Relativamente aos cabos condutores, o cálculo mecânico foi considerado para os seguintes estados finais:

- Flecha Máxima (75°C sem vento);
- EDS (15°C sem vento);
- Temperatura de +15°C com vento máximo habitual (900Pa);
- Temperatura de -10°C com vento reduzido (360Pa) e manga de gelo (10mm);

No presente projeto, atendendo às trações suportáveis pelos apoios da família “F”, foi considerado o valor máximo da tração dos cabos condutores ACSR 485 (Zebra) de **6daN/mm²**.

Os Parâmetros dos cabos condutores para as condições de Flecha Máxima (75°C sem vento) encontram-se indicados no Perfil Longitudinal.

Relativamente ao cabo de guarda do tipo OPGW, o cálculo mecânico foi considerado para os seguintes estados finais:

- Flecha Máxima (50°C sem vento);
- Flecha Mínima (-10°C sem vento);
- EDS (15°C sem vento);
- Temperatura de +15°C com vento máximo habitual (900Pa);
- Temperatura de -10°C com vento reduzido (360Pa) e manga de gelo de (10mm);

Os Parâmetros do cabo de guarda do tipo OPGW para as condições de Flecha Mínima (-10°C sem vento) encontram-se indicados no Perfil Longitudinal.

No presente Projeto, foi considerado o valor máximo da tração do cabo OPGW de **12daN/mm²**.

Para o cálculo mecânico foram observadas as seguintes condições:

- A tração máxima não exceder 40% da carga de rotura dos cabos;
- O EDS na ordem dos 22% podendo chegar, em casos especiais, ao limite os 25%;
- A capacidade mecânica de cada apoio não será excedida, particularmente pela ocorrência de diferenças de trações longitudinais;
- O ângulo de mergulho compatível com as distâncias de segurança à massa e com os acessórios de fixação do cabo;
- A inclinação das cadeias compatível com as distâncias de segurança à massa (considerando-se metade da pressão dinâmica do vento máximo habitual);
- A relação de flechas, no EDS, entre os cabos de guarda e os condutores não exceder 0,85;

3.2. CÁLCULOS TÉRMICOS

Regime permanente

Este regime é definido para uma temperatura máxima do condutor, definida para o compromisso económico de máximo na relação (transporte anual de energia)/(perdas energéticas). Esta temperatura está definida como sendo de 75 °C. O modelo de cálculo tem em conta a dissipação térmica da energia elétrica nos condutores (efeito Joule) em resultado da passagem de corrente e a interação dos condutores com o meio envolvente em termos de energia radiante. O modelo utilizado é conhecido por modelo de Kuipers-Brown que se pode escrever:

$$C \cdot S \cdot dT = P_j \cdot dt + P_s \cdot dt - P_c \cdot dt - P_i \cdot dt$$

ou

$$C \cdot S \cdot \frac{dT}{dt} = I^2 \cdot R_T + \alpha \cdot R \cdot d - 8.55 \cdot (T - T_A) \cdot (v \cdot d)^{0.448} - E \cdot \sigma \cdot \pi \cdot d \cdot (T^4 - T_A^4)$$

onde C.S.dT é a energia térmica armazenada no condutor durante o tempo dt, P_j.dt é a energia Joule, P_s.dt a energia absorvida a partir da radiação solar, P_c.dt a energia perdida por convecção (para velocidades do vento superiores a 0,2 m/s, ou seja, convecção forçada) e P_i.dt a energia perdida por irradiação. Por sua vez os restantes parâmetros têm o significado seguinte:

C = capacidade calorífica (W.s/m³)

S = Secção transversal (m²)

T = temperatura absoluta do condutor (°K)

t = tempo (s)

R_T = resistência elétrica à temperatura absoluta T (Ω)

α = coeficiente de absorção solar (0,5)

R = radiação solar (1000 W/m²)

d = diâmetro do condutor (m)

T_A = temperatura ambiente absoluta (°K)

v = velocidade do vento (0,6 m/s para o regime de calma)

E = poder emissivo em relação ao corpo negro (0,6)

σ = constante de Steffan (5,7e-8 W/m².K⁴)

No modelo acima, o regime permanente traduz-se por ser

$$\frac{dT}{dt} = 0$$

A corrente admissível é, no fundamental, função do aquecimento dos condutores (diferença da temperatura do condutor e da temperatura ambiente) traduzindo-se a ação daquele aquecimento em:

- Perdas por efeito de Joule;
- Flechas máximas com incidência nas distâncias mínimas ao solo e outros obstáculos;
- Comportamento dos acessórios (pontos quentes);
- Envelhecimentos dos condutores;

A corrente máxima admissível para o cabo ACSR 485 (Zebra), na situação de Verão, é de 906A e na situação de Inverno é de 1064A.

Regime curto-circuito

O dimensionamento térmico dos cabos condutores é normalmente condicionado pelo regime permanente.

No entanto, na situação de curto-circuito, a temperatura dos cabos de guarda em alumínio-aço não deve ultrapassar os 200°C para se evitar o envelhecimento prematuro.

No caso dos condutores não homogêneos (alumínio-aço), deve considerar-se uma temperatura máxima de 125°C a fim de se obter a melhor compatibilidade entre o escalão da corrente de defeito e os respetivos aumentos de flechas a altas temperaturas.

RESULTADOS

Considera-se para efeitos de dimensionamento que apenas 75% da corrente de defeito circula pelo cabo (os restantes 25% escoam diretamente para a terra), logo o cabo de guarda do tipo *OPGW*, perante um escalão de 17kA, é percorrido por uma corrente de 12,11kA e atinge a temperatura de 200°C num espaço de tempo de 1,017 segundos.

O cabo condutor *ACSR 485mm²*, segundo a metodologia apresentada anteriormente, partindo de 75°C demora 4,39 segundos a atingir a temperatura de 125°C ao ser percorrido por uma corrente de curto-circuito de 17kA.

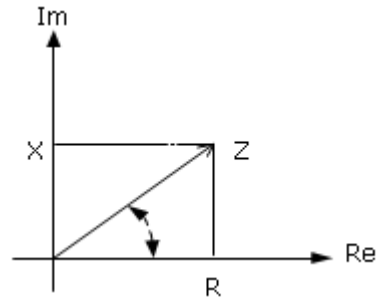
3.3. CÁLCULOS ELÉTRICOS

3.3.1. Constantes elétricas características da Linha

A metodologia de cálculo é a seguinte:

CÁLCULO DA IMPEDÂNCIA

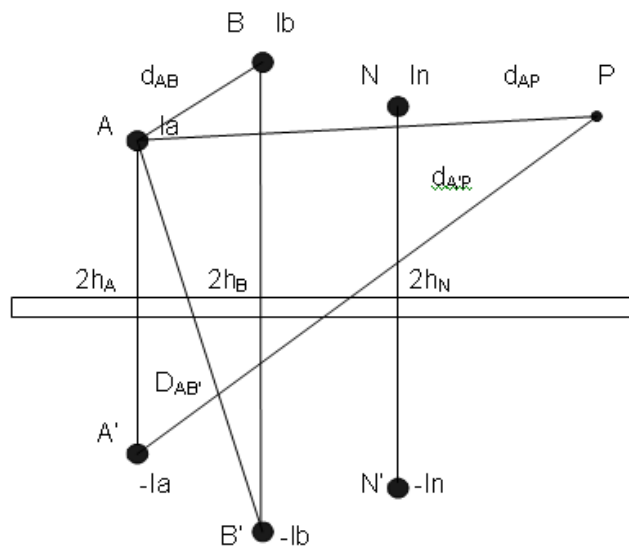
A impedância de um condutor é matematicamente representada por um número complexo cuja representação no plano complexo é um vetor. A parte real vem dada pela resistência e a parte imaginária representa a indutância.



Impedância no Plano Complexo

$$\begin{cases} Z = R + jX \\ Z = |Z|e^{j\alpha} \end{cases}, \text{ onde } \begin{cases} |Z| = \sqrt{R^2 + X^2} \\ \alpha = \tan^{-1}\left(\frac{X}{R}\right) \end{cases}$$

Método das Imagens Num Sistema de N Condutores



Admitindo-se que um conjunto de n condutores de raios r_a, \dots, r_n perfeitamente cilíndricos e retilíneos, suspensos no ar a uma altura h_a, \dots, h_n e considerando-se também a passagem de um sistema de correntes I_a, \dots, I_n cujo retorno é feito pela presença de n condutores fictícios, considerados ideais, situados a uma profundidade no solo igual à altura e paralelos aos condutores principais, estes recebem a designação de *condutores imagem*. Com o auxílio do ponto de referência P pode calcular-se o fluxo que abraça o condutor A . Pode verificar-se posteriormente que seguindo um raciocínio análogo para cada um dos condutores se pode chegar a resultados semelhantes. O condutor A é abraçado pelo próprio fluxo interno e externo produzido pela corrente I_a . O fluxo externo considerado é aquele que se estende desde a superfície do condutor até ao ponto P .

$$\phi_{aPa} = 2 \times 10^{-7} I_a \ln \left(\frac{d_{aP}}{r_a} \right)$$

O condutor A é também abraçado pelo fluxo externo criado pelas correntes que circulam em cada um dos restantes condutores, que se estende até ao ponto P , tomando assim a forma geométrica de:

$$\phi_{aPn'} = 2 \times 10^{-7} I_n \ln \left(\frac{d_{nP}}{d_{AN}} \right)$$

Relativamente aos condutores imagem estes contribuem com os seguintes fluxos respetivamente associados ao condutor A' e ao condutor N'.

$$\phi_{aPa'} = -2 \times 10^{-7} I_a \ln \left(\frac{d_{a'P}}{2h_a} \right)$$

$$\phi_{aPn'} = -2 \times 10^{-7} I_n \ln \left(\frac{d_{n'P}}{d_{AN}} \right)$$

Ora o fluxo total no condutor A relativamente ao ponto P vem dado pela soma das contribuições individuais de cada um dos restantes condutores:

$$\phi_{aP} = 2 \times 10^{-7} \left[I_a \ln \left(\frac{d_{aP}}{r_a'} \right) - I_a \ln \left(\frac{d_{a'P}}{2h_a} \right) + \dots + I_n \ln \left(\frac{d_{nP}}{d_{AN}} \right) - I_n \ln \left(\frac{d_{n'P}}{d_{AN}} \right) \right]$$

Ou escrita da seguinte forma:

$$\phi_{aP} = 2 \times 10^{-7} \left[I_a \ln \left(\frac{1}{r_a'} \right) - I_a \ln \left(\frac{1}{2h_a} \right) + I_a \ln \left(\frac{d_{aP}}{d_{a'P}} \right) + \dots + I_n \ln \left(\frac{D_{AN}}{d_{AN}} \right) - I_n \ln \left(\frac{d_{n'P}}{d_{nP}} \right) \right]$$

Se se considerar o ponto de referência P suficientemente afastado para que os quocientes $\left(\frac{d_{n'P}}{d_{nP}} \right)$ se aproximem da unidade a equação anterior transforma-se em:

$$\phi_a = 2 \times 10^{-7} \left[I_a \ln \left(\frac{2h_a}{r_a'} \right) + \dots + I_n \ln \left(\frac{D_{AN}}{d_{AN}} \right) \right]$$

Para um grupo de dois condutores A e B o sistema pode ser descrito de forma matricial:

$$\begin{bmatrix} \phi_a \\ \phi_b \end{bmatrix} = 2 \times 10^{-7} \begin{bmatrix} f_{aa} & f_{ab} \\ f_{ba} & f_{bb} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \end{bmatrix} \quad [Wb.m^{-1}]$$

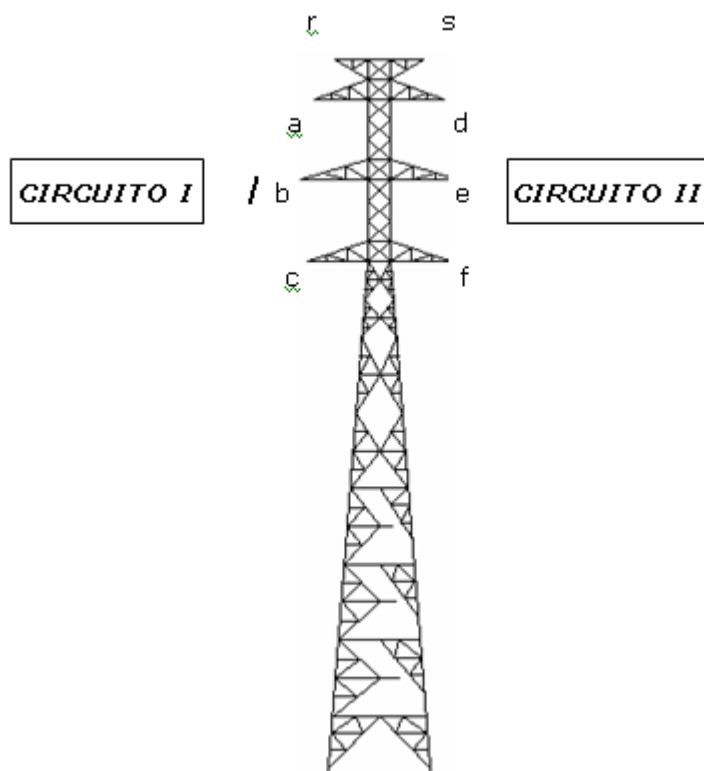
Pela definição de indutância tem-se a seguinte matriz de indutâncias:

$$[L] = 2 \times 10^{-7} \begin{bmatrix} \ln \left(\frac{2h_a}{r_a'} \right) & \ln \left(\frac{D_{AB}}{d_{AB}} \right) \\ \ln \left(\frac{D_{BA}}{d_{BA}} \right) & \ln \left(\frac{2h_b}{r_b'} \right) \end{bmatrix} \quad [H.m^{-1}]$$

O transporte e distribuição de energia elétrica são feitos neste caso por uma linha elétrica trifásica. As linhas podem ter um ou mais circuitos cuja distribuição espacial pode assumir diversas configurações,

sendo ainda necessário levar em conta a presença ou não dos cabos de guarda. O cálculo parte do pressuposto equilíbrio no sistema trifásico de tensões alternadas sinusoidais.

Para a construção da matriz de indutâncias contam todos os cabos presentes no sistema. Esta é uma matriz quadrada, cujo número de linhas e de colunas é igual ao número de cabos. Neste texto far-se-á a demonstração para uma linha de duplo circuito trifásico. Inicialmente determinar-se-á a matriz de indutâncias, para depois aplicar-se um método de redução a um circuito equivalente de apenas três fases



$$\begin{bmatrix} \phi_a \\ \phi_b \\ \phi_c \\ \Lambda \\ \phi_r \\ \phi_s \\ \Lambda \\ \phi_d \\ \phi_e \\ \phi_f \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} f_{aa} & f_{ab} & f_{ac} & M & f_{ar} & f_{as} & M & f_{ad} & f_{ae} & f_{af} \\ f_{ba} & f_{bb} & f_{bc} & M & f_{br} & f_{bs} & M & f_{bd} & f_{be} & f_{bf} \\ f_{ca} & f_{cb} & f_{cc} & M & f_{cr} & f_{cs} & M & f_{cd} & f_{ce} & f_{cf} \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda \\ M & M & M & M & f_{rr} & f_{sr} & M & f_{rd} & f_{re} & f_{rf} \\ M & M & M & M & f_{sr} & f_{ss} & M & f_{sd} & f_{se} & f_{sf} \\ \Lambda & \Lambda & \Lambda & M & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda & \Lambda \\ M & M & M & M & M & M & M & f_{dd} & f_{de} & f_{df} \\ M & M & M & M & M & M & M & f_{ed} & f_{ee} & f_{ef} \\ M & M & M & M & M & M & M & f_{fd} & f_{fe} & f_{ff} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \\ \Lambda \\ I_r \\ I_s \\ \Lambda \\ I_d \\ I_e \\ I_f \end{bmatrix}$$

$$\begin{cases} f_{ii} = 2 \times 10^{-4} \ln \left(\frac{2h_i}{r_i'} \right) \\ f_{ij} = 2 \times 10^{-4} \ln \left(\frac{D_{ij}}{d_{ij}} \right) \end{cases}$$

Esta equação pode ser escrita de forma mais compacta:

$$\begin{bmatrix} \phi_I \\ \phi_G \\ \phi_{II} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_I & F_{G-I} & F_{II-I} \\ F_{I-G} & F_G & F_{II-G} \\ F_{I-II} & F_{G-II} & F_{II} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} I_i \\ I_G \\ I_{II} \end{bmatrix}$$

Admitindo que os circuitos são idênticos ou seja que $[I_I] = [I_{II}]$ e considerando que o circuito composto pelos cabos de guarda se encontra solidamente ligado à terra pelo que $[\phi_G] = 0$ vem:

$$\begin{cases} [\phi_I] = [F_I][I] + [F_{G-I}][I_G] + [F_{II-I}][I] \\ 0 = [F_{I-G}][I] + [F_G][I_G] + [F_{II-G}][I] \end{cases} \Rightarrow [I_G] = -[F_G]^{-1}[F_{I-G} + F_{II-G}][I]$$

Compondo a primeira equação do sistema anterior com esta última:

$$\begin{cases} [\phi_I] = [F]_{eq}[I] \\ [F]_{eq} = [F_I + F_{II-I}] - [F_{G-I}][F_G]^{-1}[F_{I-G} + F_{II-G}] \end{cases}$$

Para o circuito II virá:

$$\begin{cases} [\phi_{II}] = [F]_{eq}[I] \\ [F]_{eq} = [F_{II} + F_{I-II}] - [F_{G-II}][F_G]^{-1}[F_{I-G} + F_{II-G}] \end{cases}$$

$$[F]_{eq} = \begin{bmatrix} F_{11} & F_{12} & F_{13} \\ F_{21} & F_{22} & F_{23} \\ F_{31} & F_{32} & F_{33} \end{bmatrix}$$

As expressões para o cálculo da impedância direta e homopolar podem ser escritas da seguinte forma:

$$\begin{cases} L_{11} = \frac{F_{11} + F_{12} + F_{13}}{3} \\ L_{12} = \frac{F_{12} + F_{23} + F_{13}}{3} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} L_s = L_{11} + L_{12} \\ L_0 = L_{11} - 2L_{12} \end{cases} [H.m^{-1}]$$

A indutância inversa pode ser igualada à direta ou de serviço desde que possam ser desprezados os efeitos da presença de máquinas elétricas, geradores e motores, na rede.

Configuração de Mínima Indutância

Com o objetivo de minimizar o valor da indutância em sistemas de duplo circuito trifásico é corrente a troca das fases num circuito pelo que $[I_I]$ deixa de ser igual a $[I_{II}]$. Atendendo à ordem de fases da figura

anterior, se estas forem trocadas no circuito II passa a ser $\begin{cases} I_a = I_f \\ I_b = I_e \\ I_c = I_d \end{cases}$. Para que a matriz esteja correta, será

necessário a troca das colunas respetivas às fases trocadas nas matrizes de acoplamento entre os dois

circuitos $[F_{II-I}] = \begin{bmatrix} f_{af} & f_{ae} & f_{ad} \\ f_{bf} & f_{be} & f_{bd} \\ f_{cf} & f_{ce} & f_{cd} \end{bmatrix}$ e $[F_{I-II}] = \begin{bmatrix} f_{dc} & f_{db} & f_{da} \\ f_{ec} & f_{eb} & f_{ea} \\ f_{fc} & f_{fb} & f_{fa} \end{bmatrix}$.

Cálculo da Matriz das Resistências

$$[R] = \begin{bmatrix} r_i & \Lambda & 0 \\ M & O & M \\ 0 & \Lambda & r_n \end{bmatrix} [\Omega.m^{-1}]$$

O cálculo da resistência dos cabos parte do valor da resistência em corrente contínua a 20 °C. Para calcular a resistência em corrente alternada é necessário levar em conta o efeito pelicular. A temperatura exerce também influência importante, pelo que a resistência necessita de ser corrigida devido à sua variação.

$$\begin{cases} r_i = \xi r_{cc} [1 + \alpha(t - 20)] (\Omega.m^{-1}) \\ \alpha [^\circ C] - Coef.Temperatura \\ \xi - Coef.EfeitoPelicular \end{cases}$$

Método de Carson

Até agora o retorno pelo solo era executado considerando uns condutores ditos ideais. Num sistema trifásico de tensões alternadas sinusoidais que seja equilibrado as correntes que circulam pelo solo são mínimas pelo que será desnecessário o recurso ao estudo das componentes simétricas. No entanto para permitir a descrição do sistema quando se encontra sujeito a um regime desequilibrado de tensões, será necessário determinar com exatidão o valor dos parâmetros que o caracterizam nas suas componentes simétricas, nomeadamente o homopolar.

A título de exemplo, para se conhecer a grandeza da corrente de curto-circuito fase-terra é necessário saber-se qual a impedância que o percurso constituído pelos cabos de guarda em paralelo com o solo apresenta. Para tal J. R. Carson apresentou um método de cálculo da impedância nas suas componentes simétricas para linhas elétricas que leva em conta a resistividade do solo e a forma como as correntes nele se propagam.

Partindo do cálculo da matriz das resistências e das indutâncias, o método de Carson baseia-se na estimação de um fator de correção $[P(p, \theta)] + j[Q(p, \theta)]$ que depende dos parâmetros p e θ que variam entre elementos na diagonal principal e fora dela.

$$\Rightarrow \text{Elementos da Diagonal Principal} \quad \begin{cases} p_{ii} = 5,62 \times 10^{-3} h_i \sqrt{\frac{f}{\rho}} \\ \theta_{ii} = 0 \\ \rho [\Omega.m] = \text{Resistividade do solo} \end{cases}$$

⇒ **Elementos Fora da Diagonal Principal**

$$\begin{cases} p_{ij} = 28,104 \times 10^{-4} D_{ij} \sqrt{\frac{f}{\rho}} \\ \theta_{ij} = 0 \\ x_{ij} = \text{Pr ojecção horizontal de } d_{ij} \end{cases}$$

Os termos de $[P]$ e $[Q]$ vêm dados por:

$$P = \frac{\pi}{8} - \frac{p \cos(\theta)}{3\sqrt{2}} + \frac{p^2}{16} \cos(2\theta) \left(0.6728 + \ln\left(\frac{2}{p}\right) \right) + \frac{p^2}{16} \theta \sin(2\theta) + \frac{p^3 \cos(3\theta)}{45\sqrt{2}} - \frac{\pi p^2 \cos(4\theta)}{1536}$$

$$Q = -0.0386 + \frac{\ln\left(\frac{2}{p}\right)}{2} + \frac{p \cos(\theta)}{3\sqrt{2}} - \frac{\pi p^2}{64} \cos(2\theta) + \frac{p^3 \cos(3\theta)}{45\sqrt{2}} - \frac{p^4 \theta \sin(4\theta)}{384} - \frac{p^4 \cos(4\theta)}{384} \left(\ln\left(\frac{2}{p}\right) + 1.0895 \right)$$

Com os valores de $[P]$ e $[Q]$ calculados, pode agora calcular-se a matriz de impedâncias corrigida:

$$[Z]_{corr} = [R] + k[P] + j\{[X] + k[Q]\} [\Omega.km^{-1}], \text{ onde } k = 25,134 \times 10^{-4} f$$

$$[X] = 2\pi f [L] [\Omega.km^{-1}]$$

À matriz anteriormente calculada pode ser aplicado o método descrito para finalizar o cálculo das componentes simétricas da impedância.

Feixe de Múltiplos Condutores

Motivado pelo nível de tensão ou pela capacidade de transporte, por vezes é necessário usar um feixe com mais de um condutor. É possível, assumindo uma distribuição uniforme pelos subcondutores do feixe, calcular um raio equivalente de um único condutor que substitua todos os outros.

$$RMG = \left[n r' s^{n-1} \right]_n^{\frac{1}{n}}$$

$$s = \frac{d}{2 \sin\left(\frac{\pi}{n}\right)} \text{ se } n > 1$$

$$s = 0 \text{ se } n = 1$$

Nestas expressões, n representa o nº de condutores, d , o espaçamento entre eles e r' o raio médio geométrico e RMG o raio médio geométrico de cada condutor (O RMG é o raio de um condutor fictício que não tendo fluxo interno produz igual fluxo total para igual corrente I que circula no condutor real. O RMG do condutor é uma característica que deve ser sempre fornecida pelo fabricante do cabo, ou obtido através de uma tabela de cabos. Este raio equivalente é por norma inferior ao raio do condutor).

CÁLCULO DA ADMITÂNCIA

A admitância é matematicamente representada por um número complexo cuja parte real é dada pela condutância e a parte imaginária pela susceptância.

$$\begin{cases} Y = G + jB \\ Y = |Y| e^{j\alpha} \end{cases}$$

$$\text{Onde } \begin{cases} |Y| = \sqrt{G^2 + B^2} \\ \alpha = a \tan g \left(\frac{B}{G} \right) \end{cases}$$

A condutância representa um conjunto de perdas proporcional à tensão nominal da linha, nomeadamente nos isoladores e por efeito de coroa. Dado o seu baixo valor e dificuldade da sua quantificação assume-se que $G = 0 \text{ [S.m}^{-1}\text{]}$.

Cálculo da susceptância para linhas trifásicas

O cálculo da susceptância baseia-se no método das imagens descrito a propósito do cálculo da indutância. Assim, basta seguir os passos já descritos. É necessário ter em conta que r' deixa de representar o RMG do condutor para passar a representar apenas o raio.

As expressões para o cálculo da capacidade direta e homopolar podem ser descritas da seguinte forma:

$$\begin{cases} C_{11} = \frac{A_{11} + A_{22} + A_{33}}{3} \\ C_{12} = \frac{A_{12} + A_{23} + A_{13}}{3} \end{cases} \Leftrightarrow \begin{cases} C_s = C_{11} + C_{12} \\ C_0 = C_{11} - 2C_{12} \end{cases} \text{ [F.m}^{-1}\text{]}$$

As susceptâncias direta e homopolar vêm dadas por:

$$\begin{cases} B_s = 2\pi f \cdot C_s \\ B_0 = 2\pi f \cdot C_0 \end{cases} \text{ [S.m}^{-1}\text{]}$$

CÁLCULO DAS GRANDEZAS CARACTERÍSTICAS

A impedância característica da linha é dada por:

$$Z = \sqrt{\frac{\bar{Z}}{\bar{Y}}}$$

O ângulo característico da linha é dado por:

$$\gamma = \sqrt{\bar{Z} \cdot \bar{Y}}$$

O cálculo das constantes elétricas características do troço de linha aérea apresenta-se de seguida:

Esta altura média corresponde à altura mínima ao solo acrescida do valor da flecha para o vão médio da linha multiplicado por um fator de 0,3.

As constantes elétricas da linha aérea são as a seguir indicadas:

SE SPE Argomil-Mouro - SE Sincelo, 60kV

TROÇO	COMPRIMENTO (m)	POSTE	CABO CONDUTOR	Z _{Direta} [ohm/km]	
				Resistência (ohm)	Reactância (ohm)
L1.1	3.468	G	ACSR 485 (Zebra)	0,0764	0,395
L1.3*	11.970	FCD/W		0,0732	0,386

SE SPE Galo-Rainha - SE Sincelo, 60kV

TROÇO	COMPRIMENTO	POSTE	CABO CONDUTOR	Z _{Direta} [ohm/km]	
				Resistência (ohm)	Reactância (ohm)
L1.2	93	G	ACSR 485 (Zebra)	0,0764	0,395
L1.3*	11.970	FCD/W		0,0732	0,386

Terno Duplo. Linhas não estão ligadas em paralelo

3.4. CAMPO ELÉTRICO E CAMPO MAGNÉTICO

O Projeto deverá cumprir os níveis de referência fixados na portaria nº 1421/2004 de 23 de Novembro, relativos à exposição da população em geral a Campos Eletromagnéticos. A portaria transpõe para a legislação portuguesa a recomendação do Conselho da União Europeia com a Refª 1999-1100-0001 / 8550/99 “Council Recommendation on the limitation of exposure of the general public to electromagnetic fields (0 Hz – 300 GHz)”, e que foi ratificada por Portugal. No ponto 10 desta recomendação faz-se referência à adoção pelo Comité Científico da Comissão das recomendações do ICNIRP (International Commission on Non-Ionising Radiation Protection). No anexo III desta recomendação sobre “Níveis de Referência”, apresentam-se os valores limites de exposição do público para os campos elétrico e magnético a 50 Hz, os quais são os do ICNIRP, para a exposição do público em geral e que são os seguintes:

Limites de Exposição a Campos Elétricos e Magnéticos a 50Hz		
Características de Exposição	Campo Elétrico [kV/m] (RMS)	Densidade de Fluxo Magnético [mT] (RMS)
Público Permanente	5	0,1

Atendendo ao DL nº 11/2018, foram simuladas várias hipóteses a fim de minimizar a exposição do Campos Elétrico e Magnético. Foi adoptada a configuração de fases, no troço comum (de maior predominância) indicadas na simulação 1 do anexo A.11, onde o resultado é inferior aos obtidos nas simulações 2 e 3. Os resultados para configurações 1, 2 e 3 encontram-se em anexo A.11. Salvaguarde-se ainda que a Linha se desenvolve em zonas consideradas de pouco frequentadas, e não foi detectada a proximidade com “infraestruturas sensíveis” (a menos de 100 metros de distância).

No Anexo 11 apresenta-se a evolução do campo elétrico máximo ao nível do solo e a 1,80 metros do solo, numa faixa de -40 a +40m em torno do eixo da linha, considerando apoios do tipo F165CD e GS, uma distância ao solo de 10 metros, cabo de guarda ao potencial do solo e valor eficaz do módulo da tensão na linha no seu valor nominal.

O valor máximo do campo eléctrico, ocorre a 4m do eixo da linha e varia entre 0,25kV/m e 0,27kV/m, ao nível do solo e a 1,80m do solo, respectivamente, para apoios do tipo F165CD.

O valor máximo do campo eléctrico ocorre no eixo da linha e varia entre 0,60kV/m e 0,63kV/m, ao nível do solo e a 1,80m do solo, respectivamente para apoios do tipo GS.

Estes valores, como se verifica, estão muito abaixo dos limites apresentados acima.

No Anexo 12 apresentam-se de uma forma sistemática os valores do módulo do vetor densidade de fluxo magnético em perfis transversais numa faixa de -40 a +40 m em torno do eixo da linha, admitindo-se nestes cálculos como regimes de correntes as resultantes do seu funcionamento em regime de carga permanente e o regime de correntes suposto trifásico e equilibrado, para as seguintes configurações e considerando o arranjo de fases que minimiza o resultado das Radiações Electromagnéticas:

A 60kV (apoios F165CD), considerando uma distância média ao solo de 10metros, cabo de guarda ao potencial do solo e valor eficaz do módulo da tensão na linha no seu valor nominal de serviço.

O valor máximo da densidade de fluxo magnético, a 1,8 metros do solo, é o seguinte:

- 6,051 μ T para a intensidade de corrente de Verão de 906A;
- 7,106 μ T para a intensidade de corrente de Inverno de 1064A;

A 60kV (apoios GS), considerando uma distância média ao solo de 10metros, cabo de guarda ao potencial do solo e valor eficaz do módulo da tensão na linha no seu valor nominal de serviço.

O valor máximo da densidade de fluxo magnético, a 1,8 metros do solo, é o seguinte:

- 9,4123 μ T para a intensidade de corrente de Verão de 906A;
- 11,053 μ T para a intensidade de corrente de Inverno de 1064A;

Estes valores, como se verifica, estão muito abaixo dos limites apresentados acima.

4. CONDICIONANTES LOCAIS DE INSTALAÇÃO

Considerando o Corredor de Estudo foram detetadas as seguintes condicionantes:

- Servidões Rodoviárias existentes (IP2 e outras Estradas Nacionais e Municipais);
- Servidões Ferroviárias existentes (Linha da Beira Alta);
- Linhas Elétricas de Média, Alta e Muito Alta Tensão;
- Área de Reserva Agrícola Nacional;
- Área de Reserva Ecológica Nacional;
- Aglomerados populacionais;
- Recursos Hídricos (Ribeiras);

5. TRAVESSIAS E CRUZAMENTOS

5.1. Travessias de áreas classificadas (RAN, REN, Recursos Hídricos, etc.)

Os locais de implantação dos apoios P5 a P11, P23/9, P35/21, P43/29 a P47/33, P52/38 e P57/43 integram áreas da REN (Reserva Ecológica Nacional). Na tabela abaixo indicam-se as áreas ocupadas por estes:

Apoio	Área ocupada
Nº	[m ²]
P5	10,11
P6	10,11
P7	10,11
P8	8,41
P9	17,14
P10	10,11
P11	17,37
P23/9	39,68
P35/21	14,69
P43/29	25,76
P44/30	18,11
P45/31	25,76
P46/32	18,1
P47/33	2,9
P52/38	4,57
P57/43	21,76

Não está prevista a implementação de apoios em Zonas da RAN (Reserva Agrícola Nacional).

Ao longo do traçado da Linha ocorrem as seguintes principais travessias de cursos de água:

VÃO	CURSO DE ÁGUA
P7 – P8	Ribeira da Pega
P23/9 – P24/10	Ribeira de Massueime
P45/31 – P46/32	Ribeira da Velosa
P49/35 – P50/36	Ribeira da Quinta de São Bento

As distâncias aos cursos de água são superiores às definidas como limite da Faixa do Domínio Hídrico (10m a partir da linha que limita o leito das águas não navegáveis nem fluviáveis ou 30m a partir da linha que limita o leito das águas navegáveis ou fluviáveis).

Nestes termos, de acordo com o disposto na Lei da Titularidade dos Serviços Hídricos (Lei nº54/2005, de 15 de Novembro), na Lei da Água (Lei nº58/2005, de 29 de dezembro) e no Decreto-lei nº 226-A/2007, de 31 de Maio, o atravessamento de linhas de água por linhas aéreas de média ou alta tensão, por si só, não constitui uma utilização dos recursos hídricos, pelo que não se encontra sujeita à emissão do título de utilização dos recursos hídricos.

5.2. Travessias e cruzamentos com infraestruturas existentes

No Perfil Longitudinal estão representadas todas as travessias e cruzamentos com estradas (IC's, IP's, AE's, EN's e EM's), vias-férreas e linhas de média, alta e muito alta tensão. De seguida são apresentados quadros resumos dessas travessias e cruzamentos.

5.2.1. Travessias de autoestradas, estradas nacionais e municipais

Ao longo do traçado da Linha verificam-se as seguintes travessias de estradas principais:

VÃO	ESTRADA
P4 – P5	CM1072
P7 – P8	EN 221
P26/12 – P27/13	EN 577
P45/31 – P46/32	CM1102
P61/47 – P62/48	IP2

5.2.2. Cruzamento com linhas aéreas de média, alta e muito alta tensão

Ao longo do traçado da Linha ocorrem os seguintes cruzamentos superiores com outras linhas aéreas:

VÃO	LINHA CRUZADA	Distância entre cabo condutor da Linha (m) (t=75°C)
P4 – P5	LMT	7,37 m
P9 – P10	LMT	9,48 m
P10 – P11	LMT	8,53 m
P14 – P15	LMT	5,55 m
P45/31 – P46/32	LMT	9,74 m
P66/52 – P67/53	LMT	6,20 m

Ocorre ainda o seguinte cruzamento inferior com uma linha MAT:

VÃO	LINHA CRUZADA	Distância entre cabo de guarda da Linha (m) (t=-5°C)
P62/48 – P63/49	LMAT (2124 e 2125)	5,48 m

5.2.3. Travessia de vias-férreas

Ao longo do traçado da Linha ocorre o seguinte cruzamento superior com uma via-férrea:

VÃO	LINHA	Distância entre cabo condutor da Linha e o carril (m) (t=75°C)	Distância entre cabo condutor da Linha e a catenária (m) (t=75°C)
P37/23 – P38/24	Linha da Beira Alta	24,83 m	19,80 m

6. BALIZAGEM AÉREA

A utilização de equipamento de sinalização aeronáutica resulta das disposições da Circular de Informação Aeronáutica (CIA 10/03 de 06 de maio) do Instituto Nacional de Aviação Civil.

6.1. BALIZAGEM DIURNA

Consiste na colocação de bolas de sinalização no cabo de guarda do tipo OPGW, alternadamente de cor branca e laranja internacional, com o diâmetro mínimo de 600mm, espaçadas e dispostas de forma a que sensivelmente segundo a horizontal, as projeções ortogonais das bolas nos cabos sobre um plano vertical paralelo à linha estejam a 30 metros umas das outras. A balizagem diurna consistirá também na pintura de apoios.

Ao longo do traçado da Linha verifica-se a necessidade de aplicação de balizagem diurna no vão P23/9-P24/10 por ser ter um comprimento superior a 500 metros e no vão P59/45-P60/46, onde ocorre a travessia do IP2.

De acordo com as disposições da Circular de Informação Aeronáutica do Instituto Nacional de Aviação Civil, não se verifica a necessidade da pintura do apoio P59/45, por se encontrar na zona “Non-Aedificandi” do IP2.

6.2. BALIZAGEM NOTURNA

Consiste na colocação de dispositivo luminoso nos condutores superiores (apoios em esteira vertical) e nos condutores exteriores (apoios em esteira horizontal) de cada um dos lados dos apoios.

Ao longo do traçado da Linha verifica-se a necessidade de aplicação de balizagem noturna nos apoios P59/45 e P60/46, onde ocorre a travessia do IP2.

6.3. SINALIZAÇÃO PARA AVES

Nos vãos compreendidos entre os apoios P42/28 e P50/36 serão colocados dispositivos de sinalização intensiva para aves do tipo BFD – *Bird Flight Diverter*, no cabo de guarda.

Estes, tendo em conta a localização da Linha, serão de forma espiral de fixação dupla e de 35 cm de diâmetro, de cor vermelha e branca, alternando as referidas cores. O espaçamento entre sinalizadores no cabo de guarda, deverá ser de 10 metros.

7. ANÁLISE DE RISCOS ORIGINADOS PELA PRESENÇA E FUNCIONAMENTO DA LINHA

Os riscos associados à presença e funcionamento da Linha, incluindo os que decorrem de circunstâncias adversas e externas à própria linha, podem considerar-se completamente abrangidos pelas situações que a seguir se referem:

- Incêndios;
- Queda dos apoios ou dos cabos condutores ou de guarda;
- Contactos acidentais com elementos em tensão;
- Tensões induzidas;
- Obstáculos a ligarem à terra e dimensionamento do circuito de terra associado

7.1. Incêndios

No âmbito da análise deste tipo de riscos há a considerar a situação em que a linha está na origem do incêndio e, por outro lado, o caso em que a mesma é afetada por incêndios de outra origem.

A probabilidade do funcionamento da linha estar na origem de incêndios é muito reduzida, uma vez que na fase de construção serão garantidas distâncias de segurança aos obstáculos situados dentro de uma faixa de proteção adequada.

Durante a exploração serão efetuadas rondas periódicas, a fim de detetar atempadamente construções de edifícios ou crescimento exagerado de árvores que possam aproximar-se da linha a distâncias inferiores aos valores de segurança.

A probabilidade da linha ser afetada por incêndios de outra origem é mais elevada, com incidência na qualidade de exploração e na continuidade de serviço (interrupção do transporte de energia). Associadas a estas situações haverá que considerar o risco de danos ou inutilização dos equipamentos (apoios, cabos e cadeias de isoladores), com eventual risco de indução de outro tipo de acidentes, nomeadamente queda de apoios, ou dos cabos condutores ou de guarda.

As opções de conceção adotadas (distâncias aos obstáculos na vizinhança da linha superiores aos valores de segurança) permitem concluir que serão minimizados os riscos da linha originar ou vir a ser afetada por incêndios.

7.2. Queda de apoios ou cabos

Em face das características dos cabos condutores e de guarda e dos coeficientes de segurança adotados na sua instalação pode afirmar-se ser praticamente nula a probabilidade de ocorrência de rotura de qualquer destes elementos da linha.

A queda de cabos condutores surge, normalmente, por rotura de cadeias de isoladores.

O risco deste tipo de ocorrências é muito reduzido e pode traduzir-se, tal como no caso dos incêndios, numa incidência na continuidade de serviço da linha, embora se possa associar o risco sobre pessoas e bens na sequência da queda daqueles elementos.

A queda de apoios apresenta um risco mínimo em face das suas características e dos coeficientes de segurança adotados no dimensionamento dos mesmos e das respetivas fundações.

Por outro lado, a intensidade das ações consideradas resultantes dos agentes naturais, como por exemplo o vento, correspondem a valores muito elevados, ou seja, as ocorrências cuja probabilidade de ser ultrapassada é muitíssimo baixa. Estes critérios não são arbitrários mas fazem parte da Legislação Nacional aplicável (RSLEAT) e internacional, após estudos muito aprofundados e experiência real de quase um século de História da Indústria de Transporte e Distribuição de Energia Elétrica. Estes critérios são técnica e legalmente considerados pelos projetistas como suficientes no que se refere à segurança das populações.

Em relação aos apoios pode dizer-se adicionalmente que os apoios F30CD, F65CD, F95CD e F165CD, GS, GR e WR estão dimensionados para poder manter a sua estabilidade em caso de rotura de qualquer um dos cabos ou cadeias, simultaneamente com a ocorrência da tração máxima expectável. De um modo geral, no dimensionamento global dos diversos componentes estruturais da linha, procura-se estabelecer uma coordenação de resistências onde, no caso do componente principal apoio, os subcomponentes crescentemente mais fortes serão apoio, fundações, acessórios e no caso do componente principal cabos, os subcomponentes crescentemente mais fortes serão cabos, isoladores, acessórios.

7.3. Contactos acidentais com elementos em tensão

A ocorrência desta situação é improvável e pode resumir-se à utilização de gruas ou outros equipamentos na proximidade da linha.

A altura mínima ao solo das linhas na zona em apreço é superior ao mínimo regulamentar (como medida de segurança) e torna improvável a hipótese daquela ocorrência, reduzindo-se o risco de acidente.

Refira-se ainda que todos os apoios, tal como está regulamentado, possuem uma chapa sinalética em local visível, indicando PERIGO DE MORTE.

7.4. Tensões induzidas

A existência de objetos metálicos (vedações e aramados para suporte de vinhas), isolados ou ligados à terra, na vizinhança de Linhas aéreas de AT e acompanhando-as em grandes extensões, são afetados por campos elétricos, magnéticos ou ainda por elevação de potencial no solo, tornando possível o aparecimento de tensões induzidas, com incidência na segurança de pessoas (contactos ocasionais). Não foram detetadas situações deste tipo. Porém, se detetadas em fase posterior serão tratadas de acordo com a metodologia a seguir proposta.

Todas as situações serão analisadas pontualmente de modo a garantir-se o estipulado pelo NESC (National Electrical Safety Code, USA): “a corrente induzida que fluirá no corpo de uma pessoa em contacto com o aramado ou vedação será inferior a 5mA”.

A metodologia de cálculo seguinte permite avaliar situações como as descritas. No sentido de dar uma medida dos riscos corridos apresenta-se um exemplo numérico hipotético.

A tensão induzida numa vedação pode ser calculada através de:

$$V = E \cdot h \text{ [V]}$$

onde E é o campo elétrico ao nível do solo em V/m e h a altura da vedação ao solo em metros. A capacidade da vedação é dada por:

$$C = \frac{2 \cdot \pi \cdot \epsilon}{\ln\left(\frac{2 \cdot h}{r_c}\right)} \cdot L \text{ [F]}$$

sendo h a altura em m da vedação, r_c o raio do arame da vedação e L o comprimento da cerca na zona de influência (aquela onde o valor de E se mantém aproximadamente constante) em metros. Esta expressão é suficientemente correcta para $h > 2 \cdot r_c$ (desprezam-se os efeitos de extremidade).

A corrente que flui na vedação suposta esta ligada numa extremidade ao solo e supondo também que se dispõe numa direção aproximadamente paralela à linha de energia pode ser dada aproximadamente por:

$$I = j \cdot \omega \cdot V \cdot C \text{ [A]}$$

7.5. Obstáculos a ligar à terra e dimensionamento do circuito de terra

Não estão previstas, à priori, ligações particulares de obstáculos à terra. Quaisquer situações deste tipo que se tornem evidentes em fase de construção ou de exploração serão resolvidas através de uma adequada ligação à terra, conforme preconizada no número anterior.

8. ELEMENTOS DE PROJETO

Para além da presente Memória Descritiva integram o presente Projecto os seguintes elementos:

a) Peças Escritas

Anexo 1 - Silhuetas dos Apoios

Anexo 2 - Esquema das Fundações

Anexo 3 - Características dos Cabos

Anexo 4 - Características dos Isoladores

Anexo 5 - Planos de Cadeias de Isoladores e Fixação do Cabo de Guarda

Anexo 6 - Condições de Regulação dos Cabos

Anexo 7 - Verificação da Distância entre Condutores

Anexo 8 – Estabilidade dos Apoios

Anexo 9 – Ações dos Cabos e Estabilidade das Cadeias

Anexo 10 – Capacidade Térmica dos Cabos

Anexo 11 – Campo Elétrico

Anexo 12 – Indução Magnética

Anexo 13 – Elementos Gerais da Linha

Anexo 14 – Lista de Proprietários

b) Peças Desenhadas:

Planta Geral (1:25000): *Des.n.º 0318038.01*

Perfil Longitudinal e Planta Parcelar: *Des.n.º 0318038.02 (fls.1 a 4)*

Planta de Condicionantes (1:25000): *Des.n.º 0318038.03*

9. AUTORES DO PROJETO

O TÉCNICO RESPONSÁVEL

Luis Camacho
(OE n.º 69341)