

LINHA AÉREA A 60 kV

SERZEDO – ESPINHO

PROJECTO DA LINHA AÉREA DE TRANSPORTE DE ENERGIA ELÉCTRICA A 60 kV
SERZEDO – ESPINHO

MEMÓRIA DESCRITIVA E JUSTIFICATIVA

Concelhos: VILA NOVA DE GAIA e ESPINHO

2.1 – OBJECTO PROJECTO

A EDP Distribuição – Energia, S.A pretende interligar a Subestação de Serzedo, situada no concelho de Vila Nova de Gaia, à Subestação de Espinho, situada no concelho de Espinho, fechando assim um anel e aumentando portanto a fiabilidade do Sistema Eléctrico.

Para tal terá de ser construída a respectiva linha de transporte de energia a 60 kV, a qual terá início na Subestação de Serzedo e terminará na Subestação de Espinho.

É o licenciamento da linha de 60 kV Serzedo – Espinho a finalidade do presente projecto.

2.2 – CORRENTE E TENSÃO

A linha a estabelecer poderá transportar uma potência de 60 MW, sob a forma de corrente alternada trifásica, com a frequência de 50 Hertz e à tensão de 63 000 Volt.

2.3 – CÁLCULO ELÉCTRICO

2.3.1 – Características

A linha terá um comprimento de 4993 metros e serão montados três condutores de cabo alumínio – aço e um cabo de guarda de fibra óptica com as características apresentadas na tabela seguinte.

Tabela 1 – Características do condutor e do cabo de guarda

	Cabo alumínio – aço	Cabo óptico
Total	326,1 mm ²	204 mm ²
Secção	Alumínio	-
	Aço	-
Diâmetro	23,45 mm	19 mm
Composição	30x3,35mmΦ+7x3,35mmΦ	-
Resistência por Km a 20°C	0,1093 Ω	0,19 Ω
Peso por metro	1,218 kg	0,732 kg
Carga de rotura	11150 kg	7000 kg
Módulo de Elasticidade	7850 kg/mm ²	7500 kg/mm ²
Coefficiente de dilatação linear	17,7x10 ⁻⁶ °C ⁻¹	19,5x10 ⁻⁶ °C ⁻¹

2.3.2 – Intensidade de Corrente

$$I = \frac{60000000}{\sqrt{3} \times 63000 \times 0,9} = 611 \text{ A}$$

e a densidade de corrente será:

$$d = \frac{611}{326,1} = 1,874 \text{ A/mm}^2$$

2.3.3 – Perda de Energia

A resistência ôhmica de um condutor com 4,993 km é:

$$R = 4,993 \times 0,1093 = 0,546 \ \Omega$$

e a perda de energia por resistência ôhmica será:

$$p = 3RI^2 = 3 \times 0,546 \times 611^2 = 611,5 \ kW$$

ou seja:

$$\frac{611,5 \times 100}{60000} = 1,02\% \text{ da potência total transportada.}$$

2.3.4 – Queda de Tensão

O coeficiente de auto-indução médio, por fase e por quilômetro é dado por:

$$L = (0,5 + 4,605 \times \log \frac{D}{a}) \times 10^{-4} \ H / km$$

com:

$$a = \frac{d}{2} = \frac{23,45}{2} = 11,725 \ mm$$

$$D = \sqrt[3]{D_{1-2} \times D_{1-3} \times D_{2-3}}$$

com armação G3 vem:

$$D = \sqrt[3]{4,57 \times 2,5 \times 4,57} = 3,738m = 3738mm$$

$$L = (0,5 + 4,605 \times \log \frac{3738}{11,725}) \times 10^{-4} = 12 \times 10^{-4} \ H / km$$

pelo que:

$$X = \omega L = 2\pi f L = 2 \times \pi \times 50 \times 12 \times 10^{-4} = 0,3770 \ \Omega / km$$

com armação EVFR-AT vem:

$$D = \sqrt[3]{1,5 \times 3 \times 1,5} = 1,890m = 1890mm$$

$$L = (0,5 + 4,605 \times \log \frac{1890}{11,725}) \times 10^{-4} = 10,665 \times 10^{-4} \ H / km$$

pelo que:

$$X = \omega L = 2\pi f L = 2 \times \pi \times 50 \times 10,665 \times 10^{-4} = 0,3351 \ \Omega / km$$

e a reactância da linha, por fase, será:

$$X = 0,3770 \times 4,698 + 0,3351 \times 0,325 = 1,880 \Omega$$

e a queda de tensão entre fases será:

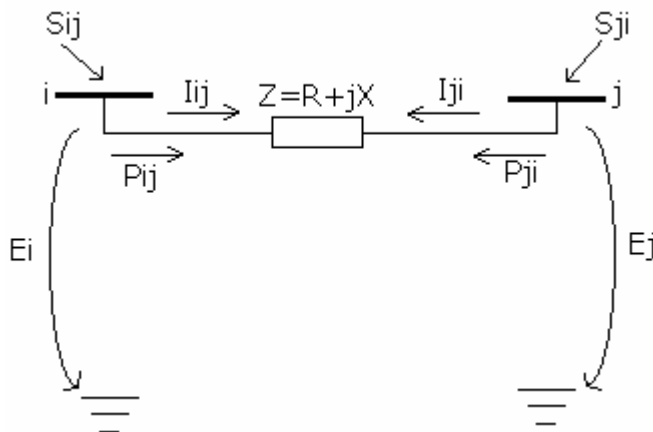
$$V - V_0 = \sqrt{3}I(R \cos \psi + X \text{sen} \psi) = \sqrt{3} \times 611 \times (0,546 \times 0,9 + 1,880 \times \text{sen}(\cos^{-1} 0,9)) = 1387V$$

ou seja:

$$\frac{1387 \times 100}{63000} = 2,2\% \text{ da tensão de serviço.}$$

2.3.5 - Ângulo de Carga

Sendo válida para esta linha (com 5 km de comprimento) a aproximação para linhas curtas: $L < 100\text{km}$ vem:



Para linhas curtas:

$$E_i = V_i e^{j\theta_i}$$

$$E_j = V_j e^{j\theta_j}$$

$$\delta = \theta_i - \theta_j$$

$$P_{ij} = \frac{1}{R^2 + X^2} (RV_i^2 - RV_iV_j \cos \delta + XV_iV_j \text{sen} \delta)$$

Sendo:

$$P_{ij} = 60MW = 60000000W$$

$$R = 0,546\Omega$$

$$X = 1,880\Omega$$

$$V_i = 63KV = 63000V$$

$$V_j = 63000 - 1382 = 61618V$$

o ângulo de carga é:

$$60000000 = \frac{1}{0,546^2 + 1,880^2} (0,546 \times 63000^2 - 0,546 \times 63000 \times 61618 \times \cos \delta + 1,880 \times 63000 \times 61618 \times \sin \delta)$$

$$\Rightarrow \delta = 1,6^\circ$$

Com este ângulo de carga a linha apresenta uma margem de estabilidade suficiente.

2.4 – ISOLADORES

Os condutores serão suspensos em cadeias de isoladores com 6 elementos de cerâmica do tipo AAB 508, da Empresa Cerisol ou equivalentes.

As cadeias de amarração terão 6 isoladores do tipo AAB 508.

São apresentadas na tabela seguinte as características dos isoladores de cadeia a utilizar.

Tabela 2 – Características dos isoladores

TIPO		AAB 508
DIMENSÕES		
	Diâmetro do espigão	16 mm
	Passo	130 mm
	Diâmetro	254 mm
	Comprimento da linha de fuga	300 mm
CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS		
	Tensão suportável ao choque	110 kV
	Tensão suportável a seco	70 kV
	Tensão suportável sob chuva	45 kV
	Tensão de perfuração	115 kV
CARACTERÍSTICAS MECÂNICAS		
	Carga de rotura electromecânica	8000 daN
	Carga máxima de trabalho	3400 daN
PESO		4,2 kg
COR		Cinzento

Serão montadas hastes de descarga nas cadeias.

2.5 – CÁLCULO MECÂNICO

2.5.1 – Condutores e Cabo de Guarda

Os condutores e cabo de guarda serão montados de modo a que a tracção máxima a que fiquem sujeitos não ultrapasse, nas condições mais desfavoráveis, respectivamente:

Vão P – 1:	0,5 Kg/mm ² por condutor	2 Kg/mm ² por cabo de terra
Vãos 1 – 18:	8 Kg/mm ² por condutor	11 Kg/mm ² por cabo de terra
Vão 18 – P:	0,5 Kg/mm ² por condutor	2 Kg/mm ² por cabo de terra

Nestas condições, o parâmetro da curva de equilíbrio dos condutores e do cabo de guarda toma os valores calculados a seguir.

Estados atmosféricos a considerar conforme artigos 12º, 13º, 16º e 21º do RSLEAT:

Inverno:	Temperatura: -5 °C Pressão dinâmica do vento: 360 Pa Acção do gelo: Zona sem gelo
Primavera:	Temperatura: 15 °C Pressão dinâmica do vento: 900 Pa
Verão:	Temperatura: 80 °C Pressão dinâmica do vento: 0 Pa

CONDUTORES

Coefficientes de sobrecarga:

Para o estado de Inverno (1) o coeficiente de sobrecarga é dado por:

$$m_1 = \frac{\sqrt{w^2 + Fv_1^2}}{w} = \frac{\sqrt{1,218^2 + 0,5065^2}}{1,218} = 1,0830$$

$$Fv_1 = 0,6 \times 1 \times 36 \times \frac{23,45}{1000} = 0,5065 \text{ kg/m}$$

Para o estado de Primavera (2) o coeficiente de sobrecarga é dado por:

$$m_2 = \frac{\sqrt{w^2 + Fv_2^2}}{w} = \frac{\sqrt{1,218^2 + 1,2663^2}}{1,218} = 1,4425$$

$$Fv_2 = 0,6 \times 1 \times 90 \times \frac{23,45}{1000} = 1,2663 \text{ kg/m}$$

Para o estado de Verão o coeficiente de sobrecarga é igual à unidade: $m_{\text{Verão}} = 1$.

Cálculo do parâmetro dos condutores do cantão 2 (apoio nº 1 ao apoio nº 8):

Dados:

$$\text{Vão 1-2: } L = 270m$$

$$\text{Vão 2-3: } L = 305m$$

$$\text{Vão 3-4: } L = 283m$$

$$\text{Vão 4-5: } L = 280m$$

$$\text{Vão 5-6: } L = 370m$$

$$\text{Vão 6-7: } L = 267m$$

$$\text{Vão 7-8: } L = 337m$$

Considerando que os vãos se encontram em patamar, o vão equivalente é dado por:

$$L_{eq} = \sqrt{\frac{270^3 + 305^3 + 283^3 + 280^3 + 370^3 + 267^3 + 337^3}{270 + 305 + 283 + 280 + 370 + 267 + 337}} = 308 \text{ m}$$

e o vão crítico equivalente é:

$$L_{cr} = \frac{326,1 \times 8}{1,218} \times \sqrt{\frac{24 \times 17,7 \times 10^{-6} \times (15 - (-5))}{1,4425^2 - 1,0830^2}} = 207 \text{ m}$$

Como $L_{eq} > L_{cr}$ e $m_2 > m_1$, o estado mais desfavorável é a primavera e por isso a tracção máxima por condutor: $t_{max} = 8 \text{ kg/mm}^2$ ocorre para $\theta = 15^\circ C$ e $m = 1,4425$. Aplicando a equação de estados vem para o estado de verão:

$$15 + \frac{8}{17,7 \times 10^{-6} \times 7850} - \frac{1,4425^2 \times 1,218^2 \times 308^2}{24 \times 17,7 \times 10^{-6} \times 326,1^2 \times 8^2} = 80 + \frac{t_{mk}}{17,7 \times 10^{-6} \times 7850} - \frac{1^2 \times 1,218^2 \times 308^2}{24 \times 17,7 \times 10^{-6} \times 326,1^2 \times t_{mk}^2} \Rightarrow t_{mk} (80^\circ C) = 4,6786 \text{ Kg/mm}^2$$

$$T (80^\circ C) = 4,6786 \times 326,1 = 1526 \text{ Kg}$$

e o parâmetro dos condutores do 2º cantão no estado de verão (80°C) é então:

$$P_{cd} (80^\circ C) = \frac{1526}{1,218} = 1253 \text{ m}$$

Da mesma forma, pode-se calcular o parâmetro dos condutores dos restantes cantões. Os resultados obtidos, para o parâmetro dos condutores dos cantões da linha, apresentam-se na tabela seguinte.

Tabela 3 – Parâmetro dos condutores em cada vão ou cantão

Cantão/ vão	Vãos	L (m)	L_{eq} (m)	L_{cr} (m)	Estado mais desfavorável	t_{mk} (80°C) (Kg/mm ²)	T (80°C) (Kg)	P_{cd} (80°C) (m)
1	P-1	25	25	26	Inverno	0,2959	97	79
2	1-2	270	308	207	Primavera	4,6786	1526	1253
	2-3	305						
	3-4	283						
	4-5	280						
	5-6	370						
	6-7	267						
3	7-8	337	316	207	Primavera	4,7067	1535	1260
	8-9	343						
4	9-10	278	299	207	Primavera	4,6430	1514	1243
	10-11	330						

	11-12	363						
	12-13	212						
	13-14	263						
	14-15	287						
	15-16	325						
	16-17	200						
5	17-18	240	240	207	Primavera	4,2450	1417	1163
6	18-P	15	15	26	Inverno	0,2435	79	65

CABO DE GUARDA

Coefficientes de sobrecarga:

Para o estado de Inverno (1) o coeficiente de sobrecarga é dado por:

$$m_1 = \frac{\sqrt{w_{CG}^2 + Fv_{1CG}^2}}{w_{CG}} = \frac{\sqrt{0,732^2 + 0,4104^2}}{0,732} = 1,1464$$

$$Fv_{1CG} = 0,6 \times 1 \times 36 \times \frac{19}{1000} = 0,4104 \text{ kg/m}$$

Para o estado de Primavera (2) o coeficiente de sobrecarga é dado por:

$$m_2 = \frac{\sqrt{w_{CG}^2 + Fv_{2CG}^2}}{w_{CG}} = \frac{\sqrt{0,732^2 + 1,0260^2}}{0,732} = 1,7218$$

$$Fv_{2CG} = 0,6 \times 1 \times 90 \times \frac{19}{1000} = 1,0260 \text{ kg/m}$$

Para o estado de Verão o coeficiente de sobrecarga é igual à unidade: $m_{Verão} = 1$.

Cálculo do parâmetro do cabo de guarda do cantão 2 (apoio nº 1 ao apoio nº 8):

Da mesma forma que é calculado o parâmetro dos condutores é calculado o parâmetro do cabo de guarda.

O cálculo do parâmetro do cabo de guarda do 2º cantão é apresentado a seguir.

O vão crítico equivalente do cabo de guarda é:

$$t_{\max} = 11 \text{ Kg/mm}^2$$

$$L_{cr} = \frac{204 \times 11}{0,732} \times \sqrt{\frac{24 \times 19,5 \times 10^{-6} \times (15 - (-5))}{1,7218^2 - 1,1464^2}} = 231 \text{ m}$$

Como $L_{eq} > L_{cr}$ e $m_2 > m_1$, o estado mais desfavorável é a primavera e por isso a tracção máxima do cabo de guarda: $t_{max} = 11 \text{ kg/mm}^2$ ocorre para $\theta = 15^\circ C$ e $m = 1,7218$. Aplicando a equação de estados vem para o estado de verão:

$$15 + \frac{11}{19,5 \times 10^{-6} \times 7500} - \frac{1,7218^2 \times 0,732^2 \times 308^2}{24 \times 19,5 \times 10^{-6} \times 204 \times 11^2} = 80 + \frac{t_{mk}}{19,5 \times 10^{-6} \times 7500} - \frac{1^2 \times 0,732^2 \times 308^2}{24 \times 19,5 \times 10^{-6} \times 204 \times t_{mk}^2} \Rightarrow t_{mk} (80^\circ C) = 5,3723 \text{ Kg/mm}^2$$

$$T (80^\circ C) = 5,3723 \times 204 = 1096 \text{ Kg}$$

e o parâmetro do cabo de guarda do 2º cantão no estado de verão (80°C) é então:

$$P_{CG} (80^\circ C) = \frac{1096}{0,732} = 1497 \text{ m}$$

Do mesmo modo pode-se calcular o parâmetro do cabo de guarda dos restantes cantões. Os resultados obtidos apresentam-se na tabela seguinte.

Tabela 4 – Parâmetro do cabo de guarda em cada vão ou cantão

Cantão/ vão	Vãos	L (m)	L_{eq} (m)	L_{cr} (m)	Estado mais desfavorável	t_{mk} (80°C) (Kg/mm ²)	T (80°C) (Kg)	P_{CG} (80°C) (m)
1	P-1	25	25	42	Inverno	0,4653	94	129
2	1-2	270	308	231	Primavera	5,3723	1096	1497
	2-3	305						
	3-4	283						
	4-5	280						
	5-6	370						
	6-7	267						
	7-8	337						
3	8-9	343	316	231	Primavera	5,4029	1102	1506
	9-10	278						
4	10-11	330	299	231	Primavera	5,3338	1088	1486
	11-12	363						
	12-13	212						
	13-14	263						
	14-15	287						
	15-16	325						
	16-17	200						
5	17-18	240	240	231	Primavera	5,0183	1024	1399
6	18-P	15	15	42	Inverno	0,2872	58	80

2.5.2 – Verificação da Distância Mínima Entre os Condutores e o Cabo de Guarda

Para garantir a distância mínima entre os condutores e o cabo de guarda, exposta no *Artigo 32.º do RSLEAT*, é usual garantir que o parâmetro do cabo de guarda é igual ou superior a 15% do parâmetro dos condutores.

Como se pode constatar na tabela seguinte, a condição anterior é verificada em toda a linha, e por isso a distância mínima entre os condutores e o cabo de guarda é verificada.

Tabela 5 – Parâmetro dos condutores e do cabo de guarda

Cantão/ vão	Vãos	L (m)	P _{cd} (80°C) (m)	115%P _{cd} (80°C) (m)	P _{CG} (80°C) (m)	P _{CG} ≥ 115%P _{cd}
1	P-1	25	79	91	129	Sim
2	1-2	270	1253	1441	1497	Sim
	2-3	305				
	3-4	283				
	4-5	280				
	5-6	370				
	6-7	267				
	7-8	337				
3	8-9	343	1260	1449	1506	Sim
	9-10	278				
4	10-11	330	1243	1429	1486	Sim
	11-12	363				
	12-13	212				
	13-14	263				
	14-15	287				
	15-16	325				
	16-17	200				
5	17-18	240	1163	1337	1399	Sim
6	18-P	15	65	75	80	Sim

2.5.3 – Apoios

A linha será constituída por apoios metálicos do tipo P e por apoios de betão do tipo K.

2.5.4 – Verificação da Estabilidade dos ApoiosAPOIO 1 – APOIO DE FIM DE LINHAEsforços conforme artigo 62.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{270}{2} = 171 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{270}{2} = 139 \text{ Kg}$$

Vento sobre um condutor da saída da subestação:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{25}{2} \times \cos^2(68,14g) = 4 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da saída da subestação:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{25}{2} \times \cos^2(68,14g) = 3 \text{ Kg}$$

Tracção de um condutor da saída da subestação:

$$326,1 \times 0,5 \times \sin(68,14g) = 143 \text{ Kg}$$

Tracção do cabo de guarda da saída da subestação:

$$204 \times 2 \times \sin(68,14g) = 358 \text{ Kg}$$

Resultante: $F_y = 3 \times (30 + 30 + 171 + 4 + 143) + 139 + 3 + 358 = 1634 \text{ Kg}$

→ No sentido da linha:

Vento sobre um condutor da saída da subestação:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{25}{2} \times \cos(68,14g) \times \sin(68,14g) = 7 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da saída da subestação:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{25}{2} \times \cos(68,14g) \times \text{sen}(68,14g) = 5 \text{ Kg}$$

Tracção de um condutor da linha:

$$326,1 \times 8 = 2609 \text{ Kg}$$

Tracção do cabo de guarda da linha:

$$204 \times 11 = 2244 \text{ Kg}$$

Tracção de um condutor da saída da subestação:

$$326,1 \times 0,5 \times \cos(68,14g) = -78 \text{ Kg}$$

Tracção do cabo de guarda da saída da subestação:

$$204 \times 2 \times \cos(68,14g) = -196 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_x = 3 \times (7 + 2609 - 78) + 5 + 2244 - 196 = 9667 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{270}{2} = 164 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{270}{2} = 99 \text{ Kg}$$

Peso de um condutor da saída da subestação:

$$1,218 \times \frac{25}{2} = 15 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da saída da subestação:

$$0,732 \times \frac{25}{2} = 9 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_z = 3 \times (30 + 30 + 164 + 15) + 99 + 9 = 825 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (acções excepcionais):

Os condutores neste apoio são amarrados ao fuste, ou seja no eixo do apoio, e por isso a resultante da torção é nula. A resultante das componentes horizontais das tracções máximas exercidas pelos condutores e pelo cabo de guarda, considerando a rotura de um qualquer condutor ou cabo de guarda é menor que a resultante obtida na hipótese 1 como pode ser confirmado de seguida, pelo que pode ser dispensada a verificação desta hipótese.

Resultante:

$$F_x = 2 \times (2609 - 78) + 2244 - 196 = 7110 \text{ Kg}$$

ou

$$F_x = 3 \times (2609 - 78) = 7593 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: K 20

$$F_{pvp} = F_x = 9667 \text{ Kg}$$

$$F_{svp} = F_y = 1634 \text{ Kg}$$

$$q = 900 \text{ Pa}$$

vento na direcção principal

$$\frac{F_{pvp}}{16295} + \frac{F_{svp}}{6222} = 1 \Rightarrow \frac{9667}{16295} + \frac{1634}{6222} = 0,85 < 1 \quad \checkmark$$

APOIO 2 – APOIO DE ALINHAMENTO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{270 + 305}{2} = 364 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{270 + 305}{2} = 295 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_y = 3 \times (30 + 364) + 295 = 1477 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{270 + 305}{2} = 350 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{270 + 305}{2} = 210 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_z = 3 \times (30 + 350) + 210 = 1350 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$F_x = \frac{1}{5} F_y = \frac{1477}{5} = 295 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$F_z = 1350 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P2000

Força horizontal por cabo: $30 + 350 = 380 \text{ Kg} < 667 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 364 = 394 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $1477 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1350 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 3 – APOIO DE ALINHAMENTO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{305 + 283}{2} = 372 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{305 + 283}{2} = 302 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_y = 3 \times (30 + 372) + 302 = 1508 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{305 + 283}{2} = 358 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{305 + 283}{2} = 215 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_z = 3 \times (30 + 358) + 215 = 1379 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$F_x = \frac{1}{5} F_y = \frac{1508}{5} = 302 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$F_z = 1379 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P2000

$$\text{Força horizontal por cabo: } 30 + 372 = 402 \text{ Kg} < 667 \text{ Kg} \checkmark$$

$$\text{Força vertical por cabo: } 30 + 358 = 388 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$$

$$\text{Força horizontal total: } 1508 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$$

$$\text{Força vertical total: } 1379 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$$

APOIO 4 – APOIO DE ALINHAMENTO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

$$\text{Vento sobre a cadeia de isoladores: } 30 \text{ Kg}$$

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{283 + 280}{2} = 356 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{283 + 280}{2} = 289 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_y = 3 \times (30 + 356) + 289 = 1448 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{283 + 280}{2} = 343 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{283 + 280}{2} = 206 \text{ Kg}$$

Resultante: $F_z = 3 \times (30 + 343) + 206 = 1325 \text{ Kg}$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$F_x = \frac{1}{5} F_y = \frac{1448}{5} = 290 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$F_z = 1325 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P2000

Força horizontal por cabo: $30 + 356 = 386 \text{ Kg} < 667 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 343 = 373 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $1448 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1325 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 5 – APOIO DE ALINHAMENTO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{280 + 370}{2} = 412 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{280 + 370}{2} = 333 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_y = 3 \times (30 + 412) + 333 = 1658 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{280 + 370}{2} = 396 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{280 + 370}{2} = 238 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_z = 3 \times (30 + 396) + 238 = 1516 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$F_x = \frac{1}{5} F_y = \frac{1658}{5} = 332 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$F_z = 1516 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P2000

Força horizontal por cabo: $30 + 412 = 442 \text{ Kg} < 667 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 396 = 426 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $1658 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1516 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 6 – APOIO DE ALINHAMENTO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{370 + 267}{2} = 403 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{370 + 267}{2} = 327 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_y = 3 \times (30 + 403) + 327 = 1626 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{370 + 267}{2} = 388 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{370 + 267}{2} = 233 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_z = 3 \times (30 + 388) + 233 = 1487 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$F_x = \frac{1}{5} F_y = \frac{1626}{5} = 325 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$F_z = 1487 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P2000

Força horizontal por cabo: $30 + 403 = 433 \text{ Kg} < 667 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 388 = 418 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $1626 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1487 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 7 – APOIO DE ALINHAMENTO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{267 + 337}{2} = 382 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{267 + 337}{2} = 310 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_y = 3 \times (30 + 382) + 310 = 1547 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{267 + 337}{2} = 368 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{267 + 337}{2} = 221 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_z = 3 \times (30 + 368) + 221 = 1415 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$F_x = \frac{1}{5} F_y = \frac{1547}{5} = 309 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$F_z = 1415 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P2000

Força horizontal por cabo: $30 + 382 = 412 \text{ Kg} < 667 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 368 = 398 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $1547 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1415 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 8 – APOIO DE ÂNGULO

Esforços conforme artigo 57.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento paralelo à bissetriz do ângulo):

→ No sentido da bissetriz do ângulo:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{337 + 343}{2} \times \cos^2(17,20g) = 400 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{337 + 343}{2} \times \cos^2(17,20g) = 324 \text{ Kg}$$

Tracção de um condutor da linha:

$$2 \times 326,1 \times 8 \times \text{sen}(17,20g) = 1393 \text{ Kg}$$

Tracção do cabo de guarda:

$$2 \times 204 \times 11 \times \text{sen}(17,20g) = 1198 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } Fy = 3 \times (30 + 30 + 400 + 1393) + 324 + 1198 = 7081 \text{ Kg}$$

→ No sentido perpendicular à bissetriz do ângulo:

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{337 + 343}{2} \times \cos(17,20g) \times \text{sen}(17,20g) = 111 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{337 + 343}{2} \times \cos(17,20g) \times \text{sen}(17,20g) = 90 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } Fx = 3 \times 111 + 90 = 423 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{337 + 343}{2} = 414 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{337 + 343}{2} = 249 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } Fz = 3 \times (30 + 30 + 414) + 249 = 1671 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido normal à bissetriz do ângulo:

$$Fx = \frac{1}{5} Fy = \frac{7081}{5} = 1416 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$Fz = 1415 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P9000

Força horizontal por cabo: $30 + 30 + 400 + 1393 + 111 = 1964 \text{ Kg} < 3000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 30 + 414 = 474 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $7081 + 423 = 7504 \text{ Kg} < 9000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1671 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 9 – APOIO DE ALINHAMENTO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{343 + 278}{2} = 393 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{343 + 278}{2} = 319 \text{ Kg}$$

Resultante: $F_y = 3 \times (30 + 393) + 319 = 1588 \text{ Kg}$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{343 + 278}{2} = 378 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{343 + 278}{2} = 227 \text{ Kg}$$

Resultante: $F_z = 3 \times (30 + 378) + 227 = 1451 \text{ Kg}$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$F_x = \frac{1}{5} F_y = \frac{1588}{5} = 318 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$F_z = 1451 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P2000

Força horizontal por cabo: $30 + 393 = 423 \text{ Kg} < 667 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 378 = 408 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $1588 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1451 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 10 – APOIO DE ÂNGULO

Esforços conforme artigo 57.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento paralelo à bissetriz do ângulo):

→ No sentido da bissetriz do ângulo:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{278 + 330}{2} \times \cos^2(12,69g) = 370 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{278 + 330}{2} \times \cos^2(12,69g) = 300 \text{ Kg}$$

Tracção de um condutor da linha:

$$2 \times 326,1 \times 8 \times \text{sen}(12,69g) = 1033 \text{ Kg}$$

Tracção do cabo de guarda:

$$2 \times 204 \times 11 \times \text{sen}(12,69g) = 889 \text{ Kg}$$

Resultante: $F_y = 3 \times (30 + 30 + 370 + 1033) + 300 + 889 = 5578 \text{ Kg}$

→ No sentido perpendicular à bissetriz do ângulo:

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{278 + 330}{2} \times \cos(12,69g) \times \text{sen}(12,69g) = 75 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{278 + 330}{2} \times \cos(12,69g) \times \text{sen}(172,69g) = 61 \text{ Kg}$$

Resultante: $F_x = 3 \times 75 + 61 = 286 \text{ Kg}$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{278 + 330}{2} = 370 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{278 + 330}{2} = 224 \text{ Kg}$$

Resultante: $F_z = 3 \times (30 + 30 + 370) + 224 = 1514 \text{ Kg}$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido normal à bissetriz do ângulo:

$$F_x = \frac{1}{5} F_y = \frac{5578}{5} = 1116 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$F_z = 1514 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P6000

Força horizontal por cabo: $30 + 30 + 370 + 1033 + 75 = 1538 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 30 + 370 = 430 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $5578 + 286 = 5864 \text{ Kg} < 6000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1514 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 11 – APOIO DE ALINHAMENTO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{330 + 363}{2} = 439 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{330 + 363}{2} = 356 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } Fy = 3 \times (30 + 439) + 356 = 1762 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{330 + 363}{2} = 422 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{330 + 363}{2} = 254 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } Fz = 3 \times (30 + 422) + 254 = 1610 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$Fx = \frac{1}{5} Fy = \frac{1762}{5} = 352 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$Fz = 1610 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P2000

Força horizontal por cabo: $30 + 439 = 469 \text{ Kg} < 667 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 422 = 452 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $1762 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1610 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 12 – APOIO DE ALINHAMENTO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{363 + 212}{2} = 364 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{363 + 212}{2} = 295 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } Fy = 3 \times (30 + 364) + 295 = 1477 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{363 + 212}{2} = 350 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{363 + 212}{2} = 210 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } Fz = 3 \times (30 + 350) + 210 = 1350 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$Fx = \frac{1}{5} Fy = \frac{1477}{5} = 295 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$Fz = 1350 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P2000

Força horizontal por cabo: $30 + 364 = 394 \text{ Kg} < 667 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 350 = 380 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $1477 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1350 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 13 – APOIO DE ALINHAMENTO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{212 + 263}{2} = 301 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{212 + 263}{2} = 244 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_y = 3 \times (30 + 301) + 244 = 1236 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{212 + 263}{2} = 289 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{212 + 263}{2} = 174 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_z = 3 \times (30 + 289) + 174 = 1131 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$F_x = \frac{1}{5} F_y = \frac{1236}{5} = 247 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$F_z = 1131 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P2000

Força horizontal por cabo: $30 + 301 = 331 \text{ Kg} < 667 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 289 = 319 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $1236 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1131 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 14 - APOIO DE ALINHAMENTO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{263 + 287}{2} = 348 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{263 + 287}{2} = 282 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_y = 3 \times (30 + 348) + 282 = 1417 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{263 + 287}{2} = 335 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{263 + 297}{2} = 201 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_z = 3 \times (30 + 335) + 201 = 1296 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$F_x = \frac{1}{5} F_y = \frac{1417}{5} = 283 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$F_z = 1269 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P2000

Força horizontal por cabo: $30 + 348 = 378 \text{ Kg} < 667 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 335 = 365 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $1417 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1296 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 15 – APOIO DE ALINHAMENTO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{287 + 325}{2} = 387 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{287 + 325}{2} = 314 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_y = 3 \times (30 + 387) + 314 = 1566 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{287 + 325}{2} = 373 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{287 + 325}{2} = 224 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_z = 3 \times (30 + 373) + 224 = 1432 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$F_x = \frac{1}{5} F_y = \frac{1566}{5} = 313 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$F_z = 1432 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P2000

Força horizontal por cabo: $30 + 387 = 417 \text{ Kg} < 667 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 373 = 403 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $1566 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1432 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 17 – APOIO DE ALINHAMENTO COM CADEIA DE AMARRAÇÃO

Esforços conforme artigo 56.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{200 + 240}{2} = 279 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{200 + 240}{2} = 226 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_y = 3 \times (30 + 30 + 279) + 226 = 1243 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{200 + 240}{2} = 268 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{200 + 240}{2} = 161 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } F_z = 3 \times (30 + 30 + 268) + 161 = 1145 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (sem vento):

→ No sentido da linha:

$$F_x = \frac{1}{5} F_y = \frac{1243}{5} = 249 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

$$F_z = 1145 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: P4000

Força horizontal por cabo: $30 + 30 + 279 = 339 \text{ Kg} < 1333 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical por cabo: $30 + 30 + 268 = 328 \text{ Kg} < 700 \text{ Kg} \checkmark$

Força horizontal total: $1243 \text{ Kg} < 4000 \text{ Kg} \checkmark$

Força vertical total: $1145 \text{ Kg} < 2000 \text{ Kg} \checkmark$

APOIO 18 – APOIO DE FIM DE LINHAEsforços conforme artigo 62.º do RSLEAT:

Hipótese 1 (vento perpendicular à linha):

→ No sentido normal à linha:

Vento sobre a cadeia de isoladores: 30 Kg

Vento sobre um condutor da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{240}{2} = 152 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da linha:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{240}{2} = 123 \text{ Kg}$$

Vento sobre um condutor da entrada da subestação:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{15}{2} \times \cos^2(23,24g) = 8 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da entrada da subestação:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{15}{2} \times \cos^2(23,24g) = 7 \text{ Kg}$$

Tracção de um condutor da entrada da subestação:

$$326,1 \times 0,5 \times \sin(23,24g) = 58 \text{ Kg}$$

Tracção do cabo de guarda da entrada da subestação:

$$204 \times 2 \times \sin(23,24g) = 146 \text{ Kg}$$

Resultante: $F_y = 3 \times (30 + 30 + 152 + 8 + 58) + 123 + 7 + 146 = 1110 \text{ Kg}$

→ No sentido da linha:

Vento sobre um condutor da entrada da subestação:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,02345 \times \frac{15}{2} \times \cos(23,24g) \times \sin(23,24g) = 3 \text{ Kg}$$

Vento sobre o cabo de guarda da entrada da subestação:

$$0,6 \times 1 \times 90 \times 0,019 \times \frac{15}{2} \times \cos(23,24g) \times \sin(23,24g) = 3 \text{ Kg}$$

Tracção de um condutor da linha:

$$326,1 \times 8 = 2609 \text{ Kg}$$

Tracção do cabo de guarda da linha:

$$204 \times 11 = 2244 \text{ Kg}$$

Tracção de um condutor da entrada da subestação:

$$326,1 \times 0,5 \times \cos(23,24g) = -152 \text{ Kg}$$

Tracção do cabo de guarda da entrada da subestação:

$$204 \times 2 \times \cos(23,24g) = -381 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } Fx = 3 \times (3 + 2609 - 152) + 3 + 2244 - 381 = 9246 \text{ Kg}$$

→ Esforço vertical:

Peso da cadeia de isoladores: 30 Kg

Peso de um condutor da linha:

$$1,218 \times \frac{240}{2} = 146 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da linha:

$$0,732 \times \frac{240}{2} = 88 \text{ Kg}$$

Peso de um condutor da entrada da subestação:

$$1,218 \times \frac{15}{2} = 9 \text{ Kg}$$

Peso do cabo de guarda da entrada da subestação:

$$0,732 \times \frac{15}{2} = 5 \text{ Kg}$$

$$\text{Resultante: } Fz = 3 \times (30 + 30 + 146 + 9) + 88 + 5 = 738 \text{ Kg}$$

Hipótese 2 (acções excepcionais):

Os condutores neste apoio são amarrados ao fuste, ou seja no eixo do apoio, e por isso a resultante da torção é nula. A resultante das componentes horizontais das tracções máximas exercidas pelos condutores e pelo cabo de guarda, considerando a rotura de um qualquer condutor ou cabo de guarda é menor que a resultante obtida na hipótese 1 como pode ser confirmado de seguida, pelo que pode ser dispensada a verificação desta hipótese.

Resultante:

$$Fx = 2 \times (2609 - 152) + 2244 - 381 = 6777 \text{ Kg}$$

ou

$$Fx = 3 \times (2609 - 152) = 7371 \text{ Kg}$$

Estabilidade do apoio: K 18

$$F_{pvp} = F_x = 9246 \text{ Kg}$$

$$F_{svp} = F_y = 1110 \text{ Kg}$$

$$q = 900 \text{ Pa}$$

vento na direcção principal

$$\frac{F_{pvp}}{14307} + \frac{F_{svp}}{5624} = 1 \Rightarrow \frac{9246}{14307} + \frac{1110}{5624} = 0,84 < 1 \quad \checkmark$$

2.5.5 – Verificação do desvio transversal das Cadeias de Suspensão

Para garantir a distância mínima entre os condutores e os apoios, exposta no artigo 33.º do RSLEAT, é necessário que o ângulo de desvio transversal das cadeias de suspensão não seja maior que o ângulo de desvio transversal máximo.

Para linhas aéreas cuja tensão nominal é 63 kV as distâncias a garantir, entre os condutores e os apoios, são as seguintes.

$$D = 0,1 + 0,0065 \times 63 = 0,51 \text{ m}, \text{ para condutores nus em repouso;}$$

e

$$D = 0,0065 \times 63 = 0,41 \text{ m}, \text{ para condutores nus desviados pelo vento.}$$

Para os condutores em repouso a distância mínima é verificada em toda a linha, uma vez que as armações usadas garantem uma distância dos condutores ao apoio superior a 0,51 m.

Para os condutores desviados pelo vento é necessário garantir no mínimo 0,41 m entre os condutores e o apoio. Como as cadeias de suspensão, aplicadas na linha, têm 1,2 m de comprimento, o máximo ângulo de desvio transversal permitido é dado por:

$$\theta_{\max}^{\text{permitido}} = \cos^{-1} \left(\frac{0,41}{1,2} \right) = 78 \text{ grados}$$

Para se garantir uma maior margem de segurança, vai-se utilizar 60 grados para ângulo de desvio transversal máximo: $\theta^{\max} = 60 \text{ grados}$.

O ângulo do desvio transversal da cadeia de suspensão dos apoios de alinhamento é dado por:

$$i = \text{tg}^{-1} \left[\frac{P_v + \frac{Q_v}{2}}{P + \frac{Q}{2}} \right]$$

CÁLCULO DO DESVIO TRANSVERSAL DA CADEIA DE SUSPENSÃO DO APOIO 2:

$$\text{Acção do vento no cabo condutor: } P_v = 0,6 \times 1 \times \frac{90}{2} \times 0,02345 \times \frac{270 + 305}{2} = 182 \text{ Kg}$$

$$\text{Acção do vento na cadeia de isoladores: } Q_v = 30 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso do condutor sobre o apoio: } P = 1,218 \times 285 = 347 \text{ Kg}$$

$$\text{Peso da cadeia de isoladores: } Q = 30 \text{ Kg}$$

$$\text{Desvio transversal da cadeia de suspensão: } i = \text{tg}^{-1} \left[\frac{182 + \frac{30}{2}}{347 + \frac{30}{2}} \right] = 32 \text{ grados} < \theta_{\max}$$

Verifica-se assim que os condutores não se aproximam excessivamente ao apoio, uma vez que os desvios transversais das cadeias de isoladores, devidos à acção do vento, não ultrapassam o máximo.

Tal como para as cadeias de suspensão do apoio 2, pode-se calcular o desvio transversal das cadeias de suspensão dos restantes apoios (com cadeias de suspensão). Os resultados são apresentados na tabela seguinte.

Tabela 6 - Ângulo do desvio transversal das cadeias de suspensão dos apoios de alinhamento

Apoio	P (Kg)	Pv (Kg)	Q (Kg)	Qv (Kg)	i (grados)
2	347	182	30	30	32
3	259	186	30	30	40
4	267	178	30	30	38
5	510	206	30	30	25
6	356	202	30	30	34
7	396	191	30	30	30
9	393	197	30	30	31
11	369	219	30	30	35
12	180	182	30	30	50
13	371	150	30	30	26
14	342	174	30	30	31
15	470	194	30	30	26
16	238	166	30	30	40

Analisando a tabela anterior verifica-se que a distância mínima entre os condutores e os apoios é garantida. Os ângulos de desvio transversal obtidos são inferiores ao máximo.

2.5.6 – Verificação da Distância Mínima Entre Condutores

De acordo com o exposto no artigo 31.º do *RSLEAT*, os condutores devem ser estabelecidos de forma a não poderem aproximar-se perigosamente entre si, atendendo às oscilações provocadas pelo vento.

Para linhas aéreas cuja tensão nominal é 63 kV a distância a garantir entre condutores é dada a seguir.

$$D = k \sqrt{f + d + \frac{63}{150}}$$

Em que:

k – é um coeficiente dependente da natureza dos condutores, cujo valor é 0,6 para condutores de alumínio-aço;

f – é a flecha máxima dos condutores, em metros;

d – é o comprimento das cadeias de isoladores susceptíveis de oscilarem transversalmente à linha, em metros.

Como a linha está projectada para uma zona sem gelo, a distância entre os condutores nus pode ser inferior à obtida pela expressão anterior, desde que a distância entre os planos horizontais que passam pelos respectivos pontos de fixação não seja menor que dois terços daquele valor. Em qualquer caso, a distância entre os condutores (nus), da linha de 63 kV, não pode ser inferior a 0,63 m.

Com os resultados já obtidos para as tracções dos condutores no estado mais desfavorável, é possível determinar a flecha máxima dos condutores em cada um dos cantões.

Para o primeiro cantão, o cálculo da flecha máxima e da distância a garantir entre condutores é apresentado a seguir.

A flecha máxima do primeiro cantão vale:

$$f_{\max} = \frac{w \times L^2}{8 \times \sigma \times t_{mk}} = \frac{1,218 \times 25^2}{8 \times 326,1 \times 0,2959} = 0,99 \text{ m}$$

A distância mínima a garantir entre condutores junto do apoio 1 é:

$$D = 0,6 \sqrt{0,99 + 0 + \frac{63}{150}} = 0,71 \text{ m}$$

↓ Zona sem gelo

$$D_{\min} = \frac{2}{3} \times 0,71 = 0,47 \text{ m} < 0,6 \text{ m} \Rightarrow D_{\min} = 0,63 \text{ m}$$

Na armação do apoio 1 (EVFR-AT), a distância mínima entre os planos horizontais dos condutores, passando pelos respectivos pontos de fixação, é de 1,5 m. Assim sendo, está garantida a distância mínima entre os condutores no primeiro cantão.

Para o segundo cantão o cálculo da flecha máxima e da distância mínima a garantir entre condutores encontra-se a seguir.

A flecha máxima do segundo cantão vale

$$f_{\max} = \frac{wL^2}{8\sigma t_{mk}} = \frac{1,218 \times 308^2}{8 \times 326,1 \times 4,6786} = 9,47 \text{ m}$$

A distância mínima a garantir entre condutores junto do apoio 1 é:

$$D = 0,6 \sqrt{9,47 + 0 + \frac{63}{150}} = 1,89 \text{ m}$$

↓ Zona sem gelo

$$D_{\min} = \frac{2}{3} \times 1,89 = 1,26 \text{ m}$$

A armação do apoio 1 (EVFR-AT) verifica esta distância.

A distância mínima a garantir entre condutores junto dos apoios intermédios (e mais desfavorável que a anterior) é:

$$D = 0,6 \sqrt{9,47 + 1,2 + \frac{63}{150}} = 2,00 \text{ m}$$

↓ Zona sem gelo

$$D_{\min} = \frac{2}{3} \times 2,00 = 1,33 \text{ m}$$

A armação G3, utilizada em todos os apoios à excepção dos pórticos e dos apoios de fim de linha, apresenta uma distância mínima entre os planos horizontais dos condutores

que passam pelos respectivos pontos de fixação de 2,5 m. Conclui-se assim que a distância mínima entre os condutores também é garantida junto dos apoios intermédios. Junto do apoio 8, como este é de amarração, a distância mínima a garantir é inferior à calculada para os apoios intermédios (uma vez que $d = 0 \text{ m} < 1,2 \text{ m}$). Sendo igual a armação usada, então a distância mínima entre condutores é também verificada.

Para os restantes cantões o valor da flecha máxima e da distância mínima, mais desfavorável, a garantir entre condutores encontra-se na tabela seguinte.

Tabela 7 - Flecha máxima dos condutores

Cantão/vão	Vãos	L (m)	L_{eq} (m)	t_{mk} (80°C) (Kg/mm ²)	f_{max} (m)	D_{min} (m) mais desfavorável
1	P-1	25	25	0,2959	0,99	0,63
2	1-2	270	308	4,6786	9,47	1,33
	2-3	305				
	3-4	283				
	4-5	280				
	5-6	370				
	6-7	267				
	7-8	337				
3	8-9	343	316	4,7067	9,91	1,36
	9-10	278				
4	10-11	330	299	4,6430	8,99	1,30
	11-12	363				
	12-13	212				
	13-14	263				
	14-15	287				
	15-16	325				
	16-17	200				
5	17-18	240	240	4,2450	6,34	1,13
6	18-P	15	15	0,2435	0,43	0,63

Da análise da tabela anterior e do apresentado anteriormente pode concluir-se que as distâncias mínimas entre condutores são verificadas.

2.6 – CRUZAMENTOS COM LINHAS DE TELECOMUNICAÇÕES

A linha cruzará com traçados de telecomunicações nos vãos 2-3; 3-4; 6-7; 8-9; 10-11; 14-15; 15-16; 17-18.

A distância vertical entre o condutor inferior da linha de alta tensão e o superior dos traçados de telecomunicações é superior ao mínimo regulamentar.