QUINTAS & QUINTAS
CONDUTORES ELÉCTRICOS, SA

SOLIDAL
CONDUTORES ELÉCTRICOS, S.A.
GRUPO QUINTAS & QUINTAS

AENOR ER Empresa Registrada ER-0195/1/98

EMPRESA CERTIFICADA apcer ISO 9001 ISO 14001

CERTIFIED IQNet MANAGEMENT SYSTEM

Guia **Técnico**

Portugal

QUINTAS & QUINTAS

CONDUTORES ELÉCTRICOS, SA

SOLIDAL

CONDUTORES ELÉCTRICOS, S.A.

GRUPO QUINTAS & QUINTAS

50 anos

1957 - 2007

Prefácio

No ano em que comemoramos 50 anos como fabricantes de Condutores Eléctricos, é com profunda satisfação que damos continuidade a um projecto desenhado há longos anos e que com perseverança temos vindo sistematicamente a modernizar e aperfeiçoar de forma a dar um contributo cada vez mais eficaz aos seus utilizadores.

Têm sido particularmente gratificantes as demonstrações de interesse e apreço pelo Guia Técnico evidenciados ao longo deste tempo, de que nos permitimos destacar as provenientes dos nossos clientes, o que contribui para o estímulo no prosseguimento deste desafio.

Queremos dirigir um agradecimento aos nossos colaboradores que, com a sua competência e dedicação, tornaram possível mais esta edição.

Finalmente, resta-nos assumir um compromisso de tudo fazer para que dentro de dois anos estejamos a lançar a 11ª edição.

A todos o nosso sincero agradecimento,

A Direcção

QUINTAS & QUINTAS
CONDUTORES ELÉCTRICOS, SA

SOLIDAL
CONDUTORES ELÉCTRICOS, S.A.
GRUPO QUINTAS & QUINTAS

1 • Apresentação das Empresas

2 • Pontos de Referência

3 • Estratégia Conjunta de Desenvolvimento

4 • Produtos e Mercado

5 • Certificações de Conformidade

1. *Apresentação das Empresas*

As evoluções históricas das Empresas QUINTAS & QUINTAS e SOLIDAL – Condutores Eléctricos cruzaram-se ao longo do tempo, para se encontrarem, definitivamente, a partir de 2001.

QUINTA & QUINTAS CONDUTORES SURGE em consequência da reestruturação operada, em finais de 1997, no Grupo QUINTAS: da divisão então empreendida da Companhia Industrial Têxteis e Metálicos Quintas & Quintas SGPS, SA (CICTM) resultaram as empresas Quintas & Quintas - Condutores Eléctricos e Quintas & Quintas - Cordoarias e Redes. Da antiga CICTM, fundada em 1925, herdou a Quintas & Quintas Condutores o património histórico de prestigiada experiência.

A SOLIDAL iniciou a sua actividade industrial em 1970, tendo começado a ser participada pelo Grupo QUINTAS a partir de 1987, o qual passa a deter a totalidade da propriedade da Empresa a partir de 1994.

Estando ambas as unidade vocacionadas, desde o seu início, para o desenvolvimento do negócio na área dos condutores de energia, predominantemente de alumínio, têm pautado a sua actuação pela inovação e pioneirismo, desafiando continuamente o mercado nacional com novas soluções e novas gamas de produtos:

1957 – Cabos Nus de Alumínio

1970 – Condutores Isolados de Alumínio Sólido

1975 – Cabos Aéreos Cableados em Torçada

1980 – Cabos Isolados de Média Tensão até 36 kV

1991 – Cabos de Liga de Alumínio

1995 – Cabos de guarda com fibra óptica do tipo OPGW

1998 – Cabos Isolados de Alta Tensão até 72,5 KV

2007 – Cabos Isolados de Alta Tensão até 150 KV

A partir de 2001 foi desenvolvida uma estratégia de reestruturação da área de condutores do Grupo QUINTAS, tendo em vista a procura de sinergias funcionais e a melhoria da rentabilidade do negócio, a qual se traduziu na concentração das actividades industriais das duas Empresas no mesmo espaço geográfico, em Esposende, nas instalações antes ocupadas apenas pela Solidal.

Desta forma, preservando-se embora a personalidade jurídica da cada uma das Empresas, mantendo cada uma das organizações a sua gama de produtos tradicionais e respectivos mercados, a coordenação das actividades industriais é efectuada de uma forma integrada, com se de uma só unidade se tratasse, de que são exemplo o Sistema de Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança.

2. *Pontos de Referência*

Visão

Ser a referência no nosso sector de actividade oferecendo soluções inovadoras.

Missão

Satisfazer os nossos clientes respondendo às suas expectativas e exigências, fornecendo produtos e soluções inovadoras.

Satisfazer os nossos colaboradores, promovendo o seu desenvolvimento profissional e social.

Satisfazer os accionistas rentabilizando o seu investimento.

Satisfazer o meio envolvente, contribuindo para o seu desenvolvimento sustentado, ao nível económico, social e ambiental.

Valores

A Empresa sustenta-se nos seguintes principais valores:

Ética

Sermos os primeiros

Adesão

Política das Empresas

As empresas do Grupo da área dos condutores eléctricos sedeadas no Pólo de Esposende, QUINTAS & QUINTAS e SOLIDAL, centrando as suas acções na produção de cabos eléctricos de energia, estão conscientes de que a sua atitude em relação à qualidade dos seus produtos e serviços e à prevenção dos impactos ambientais e dos riscos laborais se deve pautar por um empenho na melhoria continuada de todas as suas actividades, por serem estes os valores que determinam a sua dinâmica e êxito empresarial.

Com vista à prossecução da sua actividade, a QUINTAS & QUINTAS e SOLIDAL.

Garantem o cumprimento da legislação e de outras condições que subscrevem e assumem a execução dos requisitos das normas e regulamentos de gestão aplicáveis.

Asseguram que a investigação, o desenvolvimento, o fabrico e o controlo dos seus produtos se caracteriza pelo pioneirismo, inovação tecnológica e ética profissional, de modo a superar as expectativas dos seus clientes, de prevenir impactes negativos no meio ambiente e de garantir a segurança e saúde laboral.

Assumem que a sua política é documentada, implementada, mantida e comunicada aos seus colaboradores e a todas as pessoas que trabalham para a empresa ou em seu nome, estando disponível às partes interessadas.

3. *Estratégia conjunta de desenvolvimento*

QUINTAS & QUINTAS e SOLIDAL têm vindo a desenvolver uma estratégia de diversificação dos seus mercados realizando, nos últimos anos, um importante esforço de alargamento da sua penetração no domínio internacional. No entanto, num sector tão exigente como é o dos cabos eléctricos, as empresas estão conscientes que só poderão consolidar as posições nos seus mercados tradicionais e alargar a novos mercados, se conseguirem manter o seu nível de competitividade e proporcionar aos seus clientes vantagens inerentes à melhoria da qualidade dos seus produtos e dos serviços que prestam.

Cumulativamente, procuram as Empresas aprofundar a sua penetração no mercado nas gamas de produtos de mais elevado nível tecnológico como sejam, por exemplo, os Cabos de Liga de Alumínio e os Cabos Isolados de Alta Tensão.

Incorporando a sustentabilidade como pensamento estratégico, o alvo do desenvolvimento é o aumento de competitividade, a par da satisfação dos clientes, dos colaboradores, dos parceiros no negócio e da sociedade envolvente.

Tal objectivo está centrado nos seguintes vectores:

— Inovação tecnológica;

— Culto da excelência da Qualidade dos seus produtos e serviços;

— Aumento da produtividade;

— Melhoria dos sistemas de informação;

— Harmonizar o crescimento com a preservação do ambiente e a prevenção dos riscos laborais.

4. *Produtos e Mercado*

As empresas dispõem, no seu conjunto, de um ciclo de produção vertical integrado, contemplando as necessárias operações de transformação à base de alumínio e sua ligas e de cobre, para os condutores aéreos nus, cabos de telecomunicação do tipo OPGW, cabos aéreos isolados cableados em torçada e cabos subterrâneos isolados com condutores maciços ou multifilares, para baixa, média e alta tensão até 225 KV.

Os seus produtos estão certificados em Portugal e em outros países comunitários e não comunitários, nomeadamente em Espanha, Brasil, Noruega, Irlanda, Israel e África do Sul. As Empresas, com uma capacidade de produção instalada de 1500 ton. cabos/mês, exportam já cerca de 60% dos seus produtos fabricados, sendo seu objectivo estratégico alcançar uma quota de exportação de 75%, no prazo de três anos.

Condutores nús de alumínio:

— Almas condutoras sólidas perfil redondo ou sectorial;
— Almas condutoras multifilares, perfil redondo ou sectorial.

Cabos nús para linhas aéreas:

— Cabos ACSR (Aluminium Conductors Steel Reinforced);
— Cabos AAC (All Aluminium Conductors);
— Cabos AAAC (All Aluminium Alloy Conductors);
— Cabos AACSR (Aluminium Alloy Conductors Steel Reinforced).
— Cabos ACAR (Aluminium Conductors Alloy Reinforced)
— Cabos OPGW.

Cabos Isolados:

A produção na área dos condutores isolados cobre a gama dos cabos aéreos e subterrâneos de Baixa e Média Tensão. Destacam-se os seguintes tipos de condutores:

— Condutores de Baixa Tensão (1 kV) - Secções de 16 mm^2 até 1000 mm^2 - com almas sólidas, multifilares, redondas ou sectoriais, em alumínio; Secções de 29,5 , 54,6 , 80 e 95 mm^2 - com almas multifilares, em liga de alumínio;

— Condutores de Média Tensão (de 3 kV a 30 kV) - Secções de 35 mm^2 até 1000 mm^2, isolados a dieléctrico sólido extrudido, em dupla ou tripla extrusão simultânea, com almas condutoras multifilares de alumínio ou cobre;

— Condutores de Alta Tensão (de 45 kV a 225 kV) - Secções de 120 mm^2 até 1000 mm^2, isolados a dieléctrico sólido extrudido, em dupla ou tripla extrusão simultânea, com almas condutoras multifilares de alumínio ou cobre.

5. *Certificações de Conformidade*

5.1. *Das Empresas*

A QUINTAS & QUINTAS e SOLIDAL dispõem de um Sistema Integrado de Gestão da Qualidade, Ambiente e Segurança (Gestão QAS) que está certificado em Portugal (APCER) e Espanha (AENOR) nas seguintes áreas de actividade:

— Gestão da Qualidade (referencial normativo ISO 9001:2000)

— Gestão Ambiental (referencial normativo ISO 14001: 1999)

Tendo em vista a certificação da parte do sistema respeitante à Segurança e Saúde do Trabalho (de acordo com o referencial NP 4397/OHSAS 18001), encontra-se em fase de implementação o Plano de Acções de Melhoria que resultou da identificação dos perigos e a avaliação dos riscos das actividades.

De acordo com as especificidades próprias das empresas envolvidas, este sistema integrado abrange os seguintes âmbitos:

SOLIDAL: Concepção, produção e comercialização de condutores eléctricos de energia – nus e isolados – de baixa, média e alta tensão até 250 kV; fornecimento de soluções integradas de infra-estruturas de redes eléctricas de energia e de telecomunicações.

QUINTAS & QUINTAS - Concepção, produção e comercialização de condutores eléctricos de energia – nus e isolados de baixa tensão – e condutores de OPGW; fornecimento de soluções integradas de infra-estruturas de redes eléctricas de energia e de telecomunicações.

5.2. *Dos Produtos*

As empresas têm a sua principal gama de produtos certificados por entidades oficiais, para tal fim acreditadas, conforme os quadros 1 a 5:

SOLIDAL

Quadro 1 - Produtos Certificados pela CERTIF

Cabos Não Harmonizados Certificados (tipos ou gamas)	**Normalização Aplicável**	**Licença n.º**	**Validade**
LXV	• CEI 60502-1:2004 • HD 603 S1 Partes 1 e 5 (Secção V)	CNH – 002/2007	2012-02-15
LVV, LSVV	• CEI 60502-1:2004 • HD 603 S1 Partes 1 e 3 (Secção M)	CNH – 001/2007	2012-02-15
LVAV, LSVAV	• CEI 60502-1:2004 • HD 603 S1 Partes 1 e 4 (Secção C)	CNH – 003/2007	2012-02-15
LXS	• NP 3528:1999 • HD 626 S1 Partes 1, 2, 4 (Secção J) e 6 (Secção J)	CNH – 004/2004	2009-12-12

Quadro 2 - Produtos Certificados pela AENOR (Espanha)

Cabos Certificados (tipos ou gamas)	Normalização Aplicável	Certificado N.º	Validade
RV	• UNE HD 603 5N/A1	075/000028	2011-04-05
RZ	• UNE 21030 (HD 626 S1)	075/000029	2011-04-05
RHZ1-2OL	• UNE 211620 - 5E	075/000039	2013-01-15

Quadro 3 - Produtos Certificados pela NEMKO (Noruega)

Cabos Certificados (tipos ou gamas)	Normalização Aplicável	Certificado N.º
TFXP (NO-N1XEV-AS)	• HD 603 S1 Partes 1 e 5 (Secção M)	P 99100334
EX (N0-N1E-AR)	• HD 626 S1 Parte 1 e 3 (Secção I)	P 99100331

Quadro 4 - Produtos Certificados pelo KEMA (Holanda)

Cabos Certificados (tipos ou gamas)	Normalização Aplicável	Certificado N.º
Cabos de Alta Tensão 36/60 (72,5) kV 1x630 mm² isolamento a polietileno reticulado (PEX/XLPE)	• IEC 60840	01-1219
Cabo AT 76/132 (145) kV	• IEC 60840	06-1247

Outros produtos, embora não certificados por entidades oficiais, são-no pelos próprios clientes, nomeadamente pela EDP - Electricidade de Portugal, Balfour Beatty, Iberdrola, U. E. Fenosa, Grupo Endesa para os cabos nús e isolados de BT, MT e AT.

QUINTAS & QUINTAS

Quadro 5 - Produtos Certificados pela AENOR (Espanha)

Cabos Certificados (tipos ou gamas)	Normalização Aplicável	Certificado N.º	Validade
AL1/ST1A (LA)	• UNE EN 50182	075/000030	2011-04-05

Quadro 6 - Ensaios de cabos OPGW Certificados

Ensaios / Ref.ª	Cabos OPGW													
	ST/ST 57	ACS/ST 57	ST/ST 133	ACS/ST 133	ACS/ST 122	AA/ACS/ACST91/45	AA/ACS/ST92/35	AA/ST/ST85/42	AL/ST 87/33	AL/ACS 42/21	AL/ST/ST 207/42	ACS/ST 61	AA/ACS/ST 85/35	AA/ACS/ST122/61
Short circuit (curto-circuito) - CESI	MP/A1/003131	MP-A1/003136	MP-AI/002935	MP/AI/002887		MP-99/004634	MP-99/019187	MP-99/004711	MP-99/0044554	MP-99/019329	MP-99/004707			
Short circuit (curto-circuito) - CEPEL					UNIAP-1006/2000R									
Lightning Stroke test (descargas) - CESI	AT-AI/005383	AT/AI-005508	AT/A1-005110	AT-A1/005243		AT-99/005317	AT-99/019381	AT-99/005441	AT-99/005370	AT-99/019380	AT-99/005493			
Lighthning Stroke test (descargas) - CEPEL	UNIAP-250/2001-R			UNIAP-450/2001-R				UNIAP-228/2000-R				UNIAP-208/2000R	UNIAP-208/200RE	UNIAP-228/2000R UNIAP-522/2000R
Sheave test (Puxamento na Polia)	MP/A1/009395	MP-A1/009757	MP-A1/009196	MP-A1/008713	MP-A1/008118									
Torsion teste (Torção)	MP-A1/007453	MP-A1/007412	MP-A1/007394	MP-A1/007250	MP-A1.006397									
Temperature cycling (ciclo térmico)	MP/A1/009769	MP-A1/009771	MP-A1/007884	MP-A1/009770	MP-A1.005257	AT-UST-99/155	AT-UST-99/487	AT-UST-99/154	99/14394	99/29076	REV.A 1997-03-11			
Stress Strain (Tensão deformação)	MP/A1/003503	MP-A1/003555	MP-A1/003712	MP-A1/003620	MP-A1.013255				99/13232		99/14391 E REV.B			
Tensile performance (tracção)	MP/A1/009768	MP-A1/009767	MP-A1/009766	MP-A1/009764	MP-A1.007593				99/224334		1997-06-04			
Cable Cut-off (comp. Onda de corte)	A1/021801			A1-021800	MP-A1/014240									
Aeolian Vibration (Vibração eólica)	MP/A1/020964			MP-A1/020961	MP-A1/009772*									
Minimum bending ratio (raio min. curvatura)	MP/A1/020742			MP-A1/020747										
Crush test (compreenssão)	MP/A1/020662			MP-A1/020665	MP-A1/013567									
Creep test (fluência)	MP/A1/020957			MP-A1/020958	MP-A1/009773									
Drip test (Pingamento composto)	MP/A1/020755			MP-A1/020757	MP-A1/013565									
Pressure test (pressão)	MP/A1/020738			MP-A1/020739										
Fluid penetration (penetração de água)	MP/A1/020955			MP-A1/020956										

* - + ensaio também realizado ao suspension clamp

Capítulo **Página**

I - Especificações Gerais dos Condutores e Cabos Eléctricos 1

II - Dimensionamento dos Condutores e Cabos Eléctricos 61

III - Notas Técnicas 119

IV - Técnicas de Colocação dos Cabos, Localização de Defeitos em Redes Subterrâneas e Acondicionamento de Cabos Eléctricos 159

V - Características Técnicas dos Condutores de Energia e Cabos Eléctricos 203

V.I - Cabos Nús para Transporte de Energia Eléctrica 205

V.II - Cabos de Guarda com Fibra Óptica Incorporada 235

V.III - Cabos Isolados de Baixa Tensão 259

V.IV - Cabos Isolados Agrupados em Feixe (torçada) 285

V.V - Cabos Isolados de Média e Alta Tensão 307

VI - Cabos de Comunicações 329

VII - Acessórios Eléctricos 375

VIII - Regras de Uso 389

Índice

CAPÍTULO I - ESPECIFICAÇÃO GERAL DOS CONDUTORES E CABOS ELÉCTRICOS

1.1 - Generalidades 3
1.1.1 - Indicações necessárias para a escolha da especificação 3
1 - Relativamente à rede de alimentação 4
2 - Relativamente à instalação a alimentar e às condições de funcionamento da canalização 4
3 - Relativamente às características do cabo 5
4 - Relativamente às condições de instalação do cabo 5
5 - Relativamente aos acessórios da instalação 6
1.1.2 - Regulamentação - Normalização 7
1 - Características dos cabos 7
2 - Características das instalações 9

1.2 - Constituição dos Condutores e Cabos de Energia 10
1.2.1 - Introdução 10
1.2.2 - Alma Condutora 12
1 - Natureza do metal condutor 12
2 - Composição e forma da alma condutora 13
3 - Tipos de condutores e classes de resistência 14
1.2.3 - Camada Isolante 21
1.2.4 - Revestimentos metálicos 27
1.2.5 - Bainhas interiores e exteriores 30
1.2.6 - Bloqueio longitudinal à penetração da humidade 34

1.3 - Características Particulares dos Condutores e Cabos Eléctricos 35
1.3.1 - Características dos principais materiais utilizados nas camadas isolantes e nas bainhas 35
1.3.2 - Raios de Curvatura 42
1.3.3 - Esforços de tracção máximos admissíveis nos cabos 44
1.3.4 - Comportamento na presença do fogo dos condutores e cabos eléctricos 45
1.3.5 - Condições de instalação dos cabos 47
1.3.6 - Protecção dos cabos contra os roedores 48
1.3.7 - Protecção dos cabos contra micro organismos e as térmitas 49
1.3.8 - Influências externas possíveis nas instalações de B.T. segundo o regulamento de segurança das instalações de utilização de energia eléctrica 50

1.4 - Ensaios e Controlos 52
1.4.1 - Verificação das disposições construtivas e das características dimensionais 52
1.4.2 - Verificação das características mecânicas, físicas e químicas 52
1.4.3 - Verificação das características eléctricas 53
1.5 - Identificação e Utilização dos Condutores e Cabos Eléctricos de Baixa Tensão 53
1.5.1 - Introdução 53
1.5.2 - Regras Fundamentais 53
1.5.3 - Identificação dos condutores dos cabos multipolares de acordo com o HD 308 S2 57
1.6 - Sistema de designação de Cabos Eléctricos (NP 665) 58

CAPÍTULO II - DIMENSIONAMENTO DOS CONDUTORES E CABOS ELÉCTRICOS

2.1 - Escolha de Tensão 61
2.1.1 - Instalações de baixa tensão 62
2.1.2 - Instalações de média e alta tensão 62
1 - Tipo de cabo escolhido 63
2 - Tensão nominal da instalação 63
3 - Condições de eliminação dos defeitos à terra 63
4 - Sobretensões 64

2.2 - Escolha da Secção da Alma Condutora 65
2.2.1 - Determinação da Intensidade a transmitir em regime normal . 66
1 - Potência absorvida 67
2 - Potência aparente 68
2.2.2 - Secção necessária para o aquecimento em regime permanente 71
1 - Introdução 71
2 - Método de cálculo 71
3 - Coeficientes de correcção 72
2.2.3 - Secção necessária para o aquecimento em regime variável 86
1 - Introdução 86
2 - Lei do aquecimento de um cabo 86
3 - Regime cíclico 87
4 - Sobrecarga 88
2.2.4 - Secção necessária para o aquecimento em caso de curto-circuito 89
1 - Introdução 89
2 - Método de calculo 90
3 - Método aproximado 91
2.2.5 - Secção necessária para a queda de tensão 92
1 - Introdução 92

2 - Valores admissíveis para a queda de tensão 92
3 - Fórmula aproximada da queda de tensão 93
4 - Determinação da secção 94
2.2.6 - Exemplo de determinação da secção técnica 102
1 - Cálculo da intensidade a transmitir em regime normal 102
2 - Secção necessária para o aquecimento em regime permanente . 103
3 - Secção necessária para o aquecimento em caso de curto-circuito . 103
4 - Secção necessária para a queda de tensão 104
5 - Secção necessária do ponto de vista técnico 104
2.2.7 - Determinação da secção económica 104
1 - Introdução 104
2 - Princípio de cálculo 105
3 - Cálculo aproximado 107
4 - Notas 107
5 - Exemplo de cálculo da secção económica 108

2.3 - Generalidades sobre o Dimensionamento do Écran Metálico 109
2.3.1 - Afectação de processos caloríficos não - adiabáticos ao cálculo da corrente de curto - circuito 110
2.3.2 - Exemplos de cabos normalizados de média tensão 112
1 - Écrans em fios de cobre 112
2 - Écrans em fita de cobre 113

CAPÍTULO III - NOTAS TÉCNICAS

3.1 - Cálculos Eléctricos 119
3.1.1 - Características eléctricas 119
1 - Convenções 119
2 - Introdução 119
3 - Resistência 119
4 - Indutância 121
5 - Reactância aparente de um condutor 123
6 - Capacidade 124
7 - Corrente de carga ou corrente capacitiva 125
8 - Impedâncias aparentes de um condutor 126
9 - Gradiente de potencial 128
10 - Resistência térmica 129
11 - Resistência de isolamento 130
3.1.2 - Perdas 131
1 - Perdas de Joule 131
2 - Perdas nos revestimentos metálicos 131
3 - Perdas dieléctricas 133

3.1.3 - Intensidade admissível em regime permanente 133

3.2 - Protecção de Pessoas e Bens nas Instalações de Baixa Tensão 138

3.3 - Cálculos Mecânicos 146
3.3.1 - Esforços electrodinâmicos em caso de curto-circuito 146
3.3.2 - Determinação da secção das armaduras em fios de aço 147
3.3.3 - Esforços de tracção durante o enfiamento do cabo em tubos .. 148

3.4 - Grandezas e Unidades 152

CAPÍTULO IV - TÉCNICA DE COLOCAÇÃO DOS CABOS E DE LOCALIZAÇÃO DE DEFEITOS EM REDES SUBTERRÂNEAS E ACONDICIONAMENTO DE CABOS ELÉCTRICOS

4.1 - Técnica de Colocação dos cabos 159
4.1.1 - Introdução 159
4.1.2 - Condições gerais de instalação 159
1 - Colocação no solo 159
2 - Colocação em galeria ou ao ar livre 163
3 - Colocação em tubos 165
4 - Colocação na vertical 167
5 - Nota importante 168
4.1.3 - Montagem dos cabos 168
1 - Desenrolamento dos cabos 169
2 - Precauções particulares 170
3 - Colocação dos cabos flexíveis nos tambores de enrolamento .. 173

4.2 - Localização dos defeitos em redes subterrâneas 174
4.2.1 - Introdução 174
4.2.2 - Tipos e natureza dos principais defeitos 175
1 - Classificação dos tipos de defeitos 175
2 - Caracterização dos defeitos eléctricos 175
4.2.3 - Técnicas de localização de defeitos eléctricos 177
1 - Aspectos gerais 177
2 - Consignação do cabo e análise do defeito 178
3 - Modificação das características do defeito 178
4 - Métodos de localização à distância 179
5 - Métodos de localização no terreno 188

4.3 - Ensaios após colocação 190

4.4 - Acondicionamento de Cabos Eléctricos 191
4.4.1 - Cálculo do Comprimento Máximo de Condutor numa Bobina 191
4.4.2 - Diâmetro Mínimo do Núcleo da Bobina 194
4.4.3 - Capacidade de acondicionamento 194
4.4.4 - Identificação da Bobinas 199
4.4.5 - Transporte e Manutenção 199

CAPÍTULO V - CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS CONDUTORES DE ENERGIA E CABOS ELÉCTRICOS

CAPÍTULO V.I - CABOS NUS PARA TRANSPORTE DE ENERGIA ELÉCTRICA

5.1 - Cabos nus para Transporte de Energia Eléctrica 205
5.1.1 - Introdução 205
5.1.2 - Protecção dos condutores contra a Corrosão 206
5.1.3 - Cabos de Alumínio do tipo AAC 210
5.1.4 - Cabos de Liga de Alumínio do tipo AAAC 214
5.1.5 - Cabos de Alumínio com Alma de Aço do tipo ACSR e Cabos de Alumínio com alma de ACS do tipo ACSR/AW 220
5.1.6 - Cabos de Liga de Alumínio com Alma de Aço do tipo AACSR 226
5.1.7 - Curvas de Elevação da Temperatura 230

CAPÍTULO V.II - CABOS DE GUARDA COM FIBRA ÓPTICA INCORPORADA

5.2 - Cabos de Guarda com fibra Óptica Incorporada 235
5.2.1 - Fibra óptica: Conceitos básicos e perspectivas de Evolução 235
5.2.1.1 - Introdução 235
5.2.1.2 - Conceitos básicos 235
5.2.1.2.1 - Propagação do Raio Luminoso - Análise Geométrica 235
5.2.1.2.2 - Atenuação 236
5.2.1.2.3 - Dispersão cromática 238
5.2.1.2.4 - Dispersão Modal de Polarização (PMD) 238
5.2.1.3 - Evolução da Fibra Óptica 240
5.2.2 - Fundamentos de Reflectometria Óptica Temporal (OTDR) 243
5.2.2.1 - Introdução 243
5.2.2.2 - Princípio de Funcionamento 243
5.2.2.3 - Parâmetros que condicionam a medição 245
5.2.2.3.1 - Banda dinâmica 245
5.2.2.3.1.1 - Duração do tempo de aquisição 246
5.2.2.3.1.2 - Largura do impulso óptico 246

5.2.2.3.2 - Resolução espacial, zona morta 247
5.2.2.4 - Análise bi-direccional 249
5.2.2.5 - Ecos 251
5.2.3 - O desenho de cabos OPGW e a sua influência no desempenho mecânico das fibras ópticas 253

CAPÍTULO V.III - CABOS ISOLADOS DE BAIXA TENSÃO

5.3 - Cabos Isolados de Baixa Tensão 259
5.3.1 - Cabos com alma condutora de alumínio 259
1 - Cabos não armados do tipo LVV, LSVV, LXV, LSXV 259
2 - Cabos armados do tipo LVAV, LSVAV, LXAV, LSXAV 264
5.3.2 - Cabos com alma condutora de cobre 269
1 - Cabos não armados do tipo VV, XV, e armados do tipo VAV, XAV 269
2 - Cabo do tipo PT-N07 VA7 V – U (R) 274
3 - Cabo do tipo PT-N05 VV H2-U 275
4 - Condutores do tipo H07 V-U (R ou K) 276
5 - Condutores do tipo H05 V-U (K) 277
6 - Cabo do tipo H05 VV – F 278
7 - Cabo do tipo H03 VH – H 279
8 - Cabo do tipo H03 VV H2 – F 280
9 - Cabo do tipo H03VV – F 281

CAPÍTULO V.VI - CABOS ISOLADOS AGRUPADOS EM FEIXE (TORÇADA)

5.4 - Introdução 285
5.4.1 - Características gerais das redes em torçada 287
5.4.1.1 - Cabos 287
5.4.1.2 - Acessórios de montagem de uma rede em torçada 289
5.4.1.3 - Tipo de Montagem 290
5.4.1.4 - Postes 290
5.4.2 - Dimensionamento das redes em torçada 292
5.4.2.1 - Escolha da secção da alma condutora 292
1 - Determinação da intensidade a transmitir em regime normal 292
2 - Secção necessária para o aquecimento em regime permanente 293
3 - Secção necessária para o aquecimento em regime variável 293
4 - Secção necessária para o aquecimento em caso de curto-circuito 293
5 - Secção necessária para a queda de tensão 293
6 - Secção necessária do ponto de vista eléctrico 294
5.4.2.2 - Calculo Mecânico e condições de montagem 294
1- Instalação dos cabos 294

2 - Tensões Máximas dos cabos 295
3 - Verificação da estabilidade dos apoios de betão 296
4 - Aplicação das Espias 298
5.4.2.3 - Tabelas de Regulação 300

CAPÍTULO V.v - CABOS ISOLADOS DE MÉDIA E ALTA TENSÃO

5.5- Cabos Isolados de Média e Alta Tensão
5.5.1 - Descrição do processo de fabrico 307
5.5.2 - Cabos de Média Tensão 308
5.5.2.1 - Intensidade em regime permanente para cabos monopolares 313
5.5.2.2 - Cabo tripolar LXHIAV/LXHIOAV/XHIAV/XHIOAV 314
5.5.2.3 - Cabos Auto-suportados (S) trimonopolares cableados suterrâneos e torçadas aéreas 315
5.5.2.4 - Intensidade em regime permanente para cabos tripolares 316
5.5.3 - Cabos de Alta Tensão 317
5.5.3.1 - Cabos de 60 kV adoptados em Portugal 323
5.5.3.1.1 - Condições de instalação 324
5.5.3.1.2 - Capacidade de transporte 324

CAPÍTULO VI - CABOS DE COMUNICAÇÕES

6.1 - Cabos de Comunicações Metálicos 329
6.1.1 - Definições de alguns parâmetros de transmissão 329
1 - Desequilíbrio de resistência 329
2 - Desequilíbrio de capacidade à terra de um par 329
3 - Desequilíbrio de capacidade ao écran de um par 329
4 - Capacidade mútua de um par 329
5 - Velocidade de propagação 330
6 - Constante de atenuação 330
7 - Desequilíbrio e atenuação 330
8 - Atenuação paradiafónica (NEXT) 331
9 - Atenuação telediafónica (FEXT) 331
10 - Impedância característica 331
11 - Impedância de transferência superficial 331
12 - Atraso de propagação de grupo 331
13 - Balun 331
6.1.2 - Métodos de medida dos parâmetros de transmissão 332
1 - Geral 332
2 - Cabos sem blindagem 332

3 - Resistência dos condutores 332
4 - Desequilíbrio de resistência 332
5 - Rigidez dieléctrica 332
6 - Resistência de isolamento 332
7 - Desequilíbrio de capacidade 333
8 - Velocidade de propagação de grupo 333
9 - Atenuação 334
10 - Desequilíbrios de atenuação 334
11 - Paradiafonia 334
12 - Telediafonia 335
13 - Impedância característica 335
6.1.3 - Desequilíbrios e diafonia 336
1 - Desequilíbrio de capacidade 337
2 - Diafonia entre pares simétricos 339
3 - O quadripolo diafónico 339
4 - Os vários tipos de diafonias 341
6.1.4 - Equilibragem 341
6.1.5 - Velocidade de propagação em cabos de comunicações 345
6.1.6 - Cabos de Telecomunicações com condutores metálicos 346
6.1.7 - Rede telefónica local 347
6.1.8 - Cabos telefónicos da rede local 348
6.1.9 - Cabos telefónicos de assinante 354
6.1.10 - Cabos para redes informáticas 361

6.2 - Cabos de Fibra Óptica 366
6.2.1 - Sistema de desig. de cabos de Telecomunicações em fibra óptica 366
6.2.2 - Construção de cabos de fibra óptica 369
1 - Cores para identificação de fibras 369
2 - Cores para identificação de tubos 369
3 - Configuração dos cabos de fibra óptica 370
4 - Características dimensionais e ponderais dos cabos de fibra óptica 370
6.3 - Método de Ponte de alta impedância a 4 fios 372

CAPÍTULO VII - ACESSÓRIOS ELÉCTRICOS

7.1 - Acessórios para Cabos com Fibra Óptica (OPGW) 379

7.2 - Acessórios para cabos secos de alta tensão 383
7.2.1 - Extremidades 384
7.2.1.1 - Extremidades Cerâmicas 385
7.2.1.2 - Extremidades Compósitas 386
7.2.1.3 - Extremidades Pré-fabricadas 387

7.2.2 - Junções 388
7.2.2.1 - Junções enfitadas 388
7.2.2.2 - Junções Pré-fabricadas 388
7.2.2.3 - Junções Termo-retrácteis 390

CAPÍTULO VIII – REGRAS DE USO

8 - Preâmbulo 393

8.1 - Recomendações Relativas à Embalagem, Identificação, Manuseamento, Armazenagem e Transporte dos Cabos 393
8.1.1 - Embalagem 393
8.1.2 - Identificação e rastreabilidade 393
8.1.3 - Manuseamento 394
8.1.4 - Armazenagem 395
8.1.5 - Transporte 395

8.2 - Cabos Nús para Linhas Aéreas 395
8.2.1 - Recomendações relativas a este tipo de cabo 395
8.2.2 - Condições de instalação e de utilização dos cabos 396
8.2.2.1 - Operações de desenrolamento 396

8.3 - Cabos Isolados de Média e Alta tensão - linhas subterrâneas 398
8.3.1 - Temperaturas de funcionamento 398
8.3.2 - Considerações gerais sobre o desenrolamento 398
8.3.3 - Raios de curvatura admissíveis 399
8.3.4 - Métodos de desenrolamento 399
8.3.5 - O uso de roletes 400
8.3.6 - Protecção dos Cabos depois do desenrolamento 401
8.3.7 - Colocação dos cabos em tubos 401
8.3.7.1 - Generalidades 401
8.3.7.2 - Estrutura e construção 401
8.3.7.3 - Controlo do estado do interior das tubagens 402
8.3.7.4 - A colocação do cabo 402
8.3.8 - Colocação dos cabos em Caleiras 402
8.3.8.1 - Construção das caleiras 402
8.3.8.2 - Instalação das caleiras 403
8.3.8.4 - Pontos especiais no trajecto do cabo 403
8.3.9 - Colocação dos cabos directamente no solo 404
8.3.9.1 - Construção da vala 404
8.3.9.2 - Pontos especiais no trajecto do cabo 404
8.3.10 - Instalação dos cabos ao ar livre 405

8.4 - Gestão Ambiental - Para uma prática de OBRA LIMPA 406

Especificações Gerais dos Condutores e Cabos Eléctricos

Capítulo I

1.1 - Generalidades

Os condutores e cabos utilizados nas instalações eléctricas, abrangem vários tipos, em função das variadas aplicações para que estão destinados.

Os cabos para transmissão de energia distinguem-se principalmente:

— pelo tipo de instalação:
  • domésticas,
  • indústriais,
  • distribuição,
  • aplicações particulares;

— pela tensão de serviço entre fases U:

• baixa tensão	**U ≤ 1 000 V,**
• média tensão	**1 000 V < U < 45 000 V,**
• alta tensão	**45 000 V ≤ U ≤ 225 000 V,**
• muito alta tensão	**U > 225 000 V.**

Podem ainda ser cabos rígidos ou flexíveis, conforme a instalação a alimentar seja fixa ou móvel, respectivamente.

Em cada caso apresentado, a escolha deverá ser feita de maneira a conferir ao cabo as características e qualidades requeridas, quer no plano técnico quer económico.

Nas páginas seguintes daremos indicações destinadas a orientar o utilizador ou instalador, na escolha do cabo que melhor se adapte às suas necessidades.

Esta escolha consiste em determinar os materiais apropriados para os diferentes elementos constituintes do cabo e dimensionar o mesmo em função das condições de funcionamento e instalação da canalização projectada, dentro do respeito pela regulamentação em vigor.

Este Guia Técnico constitui também um elemento que sumariza as boas técnicas e práticas recomendadas na instalação dos cabos fornecidos pela SOLIDAL, funcionando assim como um guia de uso dos mesmos.

Em todo o caso, os nossos serviços técnicos estão sempre à disposição, para qualquer esclarecimento técnico.

1.1.1 - Indicações Necessárias para a Escolha Correcta da Especificação

A determinação da especificação é um problema complexo, com um grande número de parâmetros em jogo, quer técnicos quer económicos. Na maior parte dos casos, não é possível determinar com precisão a totalidade desses elementos, tanto mais que a interpretação de alguns é, por vezes, delicada. As indicações aqui dadas destinam-se a permitir uma abordagem dos vários domínios. Nestes as informações requeridas são necessárias a fim de permitir a escolha mais apropriada no plano

técnico. A sua importância é avaliada em cada caso estudado. As informações reunidas ser-nos-ão comunicadas e a escolha mais apropriada será proposta.

Num outro capítulo* serão estudados os critérios económicos que têm também um lugar importante na escolha de uma canalização eléctrica.

Nota: As informações seguintes não são directamente aplicáveis aos cabos aéreos, cuja determinação precisa, requer o conhecimento de informações particulares.

1 - Relativamente à Rede de Alimentação

— Natureza da corrente e modo de distribuição:
  - corrente contínua,
  - corrente alternada:
    - modo de distribuição: Monofásica, bifásica, trifásica,
    - frequência;

— Tensão entre condutores no ponto da alimentação (tensão composta no caso de corrente alternada):
  - tensão nominal de serviço,
  - tensão máxima de serviço;

— Ponto neutro:
  - directamente ligado à terra,
  - ligado a terra por intermédio de uma impedância,
  - isolado (neste caso, é necessário precisar a probabilidade de ocorrência de defeitos fase-terra e as condições de eliminação dos mesmos);

— Sobretensões eventuais de origem atmosférica ou outras:
  - probabilidade de ocorrência,
  - valor,
  - duração.

2 - Relativamente à Instalação a Alimentar a às Condições de Funcionamento da Canalização

— Tensão entre condutores no ponto da utilização ou queda de tensão admissível;

— Factor de potência;

— Potência a transmitir (activa ou aparente) ou intensidade da corrente;

* Determinação da Secção Económica, Capítulo III

— Regime de carga:
  • regime permanente,
  • regime cíclico (diagrama de intensidade e duração correspondente),
  • condições de sobrecarga (intensidade, duração, probabilidade);
— Condições de curto-circuito na alma condutora e écran (intensidade, duração).

3 - Relativamente às Características do Cabo

— Tensão nominal (ou estipulada);
— Tipo de cabo (rígido, flexível, de campo radial ou não, natureza do isolamento, etc.);
— Comprimento total do cabo;
— Número de condutores;
— Natureza do metal dos condutores (alumínio, cobre);
— Condições especiais, caso existam:
  • caderno de encargos imposto,
  • referências particulares,
  • condições de recepção,
  • condições de entrega (comprimentos desejados, limitações no peso e dimensões das bobinas, ...).

4 - Relativamente às Condições de Instalação do Cabo

— Modo de colocação:
  • ao ar - no ar livre, exposto ou não às radiações solares,
    - em galeria, caleira de betão, tabuleiros ou entubado (dimensões, ventilação eventual, ...).
  • no solo - directamente,
    - em caleira de betão cheia de areia,
    - em tubos (comprimento, tipo, dimensões e disposição dos tubos, ...);
— Características térmicas do local:
  • temperatura do ar ambiente,
  • temperatura do solo à profundidade de colocação,
  • resistividade térmica do solo;

— Proximidade com outros cabos (ou fontes de calor):

- número de cabos, tipo, natureza e secção das almas condutoras, potência a transmitir,
- disposição e distância em relação ao cabo considerado (esquema se possível);

— Agressividade do local:

- natureza do solo,
- imersão em água,
- contacto com produtos químicos (natureza dos produtos, concentração, temperatura, tipo de contacto, imersão temporária ou prolongada, ...);

— Outras condições:

- colocação do cabo em instalação móvel (enrolador, grua, plataforma girante, ...),
- particularidades do traçado: colocação vertical, com desnivelamentos importantes, com desníveis aéro-subterrâneos, travessias de estradas, rios, ...
- esforços mecânicos na colocação ou em serviço,
- riscos de fenómenos de indução, provocado por outras canalizações nas proximidades,
- etc.

5 - Relativamente aos Acessórios da Instalação

— Extremidades:

- disposição
  - no interior,
  - no exterior,
  - em celas ou caixas (dimensões, natureza do material de enchimento),
- riscos de poluição (poeiras condutoras, atmosfera salina, ...);

— Junções e derivações:

- execução,
- protecções particulares (mecânica, química, ...);

— Condições de ligação à terra.

1.1.2 - Regulamentação-Normalização

A regulamentação tem um papel essencial na definição de todo o material eléctrico, particularmente das canalizações, tendo por fim assegurar:

— a **qualidade** e a **fiabilidade** do fornecimento, pela escolha apropriada do cabo, das condições de instalação e de exploração;

— **segurança na utilização,** pela prevenção do perigo de correntes eléctricas que circulam na vizinhança imediata de pessoas e bens.

As prescrições regulamentares, destinadas a satisfazer as exigências dos utilizadores, não devem, no entanto, constituir uma limitação à evolução técnica e um travão ao seu progresso; por isso, elas devem estar de preferência, ligadas à determinação dos objectivos visados e ao controlo dos resultados obtidos.

Por outro lado, a regulamentação, sendo fruto de uma síntese entre os pontos de vista do utilizador, do instalador e do construtor, em vários domínios e por vezes complexos, não será de modo algum satisfatória com uma apresentação simplificada. Por isso, é nosso propósito, fornecer indicações sucintas relativas a certas normas e regulamentos de aplicação corrente. Além disso, esta enumeração não poderá ser completa. Em cada caso, será necessário procurar, antes de mais, quais são os textos susceptíveis de influenciar a determinação da canalização projectada e qual a edição em vigor do texto original.

Esquematicamente, a acção da regulamentação exerce-se, por um lado, nas características dos cabos e, por outro, nas características da instalação.

1 - Características dos Cabos

Neste domínio, a regulamentação é constituída por normas, especificações técnicas, cadernos de encargos, recomendações, etc., que definem os tipos de cabos e fixam as suas dimensões e características principais, assim como os meios de as controlar, quer no plano nacional quer no internacional. Para cada tipo de condutor ou cabo referido neste catálogo, a referência do documento de normalização correspondente está indicada nas páginas que contêm as características detalhadas desse modelo.

Regulamentação Internacional

Em 1905, foi criada a «Comissão Electrotécnica Internacional» (CEI), cuja sede é em Genebra. Agrupa os representantes da indústria eléctrica de 41 países, entre os quais está o Instituto Português de Qualidade (IPQ). Ela constitui o ramo eléctrico da Organização Internacional de Normalização (ISO). Comités de estudo especializados são responsáveis por vários assuntos. No que diz respeito aos cabos, distinguem-se principalmente os comités:

— n.° 20, compreendendo o subcomité 20A (cabos MT e AT)
o subcomité 20B (cabos BT)
o subcomité 20C (problemas ligados ao fogo, a corrosividade e a toxicidade dos sub-produtos do fogo),

— n.° 18: cabos para instalação a bordo dos navios,

— n.° 46: cabos de telecomunicações,

— n.° 64: regras de instalação.

Os documentos que definem o caminho da evolução, são usados pelos técnicos de cada país e provêm dos comités de estudo. Servem de base ao estabelecimento das normas nacionais, nomeadamente no plano europeu, por intermédio do CENELEC (Comité Europeu de Normalização Electrotécnica). O objectivo fundamental do CENELEC, criado em 1973 e agrupando actualmente 17 países (1), é, com efeito, a harmonização das diferentes normas nacionais e dos processos de certificação, de maneira a reduzir os entraves criados nas trocas entre países europeus no domínio electrotécnico.

O processo de harmonização pode, consoante os casos, revestir-se de duas formas:

— um documento de harmonização serve de base à revisão, num dado prazo, das diversas normas nacionais existentes; certas diferenças menores podem então subsistir nestas últimas;

— uma norma europeia única é adaptada pelos vários países; as normas nacionais são idênticas neste caso.

Deste modo, inicialmente, os trabalhos do comité n.° 20 conduziram à aplicação da harmonização de um certo número de condutores e cabos de utilização corrente isolados em PVC ou borracha, de tensão nominal inferior ou igual a 450/750 V (ver capítulo V).

Todo o material fabricado em conformidade com uma norma harmonizada poderá ser considerado satisfatório, sem haver necessidade de o submeter às diversas normas nacionais correspondentes.

No caso dos cabos, isto traduz-se pela atribuição de uma marcação harmonizada **HAR**. A dispensa disso, assim como a confirmação posterior da qualidade de produção são objecto de procedimentos, confiados em cada país, a um organismo nacional de aprovação, sendo em Portugal a Direcção Geral de Energia (DGE).

(1): Alemanha, Áustria, Bélgica, Dinamarca, Espanha, Finlândia, França, Grécia, Holanda, Irlanda, Itália, Luxemburgo, Noruega, Portugal, Reino Unido, Suécia e Suiça.

2 - Características das Instalações

Neste domínio, a regulamentação é constituída por textos oficiais que definem as condições gerais as quais devem satisfazer as instalações. Para as canalizações eléctricas, as prescrições abrangem essencialmente:

— a escolha dos condutores e cabos, segundo a natureza da instalação, fazendo referência, nalguns casos, às normas e especificações atrás enunciadas;

— as condições de instalação, de manutenção, de exploração e de protecção das canalizações.

Em primeiro lugar, figuram as prescrições administrativas (decretos e deliberações técnicas) tomadas pelos poderes públicos que fixam as regras de aplicação dos textos legislativos, precisam os casos em que é obrigatório o seu cumprimento e prevêm eventualmente a sua anulação. Uma mesma instalação poderá estar sujeita, simultaneamente a vários textos. O controlo do seu cumprimento é assegurado pela administração respectiva. Os principais textos a considerar são indicados a seguir:

— Regulamento de Segurança de Subestações, Postos de Transformação e de Seccionamento;

— Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Eléctrica;

— Regulamento de Segurança de Instalações Colectivas de Edifícios e Entradas;

— Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão;

— Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão;

— Regulamento de Licenças para Instalações Eléctricas;

— Organização de Projectos de Licenciamento de Instalações Eléctricas.

Foi já aprovado, também, (Decreto-Lei n.° 117/88 de 12 de Abril) um documento baseado na directiva adoptada em 19 de Fevereiro de 1973 pelo Conselho das Comunidades Europeias, dita «Directiva da Baixa Tensão», cujo objectivo é a aproximação da legislação dos estados membros relativas ao material eléctrico destinado ao uso em certos limites de tensão.

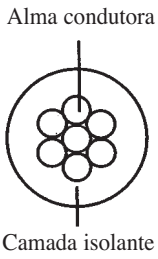
Trata de disposições visando garantir a segurança das pessoas, animais e bens, durante o emprego de materiais eléctricos destinados a tensões nominais, compreendidas entre 50 e 1000 V tensão alternada e entre 75 e 1500 V tensão contínua.

1.2 - Constituição dos Condutores e Cabos de Energia

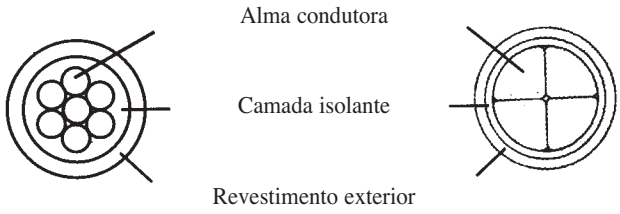
1.2.1 - Introdução

As páginas seguintes têm por objectivo apresentar o tipo e as características dos principais materiais que são utilizados nos condutores e cabos de energia.

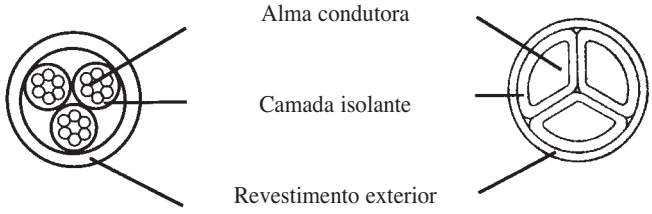
Chama-se condutor ao conjunto constituído por uma alma condutora e a sua camada isolante.



Um condutor munido de um revestimento exterior é designado por cabo unipolar (ou monopolar ou monocondutor).



Um cabo multipolar é formado por vários condutores electricamente distintos e mecanicamente solidários. A designação de cabo multicondutor é, em geral, usada para cabos com mais de três condutores.



As funções da alma condutora e da camada isolante são óbvias não se justificando uma referência particular. No entanto, é desejável dedicar alguma atenção aos restantes constituintes, designadamente os écrans condutores e o revestimento exterior.

Écrans Condutores

Geralmente não são utilizados em baixa tensão. Pela sua localização e função, distinguem-se os seguintes tipos:

— **Écran sobre a alma condutora**: ao criar uma superfície equipotencial uniforme à volta da alma, pretende-se evitar a concentração do campo eléctrico nas irregularidades da superfície da mesma, o que seria prejudicial a um bom funcionamento do isolante. Este écran pode ser realizado por enfitamento ou por extrusão;

— **Écran sobre a camada isolante** geralmente ligado à terra, permite:

- criar uma superfície equipotencial à volta do isolante, orientando o campo eléctrico,
- prevenir contra os efeitos indutores dos campos electrostáticos externos e internos,
- assegurar o escoamento das correntes capacitivas bem como, a corrente de defeito à terra (curto-circuito homopolar),
- assegurar a protecção das pessoas e bens em caso de perfuração do cabo, por um corpo condutor exterior, que é colocado desta maneira ao potencial da terra.

Para satisfazer estas últimas funções, emprega-se, geralmente, um écran metálico com a forma de uma bainha contínua, barras ou fios metálicos ou várias fitas enroladas em hélice, com interposição eventual, entre o écran e o isolante, de uma camada condutora não metálica enfitada ou extrudida.

Em certos tipos de cabos (cabos flexíveis para aplicação em minas por exemplo), a função essencial do écran é garantir a segurança em caso de incidentes que ponham em causa a integridade do cabo. O écran, dito «de segurança», pode ser constituído da mesma maneira que o anterior, ou então, por uma camada ou enchimento em matéria sintética condutora, contendo os condutores de escoamento da corrente. O écran está permanentemente ligado a um potencial baixo e qualquer modificação do mesmo provoca o corte da alimentação do cabo.

Revestimento

O revestimento é constituído por um conjunto de camadas em materiais apropriados, destinados a conferir ao cabo uma forma determinada e a assegurar a sua protecção contra acções exteriores. As partes deste revestimento, que formam um tubo de matéria contínua, recebem o nome de bainhas.

Distinguem-se:

— os enchimentos ou bainha de enchimento que têm por objectivo preencher os espaços vazios entre condutores e dar ao conjunto uma geometria determinada, geralmente cilíndrica;

— bainha de estanquidade, que deve assegurar a protecção do isolante, contra humidade ou agentes corrosivos, podendo ser metálica ou sintética;

— revestimento exterior, assegura a protecção química e mecânica do cabo, geralmente é formado por uma bainha de material sintético.

1.2.2 - Alma Condutora

Caracteriza-se principalmente pela natureza do metal condutor, pela secção nominal e pela sua composição, que condicionam a flexibilidade e a resistência óhmica do condutor.

1- Natureza do Metal Condutor

A alma condutora pode ser em:

— cobre recozido, nu ou estanhado;

— alumínio, geralmente 3/4 duro;

— ligas de alumínio (resistência mecânica superior ao alumínio).

Quadro 7 - Características fisicas eléctricas e mecânicas

Características	Cobre Recozido	Alumínio 3/4 duro	Liga de Alumínio (Al, Mg e Si)
Grau de Pureza, %	> 99,9	> 99,5 (*)	—
Resistividade a 20ºC, ohm . mm^2/m	17,241 . 10^{-3}	28,264 . 10^{-3}	32,8 . 10^{-3}
Coeficiente de variação da resistência óhmica com a temperatura, a 20ºC, por ºC	3,93 . 10^{-3}	4,03 . 10^{-3}	3,6 . 10^{-3}
Densidade a 20ºC	8,89	2,70	2,70
Coeficiente de dilatação linear a 20ºC, por ºC	17 . 10^{-6}	23 . 10^{-6}	23 . 10^{-6}
Tensão de ruptura, MPa	230 a 250	120 a 150	295 a 350
Alongamento à ruptura, %	20 a 40	1 a 4	24
Temperatura de Fusão, ºC	1080	660	780

*Utilizamos para o fabrico dos nossos cabos, lingote de alumínio com grau de pureza ≥99,7.

O quadro 7 apresenta as principais características do cobre e do alumínio utilizados nos condutores e nos cabos. Devem estar dentro de certas tolerâncias em relação aos materiais tipo definidos por vários documentos nacionais e internacionais.

Poder-se-à observar, nestas características, que em igualdade de resistência eléctrica um condutor de alumínio tem uma secção 1,6 vezes superior à de um condutor em cobre, para uma massa sensivelmente igual a metade, o que explica independentemente, das vantagens económicas, o sucesso crescente do alumínio no seio dos utilizadores. No entanto, em casos particulares, o uso do cobre permanece o mais indicado, em virtude das suas características mecânicas (flexibilidade) ou do seu diâmetro inferior para a alma condutora.

2 - Composição e Forma da Alma Condutora

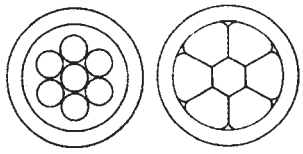
Em função da secção nominal e do grau de flexibilidade desejado a alma condutora poderá ser:

— **maciça,** isto é, constituída por um único fio ou por vários sectores cableados, sendo o emprego da primeira solução limitado, normalmente, às secções inferiores;

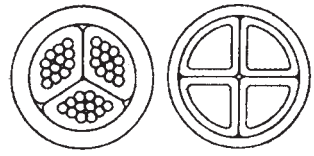
— **multifilar,** isto é, constituída por diversos fios cableados.

Numa alma condutora multifilar, os fios estão dispostos em hélice numa ou várias camadas distintas, sendo o sentido de cableamento alternado entre camadas sucessivas.

As secções das almas condutoras são, geralmente, circulares ou sectorias. Esta última disposição é usada sobretudo nos cabos com 3 e 4 condutores, permitindo uma melhor ocupação do espaço destinado aos mesmos e, consequentemente, uma diminuição das dimensões e peso do cabo. Ainda com este objectivo as almas condutoras poderão ser compactadas.



Cabos com alma circular



Cabos com alma sectorial

Por outro lado, as almas condutoras com secção circular são constituídas por camadas concêntricas. No entanto, no caso de secções grandes, a alma condutora poderá ser segmentada, isto é, composta por vários elementos cableados, com forma sectorial, podendo ser ligeiramente isolado entre eles. Esta constituição tem por objectivo, a redução do efeito pelicular e de proximidade e, por consequência, a resistência óhmica em corrente alternada, permitindo um maior aproveitamento da secção útil.

3 - Tipos de condutores e Classes de Resistência

A publicação CEI 60228 define uma gama de secções nominais para as almas condutoras e reparte-as em quatro classes, por ordem crescente de flexibilidade.

Este documento introduz modificações sensíveis, em relação ao documento anteriormente em vigor. Em particular, o número de classes de resistência é reduzido de 6 para 4, estando assegurada uma maior uniformidade dos valores das resistências lineares das diferentes almas condutoras com a mesma secção linear. Assim:

— a resistência das almas condutoras da classe 1 e 2, do mesmo material, é idêntica qualquer que seja a forma da alma e o número de condutores do cabo;

— a resistência das almas condutoras da classe 5 e 6 é idêntica qualquer que seja o número de condutores do cabo.

— Almas de condutores e cabos rígidos para instalações fixas:

  • classe 1: condutores maciços,

  • classe 2: condutores cableados.

— Almas de condutores e cabos flexíveis: classes 5 e 6.

Em função da classe de resistência considerada, a norma fixa para cada secção nominal admitida, o número mínimo de fios que a constituem (almas condutoras rígidas) ou o diâmetro máximo desses fios (almas condutoras flexíveis).

As secções nominais assim definidas não constituem valores geométricos exactos. Por isso, o valor da resistência da alma em corrente contínua a 20° C, é imposto, em função da secção nominal e da classe da resistência. Os quadros 9 a 11 contêm as secções nominais normalizadas para cada classe de resistência, as composições e resistências correspondentes.

Quadro 8 - Almas Maciças em Cobre e Alumínio para Cabos Monocondutores e Multicondutores (classe 1)

Secção nominal mm^2	Resistência Linear máxima da alma condutora a 20^0 C		
	Almas em cobre com secção circular		Almas circulares ou sectoriais em alumínio Ω/Km
	Fios não estanhados Ω/Km	Fios estanhados Ω/Km	
0,5	36,0	36,7	—
0,75	24,5	24,8	—
1	18,1	18,2	—
1,5	12,1	12,2	18,1
2,5	7,41	7,56	12,1
4	4,61	4,70	7,41
6	3,08	3,11	4,61
10	1,83	1,84	3,08
16	1,15	1,16	1,91
25	0,727	—	1,20
35	0,524	—	0,868
50	0,387	—	0,641
70	0,268	—	0,443
95	0,193	—	0,320
120	0,153	—	0,253
150	0,124	—	0,206
185	—	—	0,164
240	—	—	0,125
300	—	—	0,100

Quadro 9 - Almas Multifilares em Cobre e Alumínio para Cabos Monocondutores e Multicondutores (classe 2)

Secção nominal mm²	Número mínimo de fios da alma condutora						Resistência Linear máxima da alma condutora a 20°C		
	Alma circular não compactada		Alma circular compactada		Alma sectorial		Almas em cobre		Almas de alumínio
							Fios não estanhados	Fios estanhados	
	Cu	Al	Cu	Al	Cu	Al	Ω/Km	Ω/Km	Ω/Km
0,5	7	—	—	—	—	—	36,0	36,7	—
0,75	7	—	—	—	—	—	24,5	24,8	—
1	7	—	—	—	—	—	18,1	18,2	—
1,5	7	—	6	—	—	—	12,1	12,2	—
2,5	7	—	6	—	—	—	7,41	7,56	—
4	7	7	6	—	—	—	4,61	4,70	7,41
6	7	7	6	—	—	—	3,08	3,11	4,61
10	7	7	6	—	—	—	1,83	1,84	3,08
16	7	7	6	6	—	—	1,15	1,16	1,91
25	7	7	6	6	6	6	0,727	0,734	1,20
35	7	7	6	6	6	6	0,524	0,529	0,868
50	19	19	6	6	6	6	0,387	0,391	0,641
70	19	19	12	12	12	12	0,268	0,270	0,443
95	19	19	15	15	15	15	0,193	0,195	0,320
120	37	37	18	15	18	15	0,153	0,154	0,253
150	37	37	18	15	18	15	0,124	0,126	0,206
185	37	37	30	30	30	30	0,0991	0,100	0,164
240	61	61	34	30	34	30	0,0754	0,0762	0,125
300	61	61	34	30	34	30	0,0601	0,0607	0,100
400	61	61	53	53	53	53	0,0470	0,0475	0,0778
500	61	61	53	53	53	53	0,0366	0,0369	0,0605
630	91	91	53	53	53	53	0,0283	0,0286	0,0469
800	91	91	53	53	—	—	0,0221	0,0224	0,0367
1000	91	91	53	53	—	—	0,0176	0,0177	0,0291
1200	(1)		(1)		—		0,0151		0,0247
(1400) (2)	(1)		(1)		—		0,0129		0,0212
1600	(1)		(1)		—		0,0113		0,0186
(1800) (2)	(1)		(1)		—		0,0101		0,0165
2000	(1)		(1)		—		0,0090		0,0149

(1) Número mínimo de fios não específicado.

(2) As secções entre parênteses são pouco aconselháveis.

Quadro 10 - Almas Flexíveis em Cobre para Cabos Monocondutores e Multicondutores (classe 5)

Secção nominal mm^2	Diâmetro máximo dos fios da alma condutora mm	Resistência linear máxima da alma condutora a 20°C	
		Fios não estanhados Ω/Km	Fios estanhados Ω/Km
0,5	0,21	39,0	40,1
0,75	0,21	26,0	26,7
1	0,21	19,5	20,0
1,5	0,26	13,3	13,7
2,5	0,26	7,98	8,21
4	0,31	4,95	5,09
6	0,31	3,30	3,39
10	0,41	1,91	1,95
16	0,41	1,21	1,24
25	0,41	0,780	0,795
35	0,41	0,554	0,565
50	0,41	0,386	0,393
70	0,51	0,272	0,277
95	0,51	0,206	0,210
120	0,51	0,161	0,164
150	0,51	0,129	0,132
185	0,51	0,106	0,108
240	0,51	0,0801	0,0817
300	0,51	0,0641	0,0654
400	0,51	0,0486	0,0495
500	0,61	0,0384	0,0391
630	0,61	0,0287	0,0292

Quadro 11 - Almas Flexíveis em Cobre (classe 6)

Secção nominal mm^2	Diâmetro máximo dos fios da alma condutora mm	Resistência linear máxima da alma condutora a 20°C	
		Fios não estanhados Ω/Km	Fios estanhados Ω/Km
0,5	0,16	39,0	40,1
0,75	0,16	26,0	26,7
1	0,16	19,5	20,0
1,5	0,16	13,3	13,7
2,5	0,16	7,98	8,21
4	0,16	4,95	5,09
6	0,21	3,30	3,39
10	0,21	1,91	1,95
16	0,21	1,21	1,24
25	0,21	0,780	0,795
35	0,21	0,554	0,565
50	0,31	0,386	0,393
70	0,31	0,272	0,277
95	0,31	0,206	0,210
120	0,31	0,161	0,164
150	0,31	0,129	0,132
185	0,41	0,106	0,108
240	0,41	0,0801	0,0817
300	0,41	0,0641	0,0654

Diâmetros Mínimos e Máximos das Almas Condutoras

Os quadros 12 e 13 contêm os diâmetros mínimos e máximos, para as classes de resistência definidas pela norma CEI 60228 A.

Quadro 12 - Diâmetros Máximos das Almas em Cobre de Secção Circular

Secção nominal mm^2	Alma condutoras de cabos para instalações fixas		Almas flexíveis (classes 5 e 6) mm
	Maciças (classe 1) mm	Cableados (classe 2) mm	
0,5	0,9	1,1	1,1
0,75	1,0	1,2	1,3
1	1,2	1,4	1,5
1,5	1,5	1,7	1,8
2,5	1,9	2,2	2,6
4	2,4	2,7	3,2
6	2,9	3,3	3,9
10	3,7	4,2	5,1
16	4,6	5,3	6,3
25	5,7	6,6	7,8
35	6,7	7,9	9,2
50	7,8	9,1	11,0
70	9,4	11,0	13,1
95	11,0	12,9	15,1
120	12,4	14,5	17,0
150	13,8	16,2	19,0
185	—	18,0	21,0
240	—	20,6	24,0
300	—	23,1	27,0
400	—	26,1	31,0
500	—	29,2	35,0
630	—	33,2	39,0
800	—	37,6	—
1000	—	42,2	—

Quadro 13 - Diâmetros Mínimos e Máximos das Almas em Alumínio de Secção Circular

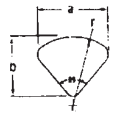
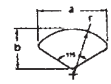
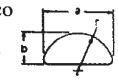
Secção nominal mm^2	Almas maciças (classe 1)		Almas multifilares compactadas (classe 2)	
	Diâmetro mínimo mm	Diâmetro máximo mm	Diâmetro mínimo mm	Diâmetro máximo mm
16	4,1	4,6	4,6	5,2
25	5,2	5,7	5,6	6,5
35	6,1	6,7	6,6	7,5
50	7,2	7,8	7,7	8,6
70	8,7	9,4	9,3	10,2
95	10,3	11,0	11,0	12,0
120	11,6	12,4	12,5	13,5
150	12,9	13,8	13,9	15,0
185	14,5	15,4	15,5	16,8
240	16,7	17,6	17,8	19,2
300	18,8	19,8	20,0	21,6
400	—	—	22,9	24,6
500	—	—	25,7	27,6
630	—	—	29,3	32,5

Dimensões Aproximadas das Almas Condutoras

Apresentam-se a seguir os quadros 14 a 16 contendo as dimensões aproximadas de diversos tipos de almas condutoras por nós fabricadas, ou comercializadas; no entanto em certas aplicações particulares, valores diferentes poderão ser considerados.

Estas indicações destinam-se a permitir o dimensionamento das caixas, uniões e terminais, das canalizações eléctricas.

Quadro 14 - Almas Condutoras em Alumínio de secção sectorial

Secção nominal mm²	Dimensões aproximadas dos sectores mais usuais											
	Multifilar de 90º			Maciço de 90º 			Maciço de 120º 			Maciço de 180º 		
	a mm	b mm	r mm	a mm	b mm	r mm	a mm	b mm	r mm	a mm	b mm	r mm
16	---	---	---	6,0	4,2	5,4	6,5	3,7	4,6	6,8	2,9	3,6
25	---	---	---	7,4	5,3	6,7	8,2	4,7	5,7	8,6	3,7	4,5
35	---	---	---	8,8	6,2	7,7	9,7	5,5	6,5	10,0	4,4	5,2
50	10,7	7,9	10,4	10,2	7,3	8,8	11,2	6,4	7,5	11,5	5,2	5,9
70	12,2	9,3	12,0	12,3	8,8	10,4	13,4	7,7	8,8	13,7	6,3	7,1
95	14,8	10,9	13,9	14,4	10,3	12,0	15,8	9,1	10,3	16,1	7,4	8,2
120	16,4	12,2	15,4	16,2	11,6	13,4	17,7	10,3	11,4	17,9	8,4	9,2
150	18,5	13,6	17,0	18,0	12,9	14,9	19,6	11,4	12,8	20,0	9,2	10,2
185	21,0	15,2	19,0	20,1	14,5	16,6	22,0	12,8	14,2	22,3	10,4	11,4
240	24,3	17,5	21,6	23,1	16,6	18,9	25,2	14,7	16,2	25,5	11,9	13,0
300	27,6	19,7	24,0	25,8	18,6	21,1	28,1	16,4	18,0	28,4	13,4	14,5

Quadro 15 - Almas Condutoras em Alumínio multisectoriais maciças

Secção nominal mm²	Diâmetro aproximado da alma condutora mm
280	18, 9
380	22, 1
480	24, 8
600	27, 8
740	30, 9
960	35, 6
1200	39, 8

Quadro 16 - Almas Condutoras de secção circular

Secção nominal mm²	Almas rígidas da classe 1 ou 2 (cobre ou alumínio)		Almas flexíveis da classe 5 (cobre)	
	Composição número de fios x diâmetro, mm	Diâmetro aproximado mm	Diâmetro máximo dos fios mm	Diâmetro aproximado da alma mm
0,5	---	---	0,21	0,9
0,75	---	---	0,21	1,2
1,0	---	---	0,21	1,3
1,5	1 x 1,38	1,4	0,26	1,6
1,5	7 x 0,50	1,5	---	---
2,5	1 x 1,78	1,8	0,26	2,0
2,5	7 x 0,67	2,0	---	---
4	1 x 2,25	2,2	0,31	2,6
4	7 x 0,85	2,5	---	---
6	7 x 1,04	3,1	0,31	3,0
10	7 x 1,35	4,0	0,41	3,9
16	7 x 1,80	4,7	0,41	5,5
25	7 x 2,14	6,0	0,41	6,8
35	7 x 2,57	7,1	0,41	8,1
50	7 x 2,93	8,3	0,41	9,6
50	19 x 1,80	8,4	0,41	9,6
70	19 x 2,14	10,1	0,51	11,6
95	19 x 2,57	11,9	0,51	13,3
95	37 x 1,80	11,9	0,51	13,3
120	37 x 2,03	13,3	0,51	15,0
150	37 x 2,25	14,9	0,51	17,0
185	37 x 2,57	16,9	0,51	18,6
240	61 x 2,25	19,3	0,51	21,0
300	61 x 2,57	21,3	0,51	25,0
400	61 x 2,95	24,1	0,51	28,0
500	61 x 3,20	27,0	0,61	32,8
630	91 x 2,98	30,7	0,61	36,5
800	91 x 3,37	37,0	---	---
1 000	127 x 3,20 ou alma segmentada	40,3	---	---
1 200	127 x 3,37 ou alma segmentada	43,3	---	---
1 300	127 x 3,61 ou alma segmentada	45,4	---	---
1 400	127 x 3,75 ou alma segmentada	47,5	---	---
1 600	127 x 4,00 ou alma segmentada	51,0	---	---

1.2.3 - Camada Isolante

No nosso fabrico actual de condutores e cabos de energia, usamos exclusivamente isolantes sintéticos, também chamados, isolantes secos, que poderão ser materiais termoplásticos, elastómeros ou polímeros reticuláveis.

Alguns isolantes têm as suas qualidades já sobejamente demonstradas nos cabos de uso corrente, enquanto que os outros são especialmente concebidos para aplicações particulares.

As páginas seguintes descrevem as características principais dos vários isolantes e destinam-se a guiar a escolha, no meio de um leque variado de ofertas, do material que melhor possa responder às exigências da instalação.

Generalidades Sobre os Isolantes Sintéticos

Os cabos de isolamento seco suplantaram, em muito, os cabos com isolamento a papel impregnado a óleo, sob pressão ou não, até tensões alternadas de 400 kV. Os isolantes sintéticos permitem, por um lado, atenuar os inconvenientes levantados pelo papel impregnado, principalmente do ponto de vista das condições de instalação e exploração. Por outro lado, apresentam características, por vezes, muito superiores e correspondendo a uma grande variedade, devido aos diferentes materiais usados.

Os diferentes isolantes sintéticos que utilizamos poderão ser, muito resumidamente, divididos em duas famílias:

— os materiais termoplásticos, nos quais a temperatura provoca, de uma maneira reversível, uma variação na plasticidade. É o caso do policloreto de vinilo (PVC) e do polietileno (PE);

— os elastómeros e polímeros reticuláveis apresentam um grande domínio de elasticidade, isto é, um comportamento elástico importante, associado a uma grande aptidão para a deformação. Necessitam, depois de extrudidos, de uma operação de vulcanização ou de reticulação com o fim de lhes estabelecer, de forma irreversível, ligações transversais entre as cadeias moleculares, em certas condições de temperatura e com agentes químicos apropriados. É o caso do polietileno reticulado (PEX), dos copolímeros de etilenopropileno, da borracha de silicone, e ainda de outros compostos usados em diferentes tipos de cabos. Além disso, em certas aplicações particulares, são usados materiais especiais, tais como, produtos fluorados, poliuretano (TPR), etc. Os materiais sintéticos utilizados são frequentemente designados por «misturas» (compostos), já que as resinas raramente são usadas no estado puro, excepto no caso do polietileno, e sendo quase sempre misturadas com matérias que permitem uma maior facilidade na aplicação das mesmas ou conferindo-lhes caracterís-

ticas particulares. Toda a espessura da camada isolante é aplicada por extrusão numa só operação. É então necessário, ter a certeza que nenhuma anomalia afecte as dimensões do isolamento e que nenhum defeito, alteração ou impureza, incompatível com uma duração de vida prolongada para o cabo, exista na massa do isolante. Isto só é possível com um grande cuidado na fabricação dos produtos usados, nas condições de aplicação, e nos controlos sistemáticos efectuados nos diversos estados de fabricação e antes da respectiva expedição.

Quanto mais elevada for a tensão de funcionamento do cabo, mais importantes serão as exigências relativas à qualidade dieléctrica da camada isolante. Para os cabos AT e MAT, esta qualidade está directamente ligada à natureza do material isolante e à sua aplicação, principalmente no que diz respeito aos seguintes pontos:

— eliminação das impurezas, fazendo uma filtragem do isolante aquando da sua fabricação;

— ausência de vacúolos e bolhas gasosas, particularmente nas superfícies de separação entre a camada isolante e os écrans condutores situados de ambos os lados. Para eliminar o risco de um defeito, extrudem-se simultaneamente estas três camadas, assegurando-se um arrefecimento do cabo perfeitamente controlado;

— conteúdo mínimo de água, a fim de evitar o desenvolvimento do fenómeno de arborescência de água («water treeing») que é característico da degradação, ao longo do tempo, das propriedades dieléctricas dos isolantes sintéticos, desde que sejam submetidos simultaneamente à presença da humidade e de um campo eléctrico. Ainda que a natureza exacta e as leis que regem este fenómeno sejam controversas, parece estabelecido que está em grande parte ligada à quantidade de água existente no isolante, por isso, é importante limitá-la e mantê-la no nível mais baixo possível.

O Polietileno (PE)

O polietileno que é utilizado no isolamento dos cabos AT é do tipo alta pressão, tendo uma baixa densidade (PEBD).

Um estudo aprofundado e comparativo entre os vários isolantes disponíveis, confirmado por uma experiência com mais de 20 anos, mostrou-nos que este material apresenta as características mais apropriadas para o fabrico de cabos AT. O polietileno associa as suas propriedades intrínsecas à vantagem essencial de ser fabricado e colocado ao serviço em condições que se prestam à obtenção do nível de qualidade exigido para o funcionamento, sob um gradiente eléctrico elevado. Na ausência de impurezas e de vacúolos na sua composição, e com baixo teor em água, o PEBD oferece como qualidades específicas:

— é obtido por polimerização a alta pressão, sem catalizador, do etileno gasoso com um elevado grau de pureza;

— é empregue puro, sem misturas com outros materiais;

— pode ser levado a temperaturas elevadas, a fim de ser filtrado, durante a extrusão em condições óptimas de viscosidade;

— é utilizado nos cabos em condições perfeitamente controláveis e reprodutíveis garantindo a ausência de vacúolos e um teor de água desprezável, limitado a algumas «partes por milhão» (ppm).

Mais nenhum isolante beneficia de um tal conjunto de circunstâncias favoráveis.

Segundo os casos, as limitações inerentes quer à temperatura do material, quer ao processo de aplicação não permitem atingir o nível obtido com o PEBD.

Além das vantagens atrás enunciadas, o PEBD oferece um conjunto de características de valor elevado:

— as suas qualidades dieléctricas são excepcionais: a tangente do ângulo de perdas e a permitividade dieléctrica relativa são muito baixas e independentes da temperatura. A resistência de isolamento e a rigidez dieléctrica são muito elevadas;

— as suas características mecânicas são igualmente favoráveis: o seu peso molecular elevado confere-lhe uma boa resistência aos choques, à fissuração e às baixas temperaturas (até - 40° C). Por outro lado, a sua densidade de 0,92 confere-lhe uma certa flexibilidade, o que permite a colocação dos cabos com raios de curvatura normais;

— do ponto de vista físico-químico, o polietileno apresenta uma resistência elevada à grande maioria dos agentes químicos usuais e aos agentes atmosféricos. Pelo contrário, apresenta uma fraca resistência à propagação da chama, o que poderá ser atenuado com uma escolha apropriada dos outros constituintes do cabo.

Apresenta ainda a vantagem de não libertar gases corrosivos durante a combustão.

A extrema pureza do polietileno, as suas propriedades dieléctricas notáveis e o equilíbrio das restantes características fazem dele o isolante a escolher para o fabrico dos cabos de alta e muito alta tensão.

O Polietileno Reticulado (PEX)

A reticulação permite criar uma nova ligação entre as longas cadeias de moléculas de polietileno após a extrusão e obter assim uma estrutura tridimensional. Conforme os casos, os processos a utilizar são:

— reticulação à base de peróxidos, que consiste em criar ligações directas sobre o efeito da decomposição de um peróxido ao longo de um tratamento térmico

efectuado sob pressão, quer através de vapor de água, quer em atmosfera de azoto (reticulação «a seco»);

— processo SIOPLAS, desenvolvido pela sociedade DOW CORNING, consiste em criar pontos de reticulação (SILOXANO), na presença de um catalizador, seguido de hidrólise.

Sem atingir o nível das do polietileno, as características eléctricas do polietileno reticulado são boas. A tangente do ângulo de perdas e a permitividade dieléctrica relativa são baixas e a rigidez dieléctrica é satisfatória.

As vantagens na reticulação do polietileno consistem, essencialmente, numa melhor estabilidade térmica e em melhores características mecânicas, permitindo admitir para este material temperaturas máximas da alma de 90° C em regime permanente, de 110 a 130° C (segundo as normas) em sobrecarga e 250° C em curto-circuito. No entanto, na prática, variadas razões impedem o emprego do polietileno reticulado, no máximo das suas possibilidades: comportamento dos outros elementos constituintes do cabo; perdas de energia elevadas; risco da secagem do solo; solicitações termomecânicas importantes exercidas sobre o cabo e sobre os materiais de ligação. É, sobretudo, na perspectiva de regimes de sobrecarga temporários ou, no caso de um meio envolvente desfavorável no plano térmico que o polietileno reticulado apresenta maior interesse.

Relativamente a outras características, é de notar que o comportamento ao frio do polietileno não é diminuído com a reticulação. O comportamento na presença de chamas pode ser melhorado por meio de uma composição especial, e como para o polietileno, a combustão do polietileno reticulado não liberta gases corrosivos.

O domínio de emprego do PEX estende-se a:

— Baixa tensão;

— Média tensão;

— Alta tensão.

Copolímeros de Etileno - Propílico

São os materiais designados usualmente por borracha etil-propílica (EPR e HEPR) e etilenopropileno-terpolímero (EPT) e cujas designações normalizadas são respectivamente EPM e EPDM.

Tratam-se de copolímeros de etileno e de propileno vulcanizáveis por via química. As suas propriedades são muito próximas e caracterizam-se, essencialmente, por:

— uma grande resistência ao oxigénio, ao ozono e às intempéries;

— uma flexibilidade elevada, mesmo a baixas temperaturas;

— uma resistência à migração do isolante, a quente, e ao envelhecimento térmico, permitindo temperaturas de funcionamento idênticas às do polietileno reticulado;

— características eléctricas favoráveis, particularmente, perdas dieléctricas e permitividade dieléctrica relativa, suficientemente baixas, assim como uma boa resistência ao efeito de coroa.

Pelo contrário, estes materiais oferecem um comportamento medíocre na presença de óleos. Além disso, apresentam pouca resistência à propagação da chama, o que poderá ser combatido por meio de uma composição especial. No entanto, a sua combustão não liberta produtos nocivos.

O seu emprego, como isolante, mostra-se particularmente interessante para os cabos flexíveis e rígidos de baixa e média tensão, nomeadamente, no caso de especificações realizadas, até ao presente, com uma camada isolante em borracha butílica, cujas características são inferiores.

Borracha de Silicone

Trata-se de um elastómero cujas cadeias são formadas por ligações simples de silício e oxigénio, facto que explica as suas características notáveis:

— bom comportamento às temperaturas externas: as suas características eléctricas e mecânicas médias conservam-se dentro de uma gama de temperaturas que se estendem desde - 80° C até + 250° C. No caso dos cabos, o domínio de utilização é, geralmente, limitado pelos outros elementos constituintes;

— electricamente, a borracha de silicone distingue-se por uma grande resistência ao efeito de coroa e um bom comportamento dieléctrico, em ambiente húmido. Do ponto de vista mecânico, possui uma boa resistência à compressão e uma flexibilidade importante, mesmo a muito baixas temperaturas;

— excelente resistência aos agentes exteriores: oxigénio, ozono, intempéries, água, produtos químicos diluídos, micro-organismos. Esta qualidade, aliada à precedente, concede-lhe uma resistência notável ao envelhecimento.

Exposta directamente à chama, a borracha de silicone arde, mas o dióxido de silício, que se forma com a combustão, mantém o isolamento do cabo, mesmo que esteja sujeito a vibrações. Por este facto, o cabo pode continuar a funcionar no meio de um incêndio. Além disso, a combustão liberta pouco fumo e não liberta gases tóxicos. Este comportamento torna a borracha de silicone especialmente apta ao isolamento dos cabos para circuitos de segurança e outros que devem resistir ao fogo.

Materiais Ignífugos Sem Halogénio

O polietileno e os poliolefinos, geralmente, podem ser misturados, especialmente com cargas, a fim de obtermos isolantes cujas propriedades de comportamento ao fogo são largamente melhoradas em relação àquelas evidenciadas pelo composto base e pelos isolantes tradicionais.

O emprego deste tipo de produto, actualmente limitado à baixa tensão, permite realizar cabos não propagadores do incêndio e, se entre a composição das suas bainhas existirem materiais ignífugos sem halogénio, não libertam, em caso de incêndio, nenhum gaz corrosivo e poucos são os gases nocivos libertados.

Policloreto de Vinilo (PVC)

A resina base é obtida por polimerização do cloreto de vinilo, sendo este resultante quer da acção do ácido clorídico sobre o acetileno, quer da acção directa do cloro sobre o etileno. Dura e quebradiça à temperatura normal, termicamente instável esta resina não poderá ser utilizada nas devidas condições para o isolamento e para as bainhas dos cabos.

As propriedades necessárias são obtidas pela incorporação de plastificantes, estabilizantes, cargas, etc. Por outro lado, os corantes permitem obter cores vivas variadas. Isso permite dispor de uma gama muito variada de misturas isolantes, base de PVC, que apresentam principalmente, as seguintes qualidades:

— boas características eléctricas: rigidez e resistência de isolamento. No entanto, as perdas dieléctricas são suficientemente importantes e podem tomar-se críticas em média tensão. O mesmo acontece com a permitividade dieléctrica relativa e a capacidade linear, que são muito elevadas;

— boas características mecânicas, nomeadamente, carga de ruptura, alongamento, resistência ao desgaste, à compressão e aos choques. O comportamento ao frio e a resistência ao calor são função das misturas utilizadas. Não é possível evitar, devido à própria natureza do produto, uma flexibilidade reduzida e uma certa fragilidade a frio. Por isso, o PVC é pouco usado nos cabos para instalações móveis. Pelo contrário, em instalações fixas, as misturas correntes podem ser utilizadas até -30° C a -40° C, e poderão ser atingidas temperaturas ainda mais baixas com a ajuda de composições especiais. Por outro lado, o PVC apresenta uma tendência migrante se o cabo for submetido a uma pressão a quente;

— boa resistência ao envelhecimento térmico. As misturas usuais são previstas para uma temperatura máxima em regime permanente de 70° C. Existem, igualmente, misturas que resistem a temperaturas de 85° C e mesmo 105° C;

— boa resistência à água e à maioria dos produtos químicos, correntemente encontrados;

— muito boa resistência à propagação da chama. Além disso uma acção retardadora mais importante poderá ser obtida com a ajuda de composições especiais ignífugas empregues nos cabos resistentes à propagação de incêndios. Apesar de tudo, a combustão do PVC é acompanhada pela libertação de gases nocivos.

As misturas à base de PVC são largamente utilizadas em baixa tensão.

O seu emprego está igualmente estendido à média tensão, no domínio das tensões de serviço inferiores a 10 kV.

1.2.4 - Revestimentos Metálicos

Écran Metálico

Constitui a parte metálica do écran sob a camada isolante e deve permitir o escoamento da corrente de curto-circuito monofásico da instalação.

Os materiais que se utilizam usualmente para este fim são o cobre, nu ou estanhado, o alumínio e o chumbo aliado a outros metais.

Os écrans, em cobre ou em alumínio apresentam-se sob variadas formas, nomeadamente:

— uma ou várias fitas, enroladas em hélice, de maneira a que nenhum espaço livre seja visível, exteriormente;

— uma fita em alumínio ou cobre, com uma fraca espessura, colocada ao comprimento e revestida numa das faces com um produto destinado a assegurar a sua aderência à bainha exterior. Segundo o tipo desta última e da natureza da fita, esta solução é, correntemente denominada por ALUNYL (fita em alumínio e bainha em PVC), ALUPE (fita de alumínio e bainha em polietileno), CUNYL (fita em cobre e bainha em PVC) ou CUPE (fita em cobre e bainha em polietileno);

— uma fita de cobre ou alumínio, enrolada, eventualmente associada a uma fita de aço também enrolada, colocada a todo o comprimento;

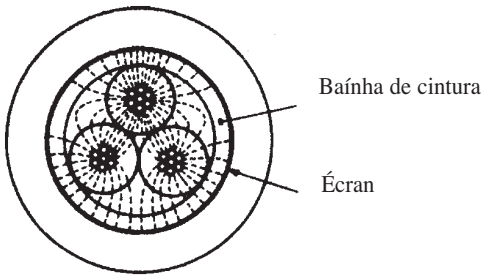
— uma malha, em fios de cobre ou alumínio, enrolada em hélice, eventualmente com os fios reunidos electricamente por uma fita da mesma natureza, disposta, igualmente, em hélice; uma trança em fios de cobre de pequeno diâmetro, no caso dos cabos flexíveis. Uma das camadas constituintes da trança poderá ser formada por fios têxteis (trança mista).

— uma fita de cobre ou alumínio corrogado. Esta forma é mais utilizada nos cabos de Alta Tensão, favorecendo a flexibilidade.

Devido aos problemas ambientais que o processamento e utilização do chumbo provoca, este material, usado até à pouco tempo, como écran metálico e bainha de estanquidade, tem vindo a ser progressivamente abandonado e substituído pelo alumínio ou cobre.

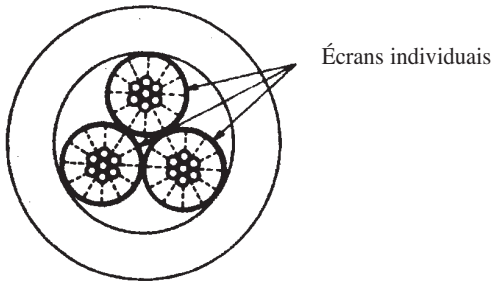
A componente de estanquidade é conseguida com a utilização de baínhas de polietileno de média densidade.

Segundo a disposição do écran e a repartição correspondente no isolante, do campo em regime trifásico, distinguem-se os cabos de campo radial ou não. Um cabo diz-se de campo não radial desde que o écran envolva o conjunto dos condutores. É o caso do cabo de cintura, no qual o écran é colocado sobre uma bainha isolante (cintura), que envolve o conjunto dos condutores. Com efeito, com esta disposição, se as almas condutoras forem alimentadas por um sistema polifásico, o campo eléctrico, num ponto qualquer do isolante, é constantemente variável, não somente em grandeza, mas também, em direcção. Apresenta, além disso, uma componente tangencial não desprezável e a rigidez dieléctrica do isolante é menor nessa direcção. Este fenómeno tem por efeito a limitação da tensão de utilização deste tipo de cabo, a valores que são função da natureza do isolante.



Distribuição, num dado instante, das linhas de força, num cabo de campo não radial.

Para suprimir a componente tangencial do campo e obter consequentemente um cabo de campo radial, envolve-se cada condutor isolado com um écran condutor. Um cabo unipolar munido com um écran é, evidentemente, de campo radial.



Distribuição, em qualquer instante, das linhas de força, num cabo de campo radial.

Armadura

Assegura a protecção mecânica do cabo, desde que este seja submetido a esforços importantes, transversais (compressão, choques) ou longitudinais (tracção), quer durante a colocação quer ao longo da exploração.

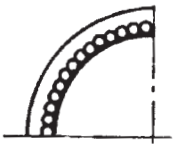
Pode, igualmente, ser utilizada com a função de écran metálico, mediante certas disposições no plano eléctrico.

Em regra geral, os cabos unipolares, alimentados em tensão alternada, não são armados. Com efeito, se num cabo tripolar, em regime equilibrado, as perdas magnéticas na armadura são reduzidas, elas são, particularmente, elevadas num cabo unipolar e podem provocar uma limitação notável na capacidade de transporte de canalização. Uma protecção mecânica exterior é uma solução preferível ao uso de um metal amagnético que é mais dispendioso.

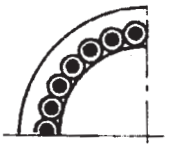
- A armadura mais corrente é constituída por duas fitas de aço macio, recozido, eventualmente zincado, enroladas em hélice (separadas), de maneira a que nenhum intervalo livre seja visível. Este tipo de armadura satisfaz em todas as situações em que não existam esforços longitudinais, nem condições particulares de flexibilidade ou corrosão.
- No caso de esforços de tracção, durante a colocação ou em exploração (por exemplo, colocação em poços ou em terreno instável, cabos submarinos), ou no caso de solicitações mecânicas anormais (esmagamento, choques, cortes...), é imperioso prever uma armadura formada por uma ou duas camadas de fios de aço. Estes, geralmente redondos e zincados, são enrolados em hélice. Quer as suas dimensões quer as suas características são escolhidas em função do cabo e da aplicação. Em certos casos, os elementos unitários da armadura podem ser parcialmente agrupados. São igualmente utilizados fios de cobre incorporados na armadura para melhorar a sua condutância (armadura mista).

Na disposição mais simples, os fios estão colocados encostados uns aos outros e revestidos por uma bainha de enchimento colectiva. Este tipo de armadura confere uma excelente protecção. No entanto, em ambiente húmido ou corrosivo, se a bainha for acidentalmente deteriorada, mesmo muito parcialmente, a corrosão pode atingir todos os fios, por capilaridade. Isto pode trazer consequências graves desde que se trate, por exemplo, de fios de aço suportando um cabo suspenso. Existem armaduras que permitem contornar este inconveniente. Para isso, os fios são envoltos individualmente com um material sintético (PVC ou polietileno) e, seguidamente, cobertos com uma bainha colectiva, no mesmo material, soldada às camadas individuais. Além disso, esta solução confere aos fios um melhor isolamento eléctrico, nomeadamente, desde que a armadura seja levada a um potencial anormal, durante um defeito na rede.

Armadura com fios de aço não revestidos



Armadura com fios de aço revestidos



Devido à sua rigidez, as armaduras descritas anteriormente não podem ser utilizadas desde que se exija ao cabo uma certa flexibilidade. Devemos, neste caso, utilizar uma armadura formada, quer por uma camada de fios cruzados (trança) quer por uma camada de fios, com um diâmetro maior, enrolado em hélice («guipage»). Estes tipos de armadura são frequentemente empregues, por exemplo nos cabos utilizados em minas ou nos cabos destinados a navios.

1.2.5 - Baínhas Interiores e Exteriores

Um papel muito importante das bainhas interiores é o de assegurar a estanquidade do cabo, isto é, opor-se a todo e qualquer contacto entre a água, ou agentes químicos exteriores ao cabo, e a camada isolante. Uma estanquidade satisfatória é obtida com uma baínha de material sintético que pode, além disso, desempenhar o papel de bainha de enchimento.

O emprego de baínhas sintéticas generalizou-se na protecção exterior dos cabos. As qualidades preponderantes que elas devem ter podem variar em função da aplicação pretendida, da natureza do material adequado, bem como a respectiva composição e deverão ser escolhidas de acordo com os seguintes items:

— resistência mecânica, na colocação ou em exploração (desgaste, descasque, choques, ...);

— resistência aos agentes atmosféricos;

— resistência aos agentes químicos;

— estanquidade;

— flexibilidade;

— resistência ao calor, ao frio, à propagação da chama;

— fraca opacidade dos fumos, em caso de combustão.

Os materiais mais utilizados são:

— policloreto de vinilo;

— polietileno;

— materiais ignífugos sem halogénio;

— borracha nitrilo-acrí1ica vulcanizada;

— polietileno clorosulfuroso, (Hypalon);

— policloropreno;

— polietileno cloretado;

— poliuretano.

Policloreto Vinilo (PVC)

A sua natureza e principais características foram já referidas na página 26. Algumas das suas qualidades tornam-no particularmente apto ao emprego em bainhas exteriores, devido à sua boa resistência:

— aos agentes atmosféricos;

— ao envelhecimento;

— aos produtos químicos e, em particular, aos óleos e sais minerais;

— à corrosão.

Por outro lado, as misturas de PVC podem ser coradas com cores vivas e variadas. Não propagam a chama, mas a sua combustão liberta gases nocivos. As suas características mecânicas, sobretudo a alta e a baixa temperatura, são função da sua composição. É possível, contudo, com adequada composição da mistura, fabricar bainhas em PVC, apresentando características particulares, por exemplo:

— comportamento reforçado contra os hidrocarbonetos;

— resistência a micro-organismos (PVC tropicalizado);

— comportamento na presença de uma chama que permita ao cabo satisfazer os ensaios de não propagação da mesma.

O emprego de bainhas exteriores em PVC está largamente generalizado para cabos de baixa, média e alta tensão.

Polietileno (PE)

A sua natureza e principais propriedades foram apresentadas na página 22. A combinação das suas características eléctricas e mecânicas tornam muito interessante o emprego do polietileno em baínhas de cor negra, nomeadamente para os cabos de alta tensão:

— resistência às intempéries;

— resistência ao dilaceramento e desgaste; módulo de Young elevado para alongamentos fracos;

— impermeabilidade superior à dos outros materiais sintéticos;

— propriedades eléctricas que asseguram um muito bom isolamento do écran em relação à terra;

— bom comportamento a baixas temperaturas;

— baixo coeficiente de atrito, o que constitui uma vantagem preciosa, em condições de difícil instalação, por exemplo, para cabos colocados no interior de tubos. No entanto, o polietileno não se opõe à propagação da chama, mas perante um incêndio, tem a vantagem de não libertar gases corrosivos.

Materiais Ignífugos Sem Halogénios

Trata-se de misturas à base de poliolefinos que não contêm nenhum halogénio (flúor, bromo, cloro) ou derivado do azoto. Podem apresentar-se sob a forma termoplástica ou vulcanizada. A sua principal qualidade reside no facto de que, em caso de incêndio libertam poucos fumos e nenhum gaz corrosivo. Além disso, os gases libertados apresentam uma toxidade muito reduzida.

As características mecânicas atingem, actualmente, valores que não são inferiores aos outros materiais usados para bainhas.

As características destes produtos fazem com que sejam particularmente aptos para utilização em baínhas de cabos destinados a locais fechados (túneis), os quais geralmente, pertencem à categoria dos cabos não propagadores do incêndio.

Borracha Nitrilo-Acrílica Vulcanizada

Trata-se de um copolímetro de butadieno e de nitrilo-acrílico. Pode ser melhorada por uma mistura com PVC, sendo o conjunto vulcanizado.

Não deverá ser confundida com certos produtos não vulcanizados, chamados PVC acrílicos.

Esta mistura é um material escolhido para a bainha de protecção, particularmente para cabos flexíveis, devido à sua flexibilidade. O aspecto exterior liso das bainhas de borracha nitrilo-acrílica facilita, além disso, o enrolar e desenrolar do cabo. Este material apresenta ainda uma boa resistência:

— ao dilaceramento, ao esmagamento, aos choques, ao desgaste;

— ao envelhecimento e às intempéries;

— aos produtos químicos e, particularmente, aos óleos e sais minerais;

— à propagação da chama;

— ao calor e às baixas temperaturas.

As suas características fazem com que este produto seja largamente utilizado nas bainhas de cabos flexíveis: cabos de aparelhos de soldadura, cabos para gruas, cabos para alimentação de receptores móveis, etc.

Polietileno Clorosulfuroso (HYPALON)

A presença, neste produto, de grupos clorosulfurosos na cadeia de polietileno permite a sua vulcanização.

Possui propriedades de envelhecimento, de resistência ao ozono e às intempéries comparáveis às da borracha nitrilo-acrílica. Contudo, a gama de temperaturas de utilização é mais vasta, nomeadamente, nas altas temperaturas. Por outro lado, as suas características isolantes podem em certos casos, permitir o seu uso como camada isolante e bainha de protecção.

Utiliza-se, principalmente, nas bainhas dos cabos flexíveis que deverão funcionar em ambientes cuja temperatura é elevada e onde a bainha deve possuir qualidades mecânicas: cabos flexíveis enrolados em tambores para alimentação de receptores móveis, cabos flexíveis para minas, na siderurgia, cabos anti-gasóleo, etc.

Policloropreno (Neopreno)

É um polímero de clorobutadieno. As suas boas características mecânicas fazem com que seja utilizado juntamente com o HYPALON, nas bainhas dos cabos flexíveis para tambores ou engenhos móveis, assim como para os cabos flexíveis, usados em minas e na siderugia.

Polietileno Cloretado

O Polietileno Cloretado possui características mecânicas, propriedades de envelhecimento e de resistência ao ozono, comparáveis às dos produtos utilizados nas bainhas dos cabos flexíveis.

Além disso, o seu bom comportamento a baixas temperaturas permite a sua utilização nas bainhas dos cabos flexíveis utilizados nas instalações móveis que funcionam nessas temperaturas ambientes. O limite de utilização no frio é inferior em 15 a 20 °C ao admitido para o Policloropreno.

Poliuretano

É um material não vulcanizado mas possui características mecânicas elevadas e uma boa resistência à abrasão. Tem também um bom comportamento a baixas temperaturas.

O facto deste material não necessitar de operação de vulcanização, permite utilizá-lo como bainha de protecção dos cabos flexíveis em cuja constituição estão elementos frágeis, como por exemplo as fibras ópticas.

1.2.6 - Bloqueio Longitudinal à Penetração da Humidade

Sempre que houver necessidade de proteger os cabos à penetração da humidade no seu interior é necessário aplicar materiais higroscópicos nos componentes do cabo mais susceptíveis, a saber:

a) Alma condutora multifilar

Este componente levará em cada camada um conjunto de fios higroscópicos e/ou será aplicado pó com esta característica.

b) Écran metálico

Este componente levará fitas e/ou fios higroscópicos sob e/ou sobre o mesmo.

1.3 - Características Particulares dos Condutores e Cabos Eléctricos

1.3.1 - Características dos Principais Materiais Utilizados nas Camadas Isolantes e nas Baínhas

1 - Temperaturas Limite de Emprego dos Principais Materiais Utilizados nas Camadas Isolantes e nas Baínhas

Importante: Os valores que figuram nos quadros seguintes constituem indicações de ordem geral, permitindo uma primeira comparação das possibilidades de funcionamento, nas temperaturas extremas dos vários materiais correntemente utilizados.

Não correspondem necessariamente à gama de temperaturas admissíveis para cada mistura, devido às numerosas formulações possíveis para um mesmo material, assim como para múltiplas condições de exploração encontradas.

Para certos materiais, poderá ser necessário, sob pedido, a formulação de mistura que favoreçam possibilidades de utilização fora dos limites indicados, particularmente a baixas temperaturas. Estes melhoramentos podem, no entanto, em certos casos fazer-se acompanhar por limitações relativas às características da mistura.

Por outro lado, é preciso ter em atenção que é a especificação, no seu conjunto, que determina o comportamento de um dado cabo em função da temperatura. Assim a presença de uma armadura em fitas de aço pode limitar o comportamento a baixa temperaturas.

Os nossos serviços técnicos colocam-se à vossa disposição para os aconselhar e estudar a especificação que melhor se adapte a cada utilização particular.

Quadro 17 - Temperaturas Limite de Emprego dos Principais Materiais Utilizados nas Camadas Isolantes e nas Baínhas

Natureza do material	Papel impregnado	P.V.C.		Ignífugos sem halogéneo			Polietileno			PEX		
Domínio de utilização	Isolante BT e MT	Isolante BT e MT Tensão de serviço U ≤ 10kV	Bainha	Isolante reticulado BT	Bainha		Isolante		Bainha	Isolante		
					Termo-plástica	Reticu-lada	MT	AT		BT	MT	AT
Temperatura máxima, °C		Segundo composição (e tensão)		Segundo composição								
- em regime permanente	65	70 a 85	60 a 85	70 a 90	70 a 90	90	70	70	70	90	90	90
- no fim de um curto-circuito	150	160		250			150	150		250 (3)	250	210-250
Temperatura mínima, °C		Segundo composição										
-armazenamento ou funcionamento em local fixo, sem choques, vibrações ou curvas acentuadas	-30	- 40 a - 60		- 40	- 40	- 40	- 60	- 60	- 60	- 60		- 60
-desenrolamento												
-com precauções normais	+ 5	- 5 a -10		- 10	- 10	- 10	- 5	+ 5	- 5	- 10		+ 5
-com precauções especiais (1)	- 5	- 10 a - 25		- 20	- 20	- 20	- 10	- 5 (2)	- 10	- 20		- 5 (2)

(1) As precauções especiais a adoptar consistem em:
- aquecer o cabo, antes de desenrolar, durante 12 a 14 horas em local com temperaturas entre + 10 a + 20 °C;
- assegurar um esforço de tracção regular e moderado durante o desenrolamento;
- trabalhar com raios de curvatura superiores em 25 a 50% aos valores indicados nos quadros das páginas 42 e 43.

(2) Os cabos MT e AT nunca devem ser desenrolados com temperaturas inferiores a - 5° C. Desde que a temperatura esteja compreendida entre + 5° C e - 5° C, é necessário efectuar um aquecimento prévio das bobinas que contêm os cabos, antes de desenrolar e durante pelo menos 24 horas, em local mantido a temperaturas vizinhas de + 20° C.

(3) Valor reduzido para 160° C no caso de existência de soldaduras a estanho no seio das caixas de ligação.

Quadro 17 - Temperaturas Limite de Emprego dos Principais Materiais Utilizados nas Camadas Isolantes e nas Baínhas (Continuação)

Natureza do material	Copolímeros de etileno-propílico EPM,EPDM,EPR e HEPR		Borracha de silicone	Polietileno clorosulfuroso (hypalon)	Borracha nitrilo-acrílica vulcanizada	Policloropreno	Polietileno cloretado e poliuretano
Domínio de utilização	Isolante		Isolante BT	Bainha	Bainha	Bainha	Bainha
	BT	MT e AT					
Temperatura máxima, °C							
- em regime permanente	90	90	180	85	85	80	85
- no fim de um curto-circuito	250 (2)	250	350 (2)				
Temperatura mínima, °C	Convém notar que a flexibilidade dos cabos decresce com a temperatura e depende em larga medida das condições de funcionamento e da constituição geral do cabo						
-armazenamento ou funcionamento em local fixo, sem choques, vibrações ou curvas acentuadas	- 60		- 80	- 60	- 60	- 60	- 60
-cabo móvel	- 30 (1)		- 50	- 30 (1)	- 30	- 30 (1)	- 40
-desenrolamento - enrolamento - funcionamento em enrolador.....	- 20		- 20	- 20	- 20	- 20	- 20

(1) É possível aceitar uma temperatura de - 40° C mediante certas precauções: ausência de choques, aumento dos raios de curvatura, desenrolamento efectuado com movimentos lentos e regulares, etc.

(2) Valor reduzido para 160° C no caso de existência de soldaduras a estanho no seio das caixas ligação.

Quadro 18 - Características Físicas Aproximadas dos Principais Materiais Utilizados nas Camadas Isolantes

Importante: Alguns dos valores que figuram neste quadro, particularmente no que diz respeito às características mecânicas, são dados a título informativo. Segundo a composição escolhida, nomeadamente, com a finalidade de responder a certos documentos particulares de normalização, um mesmo material pode apresentar, com efeito, características sensivelmente diferentes.

Natureza do material	Papel impregnado	Policloreto de vinilo PVC				Polietileno PE		Ignífugos sem halogénio	Polietileno reticulado PEX			Copolímeros de etileno propílico EPM, EPDM, EPR e HEPR	Borracha de silicone
Domínio da aplicação	MT	BT			MT	MT	AT	BT	BT		MT e AT	BT, MT e AT	BT
Temperatura máxima admissível na alma condutora, °C		70	70	70	70	70	70	70	90	90	90	90	
Densidade a 20°C	12,2 - 1,5	1,3 - 1,5				0,92			0,92 - 1,20			1,10 - 1,35	1,10 - 1,30
Resistividade térmica, K.m/w	6	6				3,5			3,5			3,5	3,5
Características Mecânicas		(1) rígido	(1) flexível	(2)	(3) (4)	(4)	(5)		(2)	(4)	(6)	(2) (3) (4)	(7) (2)
Carga de ruptura mínima MPa (1 MPa = 10 daN/cm^2)		12,5	10,0	12,5	12,5	10,0	12,5	5,0	12,5	12,5	12,5	4,2	5,0
Alongamento mínimo à ruptura, %		125	150	125	125	300	450	120	200	200	200	200	150
Envelhecimento acelerado em estufa de ar quente, duração/temperatura		168h/80°C		120h/ 100°C	168h/ 100°C	240h/ 100°C	168h/ 100°C	168h/ 100°C	168h/ 135°C	168h/ 135°C	240h/ 135°C	168h/ 135°C	240h/ 200°C Cr ≥ 4 MPa
Variação máxima das características		±20%		±20%	±25%	±30%	±25%	±25%	±25%	±25%	±25%	±30%	A≥120%
Características Dieléctricas a 20°C, 50 Hz													
Permitividade relativa, (ε)	3,6	4 - 8				2,3		5 - 8	2,3 - 2,8			2,4 - 3,2	3 - 3,5
Tangente do ângulo de perdas máximas em média tensão (tgδ)	80.10^{-4}	$1000\text{-}10^{-4}$				10.10^{-4}		1000.10^{-4}	10.10^{-4} - 40.10^{-4}			200.10^{-4}	
Constante de isolamento (Ki) M Ω.Km	5000	50 - 5000				50000		50 - 3000	5000 a 50000			5000	5000

(1) Condutores e cabos, isolados a PVC, de tensão nominal ≤ 450/750V.
(2) Cabos isolados com dieléctricos maciços e extrudidos, de tensão nominal ≤ 0,6/1kV.
(3) Cabos isolados com dieléctricos maciços e extrudidos, para tensões estipuladas de 1,8/3 (3,6) kV a 18/30 (36) kV.
(4) Cabos para transmissão de energia, isolados com dieléctricos maciços e extrudidos, para tensões de 1 até 30 kV, (CEI 502).
(5) Cabos monopolares, com isolamento em PEX, extrudido, de tensão de serviço 225 kV.
(6) Cabos para redes de distribuição, isolados a PEX, para tensões 12/20 kV.
(7) Condutores e cabos, isolados com borracha, de tensão nominal ≤ 450/750V.

Quadro 19 - Características Mecânicas dos Principais Materiais Utilizados nas Bainhas

Importante: Os valores indicados neste quadro são dados a título informativo. Segundo a composição escolhida, nomeadamente, com a finalidade de responder a certos documentos particulares de normalização um mesmo material pode apresentar, com efeito, características sensivelmente diferentes.

Natureza do material	Policloreto de vinilo PVC					Ignífugos sem halogénio		Polietileno (PE)	Policloropreno, Borracha nitrilo-acrílica vulcanizada		Polietileno clorosulfuroso (hypalon)
	(1)	(1)	(2)	(3)	(4)			(3)	(2)	(3)	(2)
Temperatura máxima admissível na alma condutora, ˚C	80 rígido	80 flexível	80	90		70	90	80	90	90	90
Carga de ruptura mínima MPa (MPa = 10 da N/cm^2)	12,5	10,0	10,0	12,5	15,0	7	9	10,0	12,5	10,0	12,5
Alongamento mínimo à ruptura, %	125	150	150	150	150	125	120	300	300	300	300
Envelhecimento acelerado em estufa de ar quente	168h/80˚C		120h/ 100˚C	168h/ 100˚C	240h/ 100˚C	168h/ 100˚C	240h/ 100˚C	240h/100˚C	240h/100˚C	168h/ 100˚C	240h/120˚C
Variação máxima da carga de ruptura	±20%		±25%	±25%	±25%	±30%	±30%		±30%	±30%	±30%
Variação máxima do alongamento	±20%		±25%	±25%	±25%	±30%	±30%	A≥300%	±30%	±40%	±40%

(1) Condutores e cabos, isolados a PVC, de tensão nominal ≤ 450/750V, (NP - 2356).
(2) Cabos, isolados com dieléctricos maciços e extrudidos, de tensão nominal ≤ 0,6/1kV.
(3) Cabos para transmissão de energia, isolados com dieléctricos maciços e extrudidos, para tensões de 1 até 30kV, (CEI 502).
(4) Cabos rígidos, para aplicação em minas, de tensão 1000 V e 5500 V.

Quadro 20 - Escolha de Baínha Exterior em Caso de Contacto com Produtos Químicos

Importante: Devido às várias composições possíveis para um mesmo material, este quadro fornece indicações de ordem geral, destinadas a permitir uma comparação dos comportamentos próprios de cada tipo de revestimento. Em cada caso particular, o revestimento a adoptar é definido em função das condições exactas encontradas (natureza e concentração dos produtos, temperatura duração, frequência), assim como das características eventualmente necessárias noutros campos (mecânico, térmico, eléctrico).

Legenda: + revestimento com um bom comportamento nas condições consideradas.
- revestimento desaconselhável.

Produto em contacto com o cabo		Bainhas termoplásticas				Bainhas de elastómeros						Bainha de chumbo
Natureza	Condições do contacto	PVC normal	PVC resistente aos hidrocarbonetos	PE	Ignífugos sem halogénio	Borracha niytilo-acrílica vulcanizada	Polietileno clorosulfuroso (hypalon)	Policloropreno	Polietileno cloretado	Poliuretano	Ignífugos sem halogénio	
Ozono	Concentração ≥ 50 PPM (0,005%)	+	+	+	+	+	+	-	+	+	+	+ (7) (9)
Hidrocarbonetos parafínicos e nafténicos	Gasoso ou contacto acidental	+	+	+ (1)	-	+	+	+	+	+	+	+ (7) (9)
	Líquido e contacto prolongado	-	+	-	-	+						+ (8)
Hidrocarbonetos aromáticos e clorados (3)	Vapores pouco concentrados	-	+ (2)	+ (1)	-	+ (2)	-	-	-	-	-	+ (7) (8) (9)
	Vapores concentrados ou líquidos	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+ (7) (8)
Acetonas	Vapores pouco concentrados ou contacto acidental	-	-	+ (1)	-	-	-	-	-	-	-	+ (9)
	Líquido e contacto prolongado	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+ (9)
Esteres	Contacto acidental	-	-	+ (1)	-	-	-	-	-	-	-	+ (9)
	Contacto prolongado (4)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	+ (9)

Quadro 20 - Escolha de Baínha Exterior em Caso de Contacto com Produtos Químicos (continuação)

Éteres	Gasoso ou contacto acidental	+	+	-	-	+	+	+	+			+ (7)
	Líquido ou contacto prolongado	-	+	-	-	+						+ (7)
Alcoóis e glicois	Líquido e contacto prolongado	-	+	-	-	+	+		+	+	+	+ (7)
Ácidos orgânicos	Solução normal	+ (5)	+ (5)	+ (1)	-	+	+	+	+	-	+	+ (5) (6)
	Vapores concentrados ou líquido concentrado	-	-	+ (1)	-	-	-	-	-	-	-	+ (6)
Ácido clorídrico	Soluções diluídas, vapores pouco concentrados	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+ (6)
	Soluções e vapores concentrados	+	+	+	-	-	+ (1)	-		-	-	+ (6)
Ácido nítrico	Soluções diluídas, vapores pouco concentrados	+	+	+	+	+ (5)	+	+ (5)	+	-	+	+ (6)
	Soluções e vapores concentrados	-	-	-	-	-	+ (5)	-		-	-	-
Ácido sulfúrico	Soluções diluídas	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+
	Soluções concentradas	-	-	-	-	-	- (1) (5)	-		-	-	+
Soda ou potássio cáustico	Soluções diluídas	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+ (6)
	Soluções concentradas	-	-	+	-		+	+	+	-	-	+ (6)
Amoníaco	Solução normal	+	+	+	+	+	+	+	+	-	+	+ (6)

(1) Para uma temperatura de utilização ≤ 60ºC,
(2) É necessária a colocação de uma fita sintética entre o isolante e a bainha, para impedir o contacto com vapores de hidrocarbonetos com o isolante,
(3) Evitar curvaturas fortes, se tal for impossível, proteger os cabos, nas zonas com curvas acentuadas, com uma fita adessiva de "Terphane" (Poliester),
(4) Para maior segurança deve ser previsto um isolamento dos condutores em PEX,
(5) Aceitável em caso de contactos acidentais de duração limitada,
(6) É obrigatória a presença de uma bainha sintética em PVC ou PE (Temperatura ≤ 60º C) sobre o chumbo,
(7) (8) (9) Se a presença de uma bainha sintética sobre a bainha de chumbo for necessária (protecção mecânica durante a colocação), então deverá estar prevista:
(7) Em PVC,
(8) Em PVC resistente aos hidrocarbonatos,
(9) Em Polietíleno (Temperatura ≤ 60º C).

1.3.2 - Raios de Curvatura

Os quadros 21 a 23 indicam os raios de curvatura mínimos que poderão ser aplicados aos condutores e cabos em permanência, após a colocação, nas condições normais de temperatura ambiente. Estes valores são superiores àqueles considerados nos ensaios de curvatura que figuram nos documentos de normalização, devido à margem de segurança que é necessário prever para os cabos em serviço.

Durante o desenrolar do cabo, é necessário trabalhar com valores superiores calculados para cada caso. Precaver-nos-emos, assim, contra os riscos de inutilização e permitiremos um desenrolar satisfatório, tendo em conta os esforços mecânicos aos quais são submetidos os cabos. Estes elementos dependem das características do percurso (traçado, desnivelamentos, passagens em tubos,...), do comprimento a desenrolar, do pessoal e material utilizados, da temperatura ambiente, etc. Em particular, desde que o desenrolar seja efectuado a baixas temperaturas, é conveniente majorar os raios de curvatura indicados em cerca de 25% a 50%.

É de salientar que os valores, referentes a cabos rígidos, apresentados nos dois quadros que se seguem poderão ser reduzidos até 50%, por exemplo no caso das ligações dos extremos do cabo a um armário de distribuição, a um posto de transformação, etc., desde que o trabalho de colocação seja executado por pessoal especializado. Nestes casos será necessário proceder a um pré-aquecimento do cabo até 30° C, seguido da sua colocação com a ajuda de um dispositivo capaz de o guiar até à sua posição definitiva, por exemplo com uma calha lisa apropriada às dimensões do cabo.

Os raios de curvatura que figuram nos quadros seguintes são considerados para a geratriz do cabo, interior à curvatura.

Quadro 21 - Raio de Curvatura dos Cabos Rígidos BT

Tipo de cabo	1 Condutor	2 a 5 Condutores
Cabos armados	18 d	12 d
Cabos não armados	15 d	12 d
Cabos com bainha de chumbo	(2)	20 d
Cabos com armadura em fios de aço	(2)	20 d
Cabos em torçada	(2)	12 d (1)

(1) Diâmetro aparente do feixe
(2) Cabos fora da gama normal de fabrico
(d = diâmetro exterior do cabo)

Quadro 22 - Raios mínimos de Curvatura dos Cabos Rígidos MT e AT

Tipo de cabo	1 Condutor	3 Condutores
MÉDIA TENSÃO		
isolante seco		
PEBD ou PEX	26 d	16 d
isolado a papel impregnado	30 d	20 d
ALTA TENSÃO		
isolante seco		—
PEBD ou PEX	20 d	

(d = diâmetro exterior do cabo)

Raio de Curvatura dos Cabos Flexíveis

Em função da diversidade dos cabos flexíveis, assim como dos numerosos tipos de instalação nos quais podem ser utilizados, os raios de curvatura mínimos indicados constituem apenas regras gerais. Poder-se-ão considerar valores diferentes para certas especificações (por exemplo: cabos compostos por condutores de secções muito diferentes) ou para condições de instalação particulares (por exemplo: cabo móvel sujeito a um serviço intensivo ou a movimentos bruscos, funcionamento a muito baixas temperaturas).

Quadro 23 - Raios mínimos de curvatura dos cabos flexíveis

Tipo de cabo	Cabos para instalações fixas ou semi-fixas	Cabos a funcionar em enroladores, tambores, «chariot», etc.
CABO DE BAIXA TENSÃO ISOLADO A PVC:		
- não armado	4 d	8 d
- armado	6 d	12 d
- plano	4 d'	8 d'
CABO DE BAIXA TENSÃO ISOLADO A ELASTÓMEROS:		
- não armado	1 condutor ..... 4 d Vários condutores ..... 3 d	6 d
- armado	5 d	10 d
- plano	3 d'	6 d'
CABO DE MÉDIA TENSÃO:		
- cabo de cintura		10 d
- cabo de campo radial		9 d
CABOS PARA APARELHOS DE SOLDADURA:		
- flexíveis	3 d	
- extra-flexíveis	2 d	

(d = diâmetro exterior do cabo)
(d' = menor dimensão dos cabos planos)

1.3.3 - Esforços de Tracção Máximos Admissíveis nos Cabos.

O quadro 24 indica os esforços de tracção máximos admissíveis nos cabos durante e após a sua colocação.

Quadro 24 - Esforços de Tracção Máximos Admissíveis nos Cabos

Tipo de cabo	**Modo de aplicação do esforço**	**Esforço de tracção admissível por mm^2 do metal condutor daN**
Esforço Admissível Durante a Colocação dos Cabos Rígidos		
Cabos BT de secção ≤ 4 mm^2	Sobre o conjunto dos condutores do cabo, agrupados sob o mesmo aparelho de tracção. O esforço deverá ser aplicado aos vários revestimentos e bainhas.	1 a 10 condutores: 7 11 a 20 condutores: 6 > 20 condutores: 5
Cabos BT e MT isolados a PEBD ou PEX	Sobre a alma condutora, por meio de um aparelho de tracção apropriado, munido de um dinamómetro. É desaconselhável o uso exclusivo de mangas de tracção.	- cabos de alumínio: 3 - cabos de cobre: 5
Cabos MT e AT isolados a papel impregnado		3
Cabos AT isolados a PEBD ou PEX		- cabos de alumínio: 6 - cabos de cobre: 8
Esforço Admissível Durante o Funcionamento, em Engenhos Móveis, para os Cabos Especialmente Concebidos para essa Aplicação		
Cabos fléxiveis BT e MT	O esforço de tracção deve ser aplicado de maneira uniforme ao conjunto dos elementos do cabo, em particular as almas condutoras e os revestimentos exteriores. Com este fim, as mangas e braçadeiras autoblocantes deverão ser aplicados em pontos fixos.	2

1.3.4 - Comportamento na Presença do Fogo dos Condutores e Cabos Eléctricos

O comportamento dos condutores e cabos eléctricos, na presença do fogo, tem uma importância particular, nomeadamente em virtude da concentração urbana e de desenvolvimento industrial actuais. Esta evolução traduz-se, com efeito, pela realização de grandes complexos habitacionais, hospitalares e industriais, por vezes, com alturas significativas, nos quais um incêndio pode tomar rapidamente proporções consideráveis e provocar gravíssimas consequências.

Sendo difícil a prevenção total contra os riscos de incêndio, é necessário que, a construção destes complexos habitacionais e industriais, assim como, a escolha dos equipamentos a instalar sejam realizadas de modo a:

— minimizar a extensão do sinistro e dos estragos que ele provoca;
— facilitar a intervenção dos meios de combate a incêndios e de evacuação dos locais;
— assegurar, em certos casos, a manutenção dos serviços de importância vital.

No que diz respeito às canalizações eléctricas que, geralmente ocupam um lugar importante nas construções consideradas, estes resultados serão obtidos pela escolha:

— da(s) especificação(ões) dos condutores e cabos, de maneira a assegurar as características de comportamento na presença do fogo e/ou fumos libertados que em cada caso venham a ser exigidas;
— das condições de instalação.

Classificação dos Cabos segundo o seu comportamento na presença do Fogo

Neste domínio e de acordo com as várias características de comportamento quando expostos ao fogo, os cabos são classificados do seguinte modo:

a) Cabos sem características específicas quanto ao seu comportamento ao fogo

Tratam-se de cabos que na sua concepção não é definida qualquer característica especial quer de não propagação quer de resistência ao fogo.
Não é definido qualquer tipo de ensaio neste âmbito.

b) Cabos não propagadores de fogo

Neste âmbito tratam-se os cabos que apresentam um comportamento retardante á chama e ao fogo, isto é, de não propagação para além de uma determinada distância do ponto de ataque da chama.

c) Cabos resistentes ao fogo

A qualidade de resistência ao fogo aplica-se aos cabos que apresentam a propriedade de continuarem a assegurar o seu serviço, durante um tempo limitado, quando sujeitos a incêndio.

Comentários

É importante notar que, as noções de não propagador de fogo e de resistência ao fogo são independentes e que, não há hierarquia entre os ensaios correspondentes a que os cabos são sujeitos.
É por isso que, segundo a sua constituição, os cabos ditos resistentes ao fogo podem ser igualmente não propagadores do fogo. Ou ainda, um cabo, dito não propagador do fogo pode apresentar ou não a característica de resistência ao fogo.

Por outro lado, ao abrigo desta classificação, o cabo constitui um conjunto por vezes indivisível.

Quadro 25 - Comportamento ao fogo de cabos eléctricos

Característica	Comportamento	Simbologia	Normas		
			EN	IEC	UNE
Propagação da chama	Retardante à chama	(Flame Retardant)	EN 50265-1 EN 50265-2-1	IEC 60332-1	UNE-EN 50265-1 UNE-EN 50265-2-1
Propagação do fogo	Retardante ao fogo	frs (Fire Retardant)	EN 50266-1 EN 50266-2 (série)	IEC 60332-3	UNE-EN 50266-1 UNE-EN 50266-2 (série)
Resistência ao fogo	Resistente ao fogo	frs (Fire Resistant)		IEC 60331-11 IEC 60331-21 a)	
Opacidade dos fumos	Baixa opacidade (densidade) dos fumos libertados	ls (Low Smoke)	EN 50268-1 EN 50268-2	IEC 61034-1 IEC 61034-2	UNE-EN 50268-1 UNE-EN 50268-2
Toxidade	Baixa quantidade de gases tóxicos dos fumos libertados	lt (Low Toxicity)	*b*)	*b*)	*b*)
Corrosividade (Acidez dos fumos libertados)	Isento de halogéneos	Zh (zero halogen/ halogen free)	EN 50267-1 EN 50267-2-2	IEC 60754-2	UNE-EN 50267-1 UNE-EN 50267-2-2
	Grau de acidez dos gases desprendidos na combustão (pH e conductividade)	la (Low Acid)	EN 50267-1 EN 50267-2-1	IEC 60754-1	UNE-EN 50267-1 UNE-EN 50267-2-1
	Grau de acidez dos gases desprendidos na combustão (média ponderada pH e conductividade)		EN 50267-1 EN 50267-2-3	IEC 60754-1	UNE-EN 50267-1 UNE-EN 50267-2-3

Notas: *a) Só BT (0,6/1 kV)*
b) Não existe normalização europeia. Está em preparação
c) Um cabo frs é normalmente também frt
d) Um cabo Zh é normalmente ls, lt e la

É a especificação completa que determina as qualidades de não propagação do fogo ou de resistência ao fogo. É por esta razão que os ensaios de verificação correspondentes são efectuados sobre amostras de cabos completos e não podem ser considerados separadamente para os elementos constituintes.

Por outro lado, o melhoramento do comportamento ao fogo dos cabos provém muitas vezes, da incorporação, nos seus constituintes, de aditivos que podem limitar as outras características, em particular, as eléctricas.

d) Características dos fumos libertados na combustão

Podemos citar algumas características a que devem satisfazer os fumos libertados durante a sua combustão:

- Opacidade
- Corrosividade
- Toxicidade

e) Compostos à base de halogéneos

Aos compostos à base de halogéneos – cloro, flúor, bromo, etc. – está associada a eventual e perigosa capacidade dos fumos libertados na sua combustão produzirem gases ácidos, quando estão em contacto com a humidade atmosférica ou água.

Tornam-se assim fumos corrosivos habitualmente designados por chuvas ácidas quando se precipitam sobre a terra

Todos este tipos de comportamento e características dos cabos na presença do fogo, estão sintetizados na tabela seguinte, onde se reproduz a simbologia associada e as normas que suportam os ensaios de verificação das mesmas.

1.3.5 - Condições de Instalação dos Cabos

Se os ensaios invocados, anteriormente, permitem definir cabos, apresentando um comportamento substancialmente melhor que no passado, estes ainda não oferecem uma garantia total. Não devem, em particular, justificar uma diminuição das precauções necessárias a tomar, ao nível da instalação dos cabos. Estas últimas têm uma influência determinante sobre o comportamento das canalizações eléctricas, na presença do fogo e devem completar as disposições tomadas, eventualmente, ao nível dos cabos para melhorar o comportamento dessas canalizações.

Efectuam-se estudos com vista a estabelecer as regras de instalação óptimas que permitam minimizar os estragos provocados pelos incêndios. Estas dependem, em larga medida, da natureza exacta da instalação a realizar. Daremos, a seguir, várias indicações de ordem geral, relativas a este assunto.

Convém evitar grandes concentrações de cabos colocados na vertical ou nas subidas que não contenham patamares horizontais. Pela mesma razão, é desaconselhável que

a entrada dos cabos nos armários seja sistematicamente efectuada pelo lado de cima.

O isolamento do percurso dos cabos com a utilização e a disposição judiciosa de paredes anti-fogo permite retardar, em grandes proporções, a extensão dos sinistros. O arejamento ou ventilação representam um problema particular pois, se, por um lado, deve ser limitado a fim de não alimentar nem manter os focos de incêndio, por outro lado, deverá ter as dimensões suficientes a fim de permitir a evacuação dos gases e fumos perigosos para o pessoal de intervenção e para certos materiais. Os aparelhos de evacuação dos gases e de ventilação necessitam, consequentemente, de estudos aprofundados e adaptados a cada caso.

Por outro lado, a colocação de detectores automáticos de temperatura, de gases ou de fumos, comandando os dispositivos de extinção, tem um papel importante nas instalações particularmente expostas.

Finalmente, durante os últimos anos, desenvolveu-se a protecção das instalações através de revestimentos, pinturas ou vernizes especiais que são em certos casos, de uma grande eficácia, desde que sejam aplicados sobre os aglomerados de cabos.

1.3.6 - Protecção dos Cabos Contra os Roedores

Os roedores, particularmente os ratos, são susceptíveis de atacar os condutores e cabos:

— devido à necessidade fisiológica que têm em manter os dentes incisivos com um dado comprimento;

— para suprimir os obstáculos que se opõem à sua passagem.

O risco de degradação depende, portanto, do número de roedores que vivem em grupo, no meio onde se encontra o cabo. A importância do ataque efectuado pelos roedores é inversamente proporcional à duração dos elementos constituintes do cabo e, em menor escala, à sua espessura. Por isso, a única protecção eficaz é aquela que é obtida pelo emprego de um revestimento metálico contínuo e de resistência suficiente: geralmente o aço. Este revestimento poderá ser realizado com uma ou mais fitas, com uma trança de elevada taxa de cobertura ou uma franja de fios.

Podemos, igualmente, obter uma protecção com a colocação dos cabos no solo.

Caso não seja possível estabelecer uma regra precisa, uma profundidade da vala igual a 0,80 m é, geralmente, considerada suficiente para assegurar essa protecção. Além disso, é aconselhável o emprego de caleiras em cimento. Os cabos subterrâneos estão expostos nos pontos em que abandonam o solo, para entrar nos postos de transformação ou nos prédios. Poderá ser necessário prevenir para estes pontos, uma protecção complementar: colocação de tubos metálicos ou enfitagem exterior em fitas de aço.

1.3.7 - Protecção dos Cabos Contra os Micro-Organismos e as Térmitas

No estado actual da técnica, a protecção de um cabo contra as térmitas não poderá ser assegurada de maneira absoluta mas é possível executá-la em vários níveis:

a) utilização de um Produto Anti-Térmitas na Bainha Exterior do Cabo

A experiência revelou que a protecção assegurada por um material à prova de térmitas, baseado na composição química do mesmo, apresenta as seguintes particularidades:

— as características de um produto com esta finalidade evoluem ao longo do tempo;

— a eficácia do produto depende, em larga medida, da natureza da espécie e da importância de cada colónia de térmitas, na presença das quais ele é colocado.

Assim, de uma maneira geral, não podemos considerar sem algumas reservas, a eficácia potencial das bainhas exteriores de protecção, efectuadas com uma mistura termoplástica especial anti térmitas.

b) realização de uma Protecção Mecânica Específica do Cabo

Na maior parte dos modelos de cabos, é tecnicamente possível assegurar essa protecção, por meio de uma fita em bronze, cobrindo totalmente o cabo e sendo fortemente apertada sobre si mesma, para não ficar nenhum interstício entre duas espiras. É necessário ter a certeza de que a fita está perfeitamente aplicada na totalidade do comprimento do cabo, isto naturalmente, ao longo de toda a vida útil do mesmo.

Mas a eficácia deste método deixa de estar assegurada, se a fita sofrer uma deslocação, ou durante as operações de desenrolamento e colocação ou ao longo do funcionamento devido aos ciclos de carga do cabo.

c) acções sobre o Meio Envolvente

Poderão ser obtidas:

— quer por um arranjo especial na parte de construção civil, tornando os cabos inacessíveis no local onde são enterrados, ou então, com a colocação dos mesmos, em ambiente com muita luz;

— quer por um tratamento do terreno, onde são instalados os cabos, efectuado por especialistas que poderão, eventualmente, garantir a sua eficácia e, sobretudo, durabilidade.

Nenhuma das medidas anteriores poderá ser garantida como protecção absoluta, mas é razoável considerar que a sua aplicação simultânea dará uma melhor segurança no funcionamento, minimizando qualquer actuação das térmitas.

1.3.8 - Influências Externas Possíveis nas Instalações de BT Segundo o Regulamento de Segurança das Instalações de Utilização de Energia Eléctrica

O RSIUEE estabelece uma classificação detalhada das características dos materiais definida em função das influências externas susceptíveis de se encontrarem numa instalação de utilização.

Algumas destas características estão de acordo com as especificações internacionais em especial as da CEI.

Para cada influência externa são definidas várias classes, por ordem crescente de severidade. As várias influências e classes correspondentes são designadas por intermédio de um código alfanumérico.

No quadro 26 é apresentado um extracto dessa classificação, contendo as principais influências, tomadas em conta para cada local, que intervêm na escolha dos cabos a empregar.

Quadro 26 - Influências Externas nas instalações de B.T.

Influência exterior	Classe	Características
Temperatura ambiente	T0	Compreendida entre - 5^0C a + 40^0C
	T1	Baixa: inferior - 5^0C
	T2	Alta: superior a + 40^0C
	T3	Sem limite definido, abrangendo baixas e altas temperaturas
Presença de água	H0	Sem protecção
	H1	Protecção contra a queda de gotas de água
	H2	Protecção contra a queda de gotas de água até 15^0 da vertical
	H3	Protecção contra chuva
	H4	Protecção contra projecções de água
	H5	Protecção contra jactos de água
	H6	Protecção contra projecções de massas de água
	H7	Protecção contra a imersão da água
	H8	Protecção total contra imersão em água
Presença de corpos sólidos	K0	Sem protecção
	K1	Protecção contra corpos de grandes dimensões > 50 mm
	K2	Protecção contra corpos de média dimensão > 12 mm
	K3	Protecção contra corpos de pequenas dimensões > 2,5 mm
	K4	Protecção contra corpos de muito pequenas dimensões > 2 mm
	K5	Protecção parcial contra poeiras
	K6	Protecção total contra poeiras
Acções mecânicas	MO, M1	Fraca resistência ao choque ≤ 0,2 J
	M2, M3	Média resistência ao choque ≤ 2 J
	M4, M5	Média resistência ao choque ≤ 2 J
	M6, M7	Boa resistência ao choque ≤ 6J
	M8, M9	Muita boa resistência ao choque ≤ 20 J
Presença de substâncias corrosivas ou poluentes	C0	Sem resistência
	C1	Resistência à corrosão pela humidade
	C2	Resistência à corrosão pelos agentes atmosféricos
	C3	Materiais resistentes à corrosão por agentes químicos
Riscos de incêndios	Y0	Não previstos para risco de incêndio
	Y1	Previstos para o risco de incêndio
	Y2	Resistentes ao fogo

Os condutores e cabos a escolher, para uma dada canalização, terão que possuir características tais que lhes permitam desempenhar a sua função, perante as várias influências externas a considerar, no local para o qual a instalação é projectada.

1.4 - Ensaios e Controlos

Em cada estádio do fabrico de condutores e cabos, e antes da sua entrega, numerosos controlos são efectuados, quer para assegurar a qualidade dos materiais empregues e a sua aplicação, quer para verificar a conformidade com os documentos de normalização aplicáveis. Nesta última perspectiva distinguem-se:

— os **ensaios de tipo** efectuados em protótipos, com vista à homologação dos cabos. Tal é a sua natureza que não será necessária, em princípio, a sua repetição em cada fornecimento. Poderão ser, total ou parcialmente, renovados em intervalos de tempo regulares,

— os **ensaios de controlo** efectuados na totalidade ou sobre uma percentagem dada, para cada fornecimento,

— os **ensaios de recepção** efectuados na presença de um elemento da entidade compradora, no momento da entrega de um fornecimento.

A grande diversidade dos ensaios e controlo possíveis não permite a apresentação de uma lista detalhada. Podem, no entanto, classificar-se globalmente em três categorias.

1.4.1 - Verificação das Disposições Construtivas e das Características Dimensionais

Por exemplo: número e dimensão dos fios que constituem a alma condutora, espessura das camadas e bainhas, passo de cableamento, diâmetro exterior, excentricidade, etc,.

1.4.2 - Verificação das Características Mecânicas, Físicas e Químicas

É o domínio mais vasto, em virtude da variedade das aplicações particulares e das características específicas correspondentes:

— **do ponto de vista mecânico:** carga e alongamento à ruptura, aptidão à curvatura, resistência ao desgaste, aos choques, etc;

— **do ponto de vista físico e químico:** resistência às intempéries, aos produtos químicos, às temperaturas extremas, compatibilidade entre os constituintes, comportamento na presença do fogo, etc.

Segundo a sua natureza estes controlos são efectuados, quer sobre os constituintes tomados isoladamente, quer sobre uma amostra de cabo completo. Desde que a propriedade controlada seja susceptível de variar ao longo da vida do cabo, é necessário assegurar que a sua variação será limitada a um valor não prejudicial à manutenção do cabo, em serviço. Neste propósito, procede-se a um ensaio de envelhecimento artificial acelerado que consiste em majorar, ao longo de um ensaio de duração limitada, o ou os parâmetros responsáveis pela evolução do processo, particularmente, a temperatura. No entanto, o envelhecimento real é um

mecanismo muito complexo, no qual um grande número de factores intervêm simultaneamente e, por isso, as condições de realização de um envelhecimento acelerado são necessariamente simplificadas: influência de um número restrito de factores, lei aproximada da acção do parâmetro estudado em função do tempo, etc.

1.4.3 - Verificação das Características Eléctricas

— Continuidade e resistência da alma condutora, tangente do ângulo de perdas, resistência de isolamento;

— Rigidez dieléctrica: os ensaios correspondentes consistem em aplicar, durante um dado tempo, uma solicitação dieléctrica superior à encontrada em serviço normal. Para certos cabos de baixa tensão, o controlo poderá ser realizado ao longo da fabricação dos diversos troços de cabo, com a ajuda dos aparelhos apropriados (ensaios a seco em desfiamento). Para os cabos de média e alta tensão, é usual verificar, além disso, o comportamento sob a acção de uma tensão contínua ou alternada e o comportamento às ondas de choque. Finalmente, em certos casos, os ensaios de rigidez dieléctrica da camada isolante ou da bainha poderão ser efectuados após a instalação do cabo.

1.5 - Identificação e Utilização dos Condutores e Cabos Eléctricos de Baixa Tensão

1.5.1 - Introdução

As regras descritas a seguir, referem-se à identificação e utilização dos condutores e cabos BT a isolante seco.

A harmonização das regras de identificação e utilização, baseadas nos mesmos princípios fundamentais, está actualmente em curso, a nível europeu, no quadro do CENELEC.

A identificação dos condutores não poderá ser tomada como suficiente. É sempre necessário verificar a polaridade dos condutores, antes de qualquer intervenção.

1.5.2 - Regras Fundamentais

A - Identificação do Condutor de Protecção (ou de Terra) Terra de Exclusividade

Esta função é assegurada por um condutor com uma dupla coloração da bainha exterior em verde-amarelo.

Devido à função de segurança que desempenha, o condutor verde-amarelo deve ser utilizado, exclusivamente, como condutor de protecção e não deve nunca ser afectado a outra função (condutor de fase ou neutro). Inversamente, nenhum condutor com uma cor diferente da verde-amarela, pode desempenhar a função de condutor de protecção.

Isto é válido para os cabos ou monocondutores, rígidos ou flexíveis. Em caso de circuitos com ligação directa das massas ao neutro (TN), se os condutores de protecção e de neutro forem comuns (TN-A), o condutor deverá ter a cor verde-amarela.

Se um cabo, com condutor verde-amarelo, alimenta um aparelho cuja massa não deve ser ligada à terra ou é utilizado num circuito sem condutor de protecção, o condutor verde-amarelo não deve ser ligado. De facto, é aconselhável utilizar um cabo sem condutor verde-amarelo, a fim de evitar uma ligação posterior inadvertida.

B - Identificação do Condutor de Neutro

O condutor de cor azul claro é utilizado para o condutor de neutro.

Para os cabos com mais de um condutor, não comportando o circuito do neutro, o condutor azul claro pode ser utilizado como condutor de fase (excepto no caso de condutores isolados, sem bainha exterior, ou de cabos unipolares).

C - Identificação dos Condutores de Fase

— Condutores isolados sem bainha exterior (H07V-U, R ou K). Identificação com uma cor qualquer excepto verde - amarelo, azul claro, branco, cinzento, amarelo ou verde;

— Cabos unipolares. A identificação, por coloração contínua da camada isolante, não é necessária. Os condutores de protecção e de neutro são identificados, nas extremidades, por meio de anéis, por exemplo. Normalmente, a bainha exterior é de cor preta;

— Cabos multipolares. As cores utilizadas para identificar os condutores de fase são o preto e o castanho, eventualmente, o azul claro se o circuito não comportar o condutor de neutro.

Estas identificações são sintetizadas nos quadros 27 a 28.

Está em curso a aplicação da norma HD 308 S2:2001 que altera a identificação dos condutores dos cabos multipolares, que se resume nos quadros 30 e 31.

Identificação dos Condutores e Cabos de Baixa Tensão

NP-917: Esta norma, ainda em vigor (mas actualmente em revisão), refere-se a todo o tipo de condutores isolados, rígidos ou flexíveis.

Quadro 27 - Identificação dos condutores

Número de Condutores	Cores dos Condutores	
	Cabo com Condutor Verde/Amarelo	Cabo sem Condutor Verde/Amarelo
1	AC, P, V/A	AC, P, C
2		AC, P
3	V/A, AC, P (*)	AC, P, C
4	V/A, AC, P, C	AC, P, P, C
5	V/A, AC, P, P, C	AC, P, P, P, C

(*) - Nos cabos flexíveis ou extra flexíveis as cores utilizadas são V/A, AC, C.

NP-2359: Esta norma é a adopção para Portugal do documento HD 308 S1 do Cenelec, e refere-se a condutores isolados e flexíveis.

Quadro 28 - Identificação dos condutores

Número de Condutores	Cores dos Condutores
1	V/A, AC Outras Cores (*)
2	AC, C
3	V/A, C, AC
4	V/A, P, AC, C
5	V/A, P, AC, C, P

(*) - As cores verde ou amarelo, assim como toda a identificação através de uma dupla coloração, que não seja a combinação das cores verde/amarela, não são admitidas.

Quadro 29 - Afectação dos Condutores Segundo a Constituição dos Circuitos

Número de condutores	Circuito	Canalizações fixas										Canalizações móveis				
		Condutores isolados					Cabos multipolares rígidos e flexíveis					Cabos flexíveis				
		F	F	F	N	Pr	F	F	F	N	Pr	F	F	F	N	Pr
1	De protecção ou de terra					V/A										
2	Monofásico entre fases	x	x				P	AC	(2)			C	AC	(2)		
	Monofásico entre fase e neutro	x			AC		P			AC	(2)	C			AC	(2) (4)
	Monofásico entre fase e neutro (sistema TN-A)	x			V/A		P			V/A	(3) (5)					
3	Trifásico sem neutro	x	x	x			P	C	AC	(1)		P	C	AC	(1)	
	Duas fases + neutro	x	x		AC		P	C		AC	(1)	P	C		AC	(1)*
	Duas fases + condutor de protecção	x	x			V/A	P	AC	(2)	(3)	V/A	C	AC			V/A
	Monofásico fase-neutro + condutor de protecção	x			AC	V/A	P	(2)	(3)	AC	V/A	C			AC	V/A
4	Trifásico com neutro	x	x	x	AC		P	C	P	AC	(1)	P	C	P	AC	(1)
	Trifásico sem neutro + condutor de protecção	x	x	x		V/A	P	C	AC	(3)	V/A	P	C	AC		V/A
	Duas fases + neutro + condutor de protecção	x	x		AC	V/A	P	C	(3)	AC	V/A	P	C		AC	V/A
	Trifásico (sistema TN-A)	x	x	x	V/A		P	C	AC	V/A	(3) (5)					
5	Trifásico + neutro + condutor de protecção	x	x	x	AC	V/A	P	C	P	AC	(3) V/A	P	C	P	AC	V/A

(1) Estas construções podem não corresponder aos cabos de fabrico corrente. Podemos ter, então, necessidade de:

- Recorrer a cabos com 4 ou 5 condutores, nunca utilizando o condutor V/A, caso exista.
- Encomendar especialmente um cabo para o fim pretendido, se o comprimento desejado justificar.

(2) Cabo flexível harmonizado com dois condutores: C-AC. Cabo flexível harmonizado com três condutores: C-AC-V/A.

(3) Se o cabo apropriado não estiver disponível, o condutor de protecção é realizado por um condutor V/A separado ou através de um anel colorido colocado nas extremidades.

(4) Se o modo de ligação permite determinar a posição do condutor neutro.

(5) Cabos rígidos de secção ≤ l0 mm2.

Legenda:

F - Condutor de fase,
N - Condutor de neutro,
Pr - Condutor de protecção,
V/A - Verde-amarelo,
P - Preto,
AC - Azul Claro,
C - Castanho,
B - Branco,
V - Verde,
A - Amarelo,
X - Qualquer cor excepto V/A, AC, B, V, A.

1.5.3 - Identificação dos condutores dos cabos multipolares de acordo com o HD 308 S2

Os condutores dos cabos multipolares devem ser identificados pelas cores indicadas nos quadros 30 e 31 a seguir apresentados. Estes quadros indicam as cores dos condutores de acordo com o número de condutores, e também a ordem de rotação das cores nos cabos de quatro e cinco condutores.

A primeira tabela aplica-se a cabos com condutor verde-amarelo e a segunda tabela a cabos sem condutor verde-amarelo.

Não é exigida identificação pela cor aos condutores concentricos, condutores de cabos planos sem bainha ou de cabos isolados com materiais que não podem ser indentificados por cor, como por exemplo em cabos isolados com minerais.

Quadro 30 - Cabos com condutor verde-amarelo

Numero de condutores	Cores dos condutores[b]				
	protecção	Fases e neutro			
3	Verde-amarelo	Azul	Castanho		
4	Verde-amarelo	-	Castanho	Preto	Cinzento
4[a]	Verde-amarelo	Azul	Castanho	Preto	
5	Verde-amarelo	Azul	Castanho	Preto	Cinzento

[a] Unicamente em algumas aplicações

[b] Nesta tabela um condutor concêntrico não isolado, como uma bainha metálica, armadura ou blindagem não é considerado como condutor. Um condutor concêntrico é identificado pela sua posição e por isso não é identificado por uma cor.

Quadro 31 - Cabos sem condutor verde-amarelo

Numero de condutores	Cores dos condutores[b]				
2	Azul	Castanho			
3	-	Castanho	Preto	Cinzento	
3[a]	Azul	Castanho	Preto		
4	Azul	Castanho	Preto	Cinzento	
5	Azul	Castanho	Preto	Cinzento	Preto

[a] Unicamente em algumas aplicações

[b] Nesta tabela um condutor concêntrico não isolado, como uma bainha metálica, armadura ou blindagem não é considerado como condutor. Um condutor concêntrico é identificado pela sua posição e por isso não é identificado por uma cor.

1.6 - Sistema de Designação de Cabos Eléctricos (NP 665)

Quando o sistema de designação dos cabos de energia não está definido na norma de referência para a sua construção, define-se a designação de acordo com a tabela abaixo indicada (NP 665).

Descrição		Designação	Simbologia
	Material do Condutor	Cobre maico	-
		Alumínio multifilar	L
		Alumínio maciço	LS
	Flexibilidade Condutor	Rígidos (classe 1 ou 2)	-
		Flexíveis (classe 5)	F
		Extra Flexíveis (classe 6)	FF
	Isolação / Bainhas	Borracha de etileno propileno	B
		Etileno acetato de vinilo	G
		Poliolefina (baixa emissão de fumos e gases corrosivos)	Z
		Termoplástico (baixa emissão de fumos e gases corrosivos)	Z1
		Papel isolante	P
		Policloreto de vinilo	V
		Policloreto de vinilo com resistência aos hidrocarbonetos	Vh
		Polietileno	E
		Polietileno Recticulado	X
		Juta	J
		Fita de alumínio revestida com copolímero	L
		Chumbo (bainha colectiva)	C
		Chumbo (bainha individual)	CI
	Blindagens	Blindagem individual	HI
		Blindagem colectiva	H
		Blindagem estanque	1 (antes do H)
	Concêntricos	Fios de cobre	O
		Flexíveis (classe 5)	F
		Extra Flexíveis (classe 6)	FF
	Revestimentos metálicos (conferindo protecção mecânica)	Fitas de aço	A
		Fitas de aço corrugado	2A
		Fios de aço	R
		Barrinhas de aço	M
		Trança de aço galvanizado	1Q
		Fitas (não magnéticas)	1A
		Fios (não magnéticas)	1R
		Barrinhas (não magnéticas)	1M
		Fitas corrugadas (não magnéticas)	3A
		Trança de cobre	Q
	Agrupamento condutores	Cableados ou torcidos	-
		Dispostos paralelamente, sem cableamento ou torção	D
	Indicações diversas	Cabos auto-suportados	S
Comportamento dos cabos ao Fogo		Retardante à chama (EN 60332-1)	-(1)
		Retardante ao fogo (EN 60332-3)	(frt)
		Resistente ao fogo (IEC 60331-11)	(frs)(2)
		Baixa opacidade dos fumos libertados (IEC 61034)	(ls)
		Baixa corrosividade dos fumos libertados (EN 50267; IEC 60754)	(la)
		Baixa toxicidade dos fumos libertados (EN 50267; IEC 60754)	(lt)
		Isento de halogéneos (EN 50267; IEC 60754/61034)	(zh)
Protecção à propagação longitudinal da água		Condutor estanque	(ce)(3)
		Blindagem estanque	(be)
		Condutor e blindagem estanques	(cbe)

Nota: considera-se que um cabo zh é por natureza também la, ls e lt.

(1) - A não utilização da sigla não é suficiente para se classificar o cabo como retardante da chama

(2) - Um cabo frs é habitualmente também frt, podendo-se por isso omitir a sigla frt.

(3) - Não se utiliza a simbologia no caso do condutor maciço.

Exemplo de designação: LXHIOLZ1 (be,frs,zh) 1x120/16 18/30 kV

Cabo de tensão estipulada 18/30kV, com protecção à penetração longitudinal de água na blindagem, retardante ao fogo, resistente ao fogo e isento de halogéneos, constituído por 1 condutor de alumínio de 120 mm2 de secção nominal, isolado a polietileno recticulado, com blindagem individual de 16 mm2 de secção nominal, com bloqueio radial à entrada de água no cabo em fita de alumínio com copolímero e baínha exterior termoplástica à base de poliolefina.

Dimensionamento dos Condutores e Cabos Eléctricos

Capítulo II

2.1 - Escolha da Tensão

As indicações que se seguem precisam a maneira de definir a tensão, para a qual a camada isolante dos cabos deve ser dimensionada, em função das características da instalação considerada.

Entre os principais termos usados para caracterizar a tensão, distinguem-se:

• Os termos que se referem à **instalação ou à rede:**

— **tensão nominal:** é a tensão pela qual a instalação (ou parte da mesma) é designada e à qual estão referidas determinadas características de funcionamento;

— **tensão de serviço ou de regime:** é a diferença de potencial que existe, em regime normal, entre dois condutores, quer ao nível do utilizador quer na origem da instalação. Considera-se, na prática, o valor médio desta tensão, tendo em conta particularmente, as variações da tensão de alimentação.

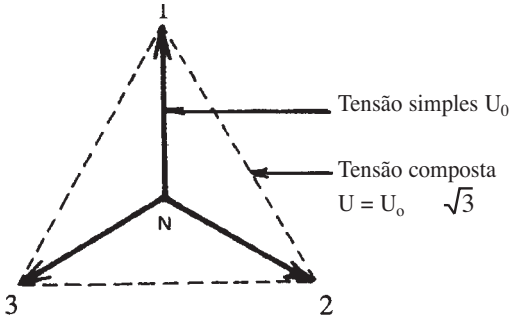
Desde que se trate de uma rede em tensão alternada, as tensões referidas são representadas pelos seus valores eficazes.

Numa rede trifásica distinguem-se:

— **tensão simples:** é a tensão entre uma fase e o potencial de referência, écran metálico ou terra;

— **tensão composta:** é a tensão entre duas fases.

Em regime equilibrado, a razão entre a tensão composta e a tensão simples é igual a $\sqrt{3}$.



• Os termos que se referem **aos condutores ou cabos** que equipam a instalação:

Trata-se, essencialmente **da tensão estipulada,** que é o valor em função do qual são definidas as condições dos ensaios dieléctricos do condutor ou cabo e, por conseguinte, da espessura do isolamento. Os ensaios dieléctricos do condutor ou cabo acima referidos, são principalmente:

— ensaio de tensão à frequência industrial;

— eventualmente, ensaio de comportamento à onda de choque.

2.1.1 - Instalações de Baixa Tensão

Os condutores e cabos que equipam estas instalações são caracterizados pela sua tensão nominal. O termo «tensão estipulada» é raramente empregue.

Em tensão alternada, a tensão nominal do cabo deve ser pelo menos igual à tensão nominal da instalação. Além disso, é de notar que se considera, geralmente, que a tensão de serviço de uma instalação pode exceder em permanência a sua tensão nominal em 10% . Por outro lado, em tensão contínua, admite-se que a tensão nominal da instalação possa atingir 1,5 vezes a tensão nominal do cabo.

As tensões nominais dos cabos, mais usadas, são: 250 V ou 300 V (valor reservado a certas gamas de cabos flexíveis), 500 V, 750 V, 1 000 V.

Precisa-se, ainda, a este respeito que:

— os condutores e cabos de tensão nominal 1000 V podem ser usados em todas as instalações eléctricas de baixa tensão;

— os condutores e cabos de tensão nominal 500 ou 750 V só podem ser utilizados em instalações em que a tensão nominal é, no máximo, igual a 500 ou 750 V, respectivamente;

— os cabos flexíveis de tensão nominal 250 ou 300 V não podem ser utilizados, a não ser nas partes da instalação onde a tensão nominal não ultrapasse os 250 V, seja ela alternada ou contínua.

Por outro lado, se numa instalação de neutro isolado (ver capítulo IV), o condutor de neutro estiver distribuído, os cabos ligados entre uma fase e o neutro devem ser isolados para a tensão entre fases.

2.1.2. Instalações de Média e Alta Tensão

A tensão estipulada, para a qual um cabo é concebido, exprime-se por um conjunto de três valores, em kilovolt, sob a forma Uo/U (Um), com:

— Uo = tensão entre um condutor e um potencial de referência (écran ou terra);

— U = tensão entre dois condutores de fase;

— Um = tensão máxima que pode aparecer entre fases da rede, em condições normais de exploração. Este valor, essencialmente, considerado no âmbito da compatibilidade com a aparelhagem e os transformadores.

A escolha da tensão estipulada dos cabos, que devem equipar uma instalação, é função das considerações seguintes.

1- Tipo de Cabo Escolhido

A expressão da tensão estipulada difere, conforme o cabo é de campo radial (secção 1.2.4) ou não. Num cabo de campo radial, Uo é diferente de U, sendo a razão entre ambos geralmente igual a $\sqrt{3}$.

Pelo contrário, devido à sua constituição, um cabo de cintura apresenta um nível de isolamento equivalente entre duas fases e entre uma fase e o écran. Daí resulta que Uo e U têm valores idênticos.

2 - Tensão Nominal da Instalação

O valor de U será, em princípio, superior ou igual à tensão nominal da instalação para a qual o cabo se destina. O quadro 32 indica as tensões nominais mais usuais para as redes trifásicas, em Portugal e no estrangeiro, segundo a publicação 38 da CEI. Nele figuram as tensões estipuladas, normalizadas, nas quais são empregues os cabos correspondentes, desde que os outros critérios de escolha, estudados a seguir, o permitam.

Para uma instalação alimentada com uma tensão de valor intermédio, será escolhida a tensão estipulada, correspondente à tensão normalizada imediatamente superior.

3 - Condições de Eliminação dos Defeitos à Terra

A tensão estipulada, escolhida, deve igualmente satisfazer a distribuição das tensões na rede, em caso de funcionamento anormal. Em particular, a tensão à qual o isolante é submetido durante um defeito, entre uma fase e a terra (defeito monofásico ou homopolar), depende do modo de ligação à terra do ponto neutro da rede:

— **Rede com neutro directamente ligado à terra:** o potencial do ponto neutro permanece próximo do potencial da terra. Por outro lado, a corrente de curto-circuito é suficientemente elevada, para provocar a actuação automática e rápida dos dispositivos de protecção da instalação. A diferença de potencial aplicada à camada isolante não é, por isso, susceptível de tomar valores proibitivos, durante um tempo prolongado, e a tensão estipulada pode ser escolhida em conformidade com o quadro 32.

— **Rede com neutro isolado:** se o isolamento em qualquer ponto da rede, fora do local do defeito, estiver em boas condições e se o defeito atingir uma só fase, o valor da corrente de defeito não justifica, geralmente, uma actuação instantânea. Por outro lado, para assegurar a continuidade do equilíbrio do

sistema trifásico, o potencial do ponto neutro, em relação à terra, torna-se igual (numa primeira aproximação) à tensão simples da rede; a tensão entre fases sãs e a terra torna-se igual à tensão composta. O isolamento dos condutores sãos é, portanto, submetido a uma tensão $\sqrt{3}$ vezes mais forte que em regime normal, durante um período que poderá ter uma duração importante.

— **Rede com neutro impedante:** o funcionamento, em caso de um defeito homopolar, depende do valor da impedância da ligação à terra do neutro. Neste caso, o valor da tensão entre fases sãs e a terra estará compreendido entre a tensão simples e a tensão composta da rede.

Para os cabos de campo radial, segundo a especificação técnica EDF HN 33-S 23 e para alta tensão, a correspondência estabelecida no quadro 32, entre a tensão nominal da rede e a tensão estipulada dos cabos, supõe que, na rede considerada, a eliminação dos defeitos à terra se efectua de forma automática, num tempo inferior a uma hora e que a duração total do tempo de funcionamento, com uma fase à terra, não ultrapassa as 12 horas por ano.

Se estas condições não são satisfeitas, escolhe-se, para a tensão especificada, um valor superior ao figurado no quadro 32, em função das condições particulares de eliminação dos defeitos.

4 - Sobretensões

A escolha da tensão estipulada dos cabos deve, por fim, ter em conta as sobretensões susceptíveis de afectar a instalação estudada e cuja origem pode ser devida a:

— um fenómeno atmosférico, transmitido por intermédio das linhas aéreas;

— um defeito de isolamento, relativamente às instalações de tensão nominal superior;

— manobras de aparelhagem;

— fenómenos de ressonância.

Não é possível, no entanto, estabelecer uma regra geral para a escolha. Em todos os casos de sobretensão eventual, particularmente importante nas canalizações de alta tensão, a tensão estipulada apropriada é determinada em função do valor e da forma da sobretensão, da sua duração, da sua probabilidade de ocorrência, dos dispositivos de protecção e do coeficiente de segurança desejado.

Quadro 32 - Determinação da Tensão Estipulada dos Cabos MT e AT

Tensão nominal composta da rede (1) kV	Tensão estipulada U*o*/U(Um) (2)	
	U*o*/U kV	Um kV
3	1,8/3 e 3/3	3,6
6	3,6/6 e 6/6	7,2
10	6/10	12
15	8,7/15	17,5
20 - 22	12/20 ou 12,2/22	24
30 - 33	18/30 ou 19/33	36
45	26/45	52
63* - 66 - 69	36/60 ou 36/63*	72,5
70*	40,5/70*	82,5
90*	52/90*	100
110 - 115	64/110 ou 66/115	123
132 - 138	76/132 ou 80/138	145
150	87/150	170
220 - 225* - 230	130/220 ou 130/225*	245
400	230/400	420
500	290/500	525

(1) Segundo publicação CEI 38 (Tensões normais da CEI)

(2) Segundo publicação CEI 183 (Guia para a escolha dos cabos de alta tensão)

(*) Estes valores não figuram nas publicações CEI de referência. Correspondem, no entanto, a redes normalmente encontradas em Portugal e no Estrangeiro.

2.2 - Escolha da Secção da Alma Condutora

A escolha da secção da alma condutora dos cabos e condutores isolados, para transmissão de energia, é um dos problemas essenciais que o projecto de uma canalização eléctrica apresenta. Trata-se, com efeito, em estabelecer o melhor compromisso possível, entre numerosas considerações, sendo as principais:

— de ordem técnica: imperativos de funcionamento da canalização, no plano eléctrico, térmico e, por vezes, mecânico;

— de ordem económica: minimização do custo global da canalização, tendo em conta o custo de instalação e os encargos de exploração;

— relativas às condições de instalação: espaço disponível, ao longo do percurso e nas extremidades, limitações eventuais, relativas às dimensões e peso do cabo, comprimentos possíveis para entrega, etc.;

— relativas ao tempo de execução da canalização: disponibilidade do cabo em «stock» ou tempo de fabricação do mesmo.

As páginas seguintes tratam da **escolha da secção, do ponto de vista eléctrico e térmico.** O caminho a seguir inclui as três etapas seguintes:

1 - Determinar a Intensidade a Transmitir, em Função das Características dos Receptores a Alimentar (Ver 2.2.1)

2 - Determinar as Secções Mínimas que Permitam Respeitar as Condições Seguintes

— **o aquecimento da alma condutora deve** ser compatível com o permitido pelo isolante escolhido:

- em serviço **normal:** o cálculo é, geralmente, baseado num serviço permanente ou contínuo (ver 2.2.2). Fornecemos, igualmente, algumas indicações relativas aos regimes de carga variável (ver 2.2.3).
- em caso de **curto-circuito** (ver 2.2.4).

— **a queda de tensão,** verificada na canalização eléctrica, deve permitir um correcto funcionamento do equipamento alimentado: ver 2.2.5 .

3 - Escolher a Maior Secção das Diversas Secções assim Obtida.

Um exemplo de cálculo da secção da alma, destinado a facilitar a compreensão deste capítulo, é apresentado na secção 2.2.6.

Além disso, várias indicações destinadas a abordar o problema da optimização económica da secção, de modo a permitir a sua resolução nos casos simples, figuram na secção 2.2.7 deste capítulo.

2.2.1 - Determinação da Intensidade a Transmitir em Regime Normal

Em corrente contínua: $I = \frac{P}{U}$ A (ampere)

P = Potência absorvida pelos receptores, W (watt)

U = Tensão de serviço entre os condutores positivo e negativo, vista do lado do receptor, V (volt)

Em corrente alternada:

— monofásica $I = \frac{S}{U}$ A (ampere)

— trifásica $I = \frac{S}{U\sqrt{3}}$ A (ampere)

S = Potência aparente absorvida pelos receptores, VA (voltampere).

U = Tensão de serviço vista do lado do receptor, V (volt)*:

- monofásica: entre os dois condutores de alimentação,
- trifásica: entre dois condutores de fase (tensão composta).

I e S são expressos no seu valor eficaz.

A este propósito, ver os gráficos 1 e 2.

As indicações seguintes precisam como determinar a potência absorvida, que será a potência aparente, no caso de corrente alternada, em função das potências dos receptores alimentados, cuja expressão pode apresentar-se sob várias formas.

1 - Potência Absorvida

Teremos em conta, na presente situação, os seguintes elementos:

— crescimento previsível das necessidades em energia, da instalação e extensões futuras;

— coeficientes máximos de utilização do receptor e de simultaneidade são de considerar, respectivamente, logo que se possa pôr como hipótese que:

- alguns receptores nunca serão utilizados à plena carga,
- todos os receptores nunca funcionam simultaneamente.

Temos então:

Potência absorvida total =

∑ Potência instalada x coefic. de utilização x coefic. de simultaneidade.

Os valores destes coeficientes são calculados, em cada caso particular, em função das hipóteses de exploração pretendidas ou por comparação com uma instalação, similar já existente;

— rendimento dos receptores.

Se um receptor é caracterizado pela sua potência útil, isto é, a potência que fornece

*Se a tensão puder tomar vários valores, por exemplo, devido à regulação no secundário dos transformadores, considera-se o valor mínimo susceptível de se atingir ao longo de um tempo prolongado.

geralmente após transformação de energia eléctrica (por exemplo, potência mecânica disponível no veio de um motor), temos:

$$\text{Potência absorvida} = \frac{\text{potência útil}}{\text{rendimento}}$$

O rendimento é usualmente fornecido pelo fabricante do receptor. Em caso da ausência de informações, consideram-se, em primeira aproximação, para o rendimento dos motores, os valores indicados no quadro 33.

Quadro 33 - Rendimento dos motores

Potência		Rendimento
em Kw	em cavalos	
0 a 15	0 a 20	0,75 a 0,85
15 a 37	20 a 50	0,85 a 0,90
37 a 75	50 a 100	0,90 a 0,92
> 75	> 100	> 0,92

2 - Potência Aparente (caso de corrente alternada)

Desde que um receptor comporte elementos indutivos ou capacitivos e é alimentado em corrente alternada, é introduzido um esfasamento, entre os valores instantâneos da tensão e da corrente, nos terminais do receptor. Distinguem-se, então, as seguintes potências:

— potência activa ou real = potência aparente x cos φ, expressa em W (watt) ou em CV (cavalos) (1 CV = 736 W). É a potência directamente explorada pelo receptor, isto é, transformada, por exemplo, em potência mecânica ou térmica;

— potência reactiva = potência aparente x sin φ, expressa em VAr (voltampere reactivo). Esta potência não é transformável, mas é necessária ao funcionamento do receptor, nomeadamente, para assegurar a excitação magnética dos transformadores ou dos motores.

Devido à sua natureza, é geralmente a potência activa que é conhecida. Obteremos, então, a potência aparente dividindo aquela por cos φ, chamado factor de potência do receptor.

— para os receptores puramente resistivos (resistências de aquecimento, lâmpadas de incandescência, ...) cos φ = 1;

— para os outros tipos de receptores, o cos φ é, geralmente, fornecido pelo fabricante.

Convém ter em conta o uso eventual de baterias de condensadores, destinadas a melhorar o factor de potência.

Os valores normalmente encontrados para cos φ são:

• iluminação fluorescente com compensação: cos φ = 0,85

sem compensação: cos φ = 0,30 a 0,60

• motores eléctricos em funcionamento normal: cos φ= 0,75 a 0,92

em vazio : cos φ = 0,30 a 0,50

Na ausência de indicações, é usual considerar : cos φ = 0,80.

Gráfico 1 - Potência aparente transportada em Baixa Tensão

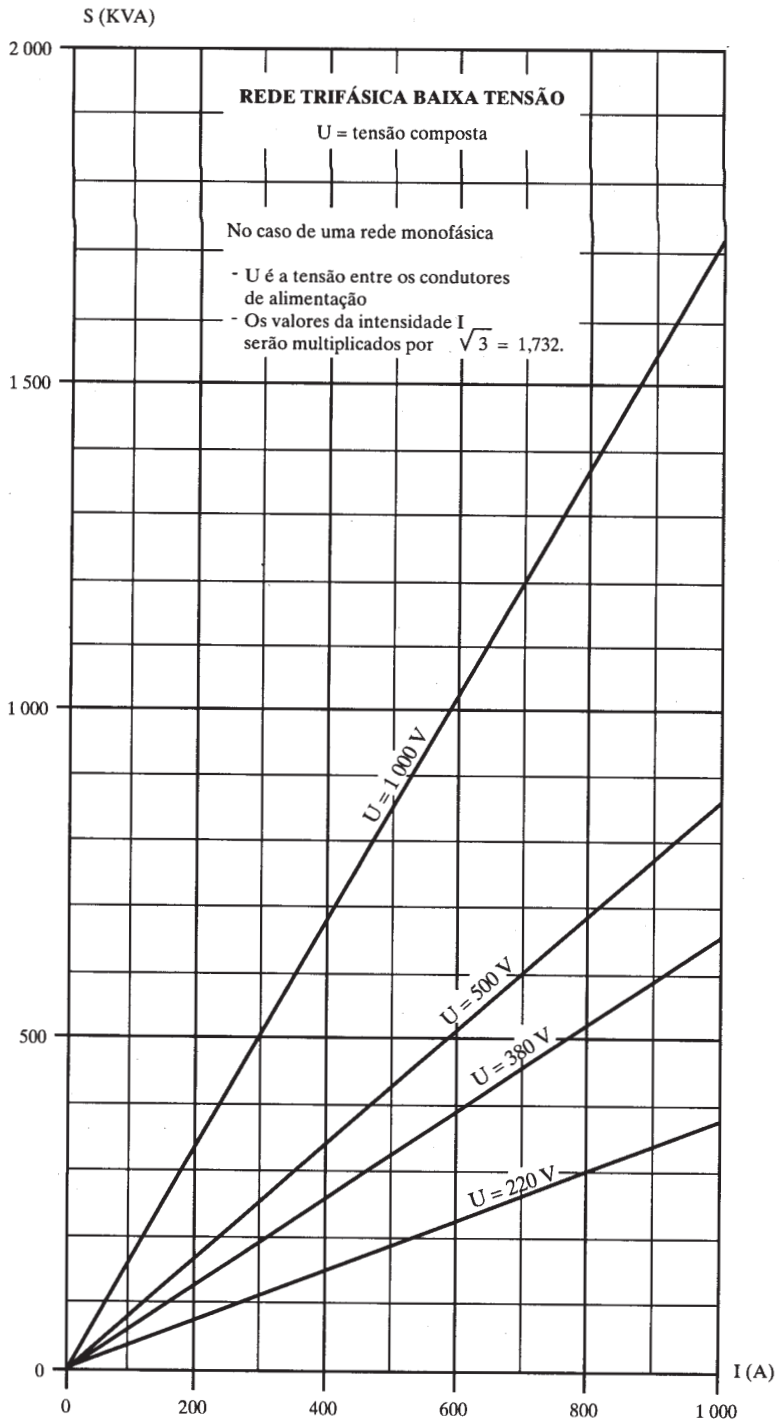
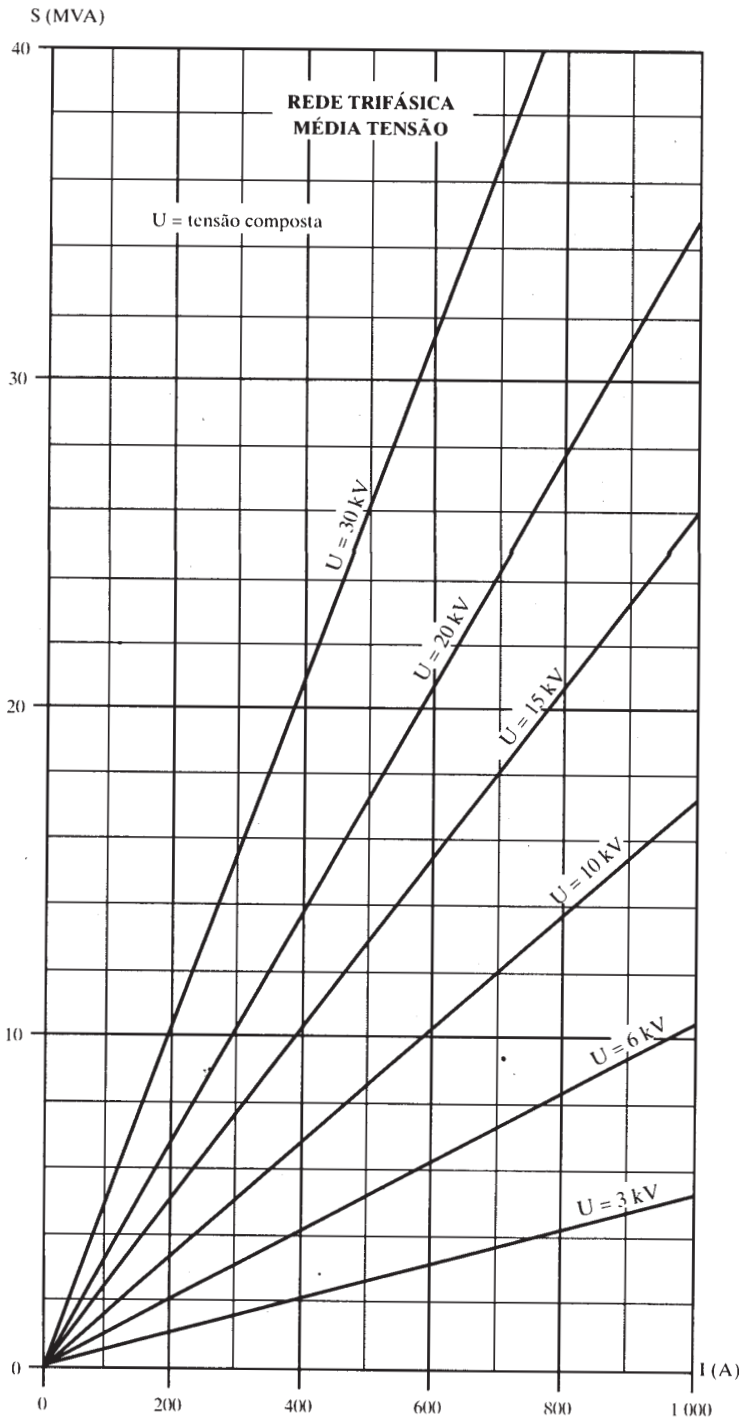


Gráfico 2 - Potência aparente transportada em Média Tensão



2.2.2 - Secção Necessária para o Aquecimento em Regime Permanente

1 - Introdução

A intensidade máxima admissível ou capacidade de transporte, em regime permanente, de uma canalização, é o valor da intensidade que provoca, no estado de equilíbro térmico, o aquecimento da alma dos condutores até ao valor máximo permitido. Depende, essencialmente, das condições de instalação e do local no qual se encontra instalada a canalização, já que estas determinam directamente a dissipação das perdas térmicas (ver capítulo III). As temperaturas máximas, admissíveis em regime normal, para os isolantes que usamos correntemente, estão indicadas no quadro 17.

As capacidades de transporte, dos condutores e cabos de potência que fabricamos, estão indicadas nos quadros de características correspondentes. Salvo indicação em contrário, elas são estabelecidas nas condições seguintes, que são as geralmente tomadas como referência pelos documentos de normalização portugueses:

— canalização única, sem aquecimento mútuo com outras canalizações colocadas nas proximidades;

— canalização alimentada em permanência:

  • em corrente contínua ou monofásica: cabos com dois condutores,

  • em corrente trifásica: cabos com três, quatro ou cinco condutores, ou sistema de três cabos unipolares juntos (terno);

— colocação da canalização:

  • no solo a uma profundidade de 0,80 m, a temperatura e a resistividade térmica, consideradas para o solo, são normalmente de 20 °C e 1 K.m/W respectivamente, (é de notar que a resistividade térmica se exprime também em °C.cm/W e a sua equivalência é: 1 K.m/W = 100°C.cm/W),

  • em tabuleiros ao ar livre, ao abrigo das radiações solares, numa temperatura ambiente de 30 °C.

Os quadros do capítulo V indicam as intensidades admissíveis nos condutores e cabos de baixa tensão de emprego comum.

2 - Método de Cálculo

Na prática, é normal que as condições de instalação e do local difiram das consideradas como referência, para as intensidades admissíveis indicadas nas tabelas de características. Daí o caminho a seguir é o seguinte:

— definir, de maneira precisa, as condições de instalação e do local previsto, não omitindo nenhum factor susceptível de ter uma influência determinante;

— calcular a intensidade fictícia se essas condições são diferentes das de referência.

A intensidade fictícia é aquela que causaria o mesmo aquecimento da alma condutora que a intensidade a transmitir, se a canalização estivesse instalada, nas condições consideradas nos quadros de características.

Obtém-se, dividindo a intensidade a transmitir pelos coeficientes de correcção sucessivos, que traduzem a influência das diferenças relativas às condições de instalação e do local *.

As páginas seguintes precisam a influência destes factores e indicam os coeficientes de correcção a considerar, na grande parte dos casos encontrados.

Se as condições não divergirem das de referência, a intensidade fictícia é igual à intensidade a transmitir:

— retirar, do quadro de características do condutor ou cabo escolhido, a menor secção que permite transportar a intensidade fictícia. Isto é considerado apenas para os condutores realmente percorridos pela corrente, em regime normal, portanto excluindo o condutor neutro, em regime trifásico equilibrado, e o de condutor de protecção.

3 - Coeficientes de Correcção

Cabos Colocados no Solo

As capacidades de transporte indicadas nos quadros de características dos cabos, entendem-se geralmente, para um cabo multipolar ou um terno de cabos unipolares, dispostos em triângulo juntivo (cabos encostados), colocados, quer directamente no solo, quer numa caleira de betão cheia de areia, a 0,80m de profundidade, com uma temperatura do solo igual a 20° C e resistividade térmica 0,85 ou 1 K.m/W (ver página 69), sem aquecimento mútuo com outras canalizações de potência colocadas nas proximidades.

Portanto, os principais coeficientes de correcção traduzem:

— quer uma temperatura ou uma resistividade térmica do solo diferentes das de referência;

— quer proximidade térmica com outras ligações.

A - Temperatura do Solo

A temperatura do solo, à profundidade de colocação deve ser estimada com uma precisão suficiente, tendo particularmente em conta as variações sazonais, assim como a presença eventual no solo, de fontes de calor que não sejam as canalizações eléctricas (por exemplo, condutas de água quente). Desde que isso seja

* Inversamente, a intensidade que uma dada secção pode transmitir, em condições diferentes das de referência obtém-se multiplicando a capacidade de transporte, indicada nos quadros de características, pelos coeficientes de correcção apropriados.

possível, é desejável que essa estimativa esteja baseada em resultados de medidas efectuadas durante um período suficientemente longo.

Desde que a temperatura do solo tenha um valor diferente de 20 °C haverá lugar à aplicação de um coeficiente dado por:

$$k = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_o}{\theta_p - 20}}$$

Com θ_p = temperatura máxima admissível, em regime permanente, para o isolante escolhido °C.

θ_o = temperatura do solo, °C.

O valor deste coeficiente está indicado, no quadro 34, para diferentes valores de θ_p e θ_o.

Quadro 34 - Valores para o coeficiente κ

Temperatura do solo θo, °C	Temperatura admissível na alma condutora em regime permanente θp, °C								
	65	70	75	80	85	90	95	100	105
0	1,20	1,18	1,17	1,16	1,14	1,13	1,13	1,12	1,11
5	1,16	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,10	1,09	1,09
10	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,07	1,07	1,06	1,06
15	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03	1,03	1,03
20	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97	0,97	0,97
30	0,88	0,89	0,91	0,91	0,92	0,93	0,93	0,94	0,94
35	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89	0,89	0,90	0,91
40	0,75	0,78	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86	0,87	0,87
45	0,67	0,71	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82	0,83	0,84
50	0,58	0,63	0,67	0,71	0,73	0,76	0,78	0,79	0,80

B - Profundidade de Colocação

A determinação da influência da profundidade de colocação, sobre a intensidade admissível, é delicada.

Por outro lado, a resistência térmica exterior, teórica, do cabo cresce com a profundidade, o que corresponde a uma diminuição da capacidade de transporte. Por outro lado, desde que a profundidade aumente, a temperatura do solo diminui e está menos sujeita às variações sazonais. Além disso, a humidade e a compacticidade do solo aumentam, o que se traduz por uma diminuição na resistividade térmica.

Podemos considerar que, a influência da profundidade de colocação é desprezável, no domínio de 70 a 120 cm, que é, geralmente, o usado. Para os cabos enterrados, perto da superfície do solo, a influência da temperatura torna-se importante. Devemos muitas vezes considerar, uma temperatura do solo superior a 20 °C, e então corrigir a intensidade a transportar em conformidade com o quadro acima.

C - Resistividade Térmica do Solo

É um elemento importante, na capacidade de transporte dos cabos enterrados, mas cujo valor é, por vezes, difícil de avaliar com precisão.

Com efeito, depende de numerosos factores, em particular da resistividade própria dos materiais que constituem o solo, e principalmente, da sua humidade. Esta é função:

— da constituição do terreno: natureza dos materiais, granulometria, compactagem;

— do nível do lençol freático;

— da estação e das condições locais de precipitação;

— do tipo e da densidade de vegetação;

— das características da superfície do solo (por exemplo, revestimento de asfalto ou de cimento).

A humidade é, além disso, susceptível de variar ao longo do tempo, em função da progressiva secagem do solo, devida ao calor libertado pela canalização eléctrica, principalmente, se estiver permanentemente em carga. A migração da humidade é tanto mais rápida e importante quanto mais fina for a granulometria do solo (areia por exemplo).

Em função destes diferentes factores, a resistividade térmica do solo pode variar, tal como o provam os valores indicados a seguir:

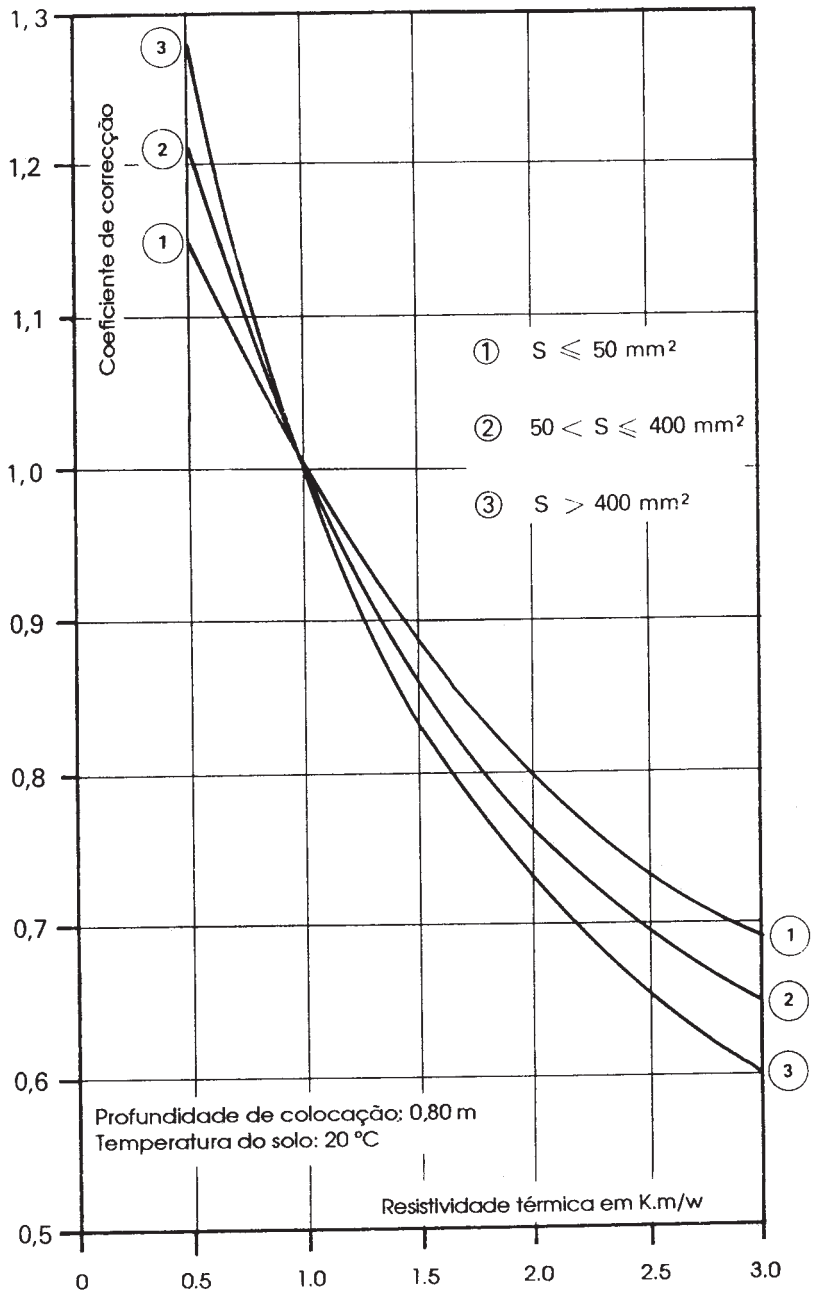
- terreno muito húmido : 0,4 a 0,5 K.m/W,
- areia húmida : 0,5 a 0,7 K.m/W,
- calcário argila: terreno normal seco : 0,7 a 1,0 K.m/W,
- terreno muito seco : 1,5 K.m/W,
- areia seca : 2,0 a 2,5 K.m/W,
- cinzas, escória : 3,0 K.m/W.

Durante o cálculo de canalizações que irão transportar potências importantes e, além disso, se é previsível a proximidade com outras fontes térmicas, é aconselhável efectuar uma medição, da resistividade térmica do solo, por um organismo especializado. Esta medição pode efectuar-se, no local ou em laboratório, com amostras nas quais é possível fazer variar a taxa de humidade.

Em certos casos, em que a resistividade térmica do solo é muito desfavorável, poderemos ser levados a substituir o terreno original, por materiais de características térmicas controladas e mais vantajosas. Em função das várias situações, esta medida é necessária durante a cobertura da zona, na proximidade imediata dos cabos, onde a influência do solo é preponderante.

O coeficiente de correcção a aplicar no cálculo da intensidade fictícia, depende, em particular, da dimensão exterior do cabo. Podemos, entretanto, considerar, com uma boa aproximação, os valores médios dados pelo gráfico 3.

Gráfico 3 - Coeficiente de Correcção para uma Resistividade Térmica do Solo Diferente de 1 K.m/W



D - Proximidade Térmica com outras Canalizações de Potência

A consideração deste fenómeno, quando existe, é primordial para assegurar uma escolha apropriada da secção. Depende:

— das características das canalizações colocadas na proximidade da canalização em estudo, incluindo, eventualmente, o número de cabos colocados em paralelo, tipos, secções e dimensões dos mesmos, bem como intensidades transmitidas;

— da disposição relativa das canalizações nos locais onde mais se aproximam;

— das características térmicas do solo.

Podemos desprezar o aquecimento mútuo entre várias canalizações, colocadas lado a lado, se o intervalo entre elas for pelo menos igual a um metro. É prática corrente dispor as canalizações que estão colocadas num mesmo percurso, em esteira horizontal, com uma distância de 20 cm entre os bordos mais próximos de duas canalizações vizinhas (cabo multipolar ou terno de cabos unipolares). Esta distância constitui um compromisso que permite limitar:

— a largura da vala e portanto o custo das obras de engenharia civil;

— o aquecimento mútuo;

— os riscos de deterioração, das canalizações vizinhas, durante a colocação ou em caso de acidente.

Por razões económicas, não podemos, geralmente, espaçar os cabos mais de 30 a 50 cm, sobretudo quando se trata de uma esteira importante, já que obteríamos larguras das valas proibitivas. No entanto, em certos casos, é necessário um estudo económico, tendo em conta o melhoramento do coeficiente de proximidade com o afastamento dos cabos.

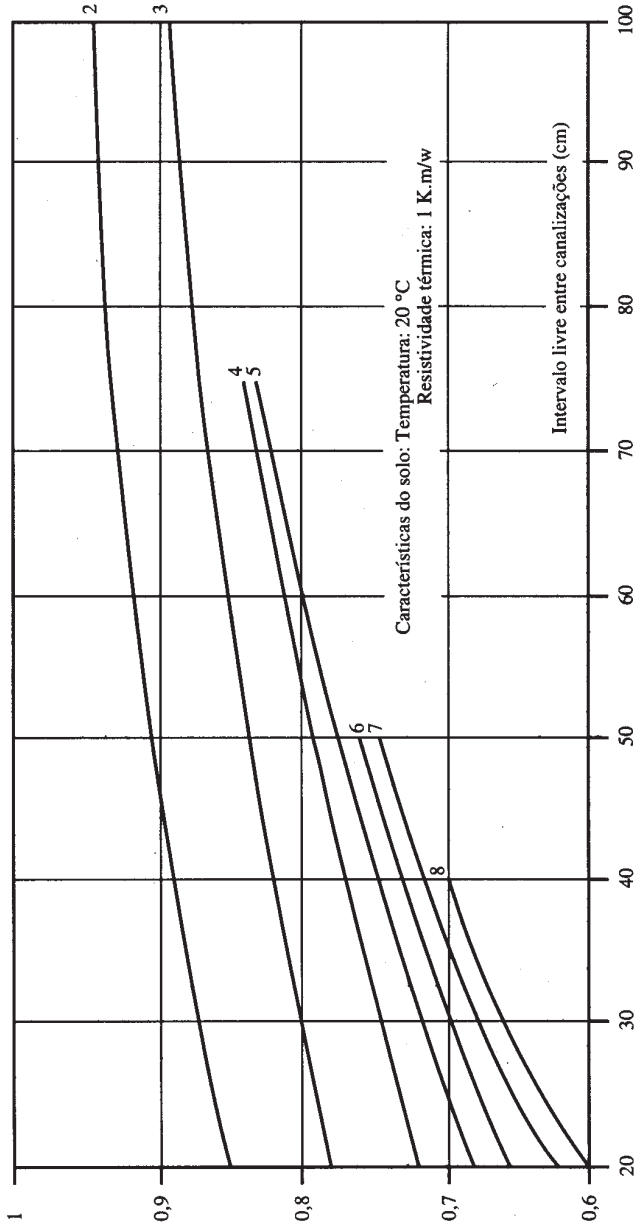
Indicamos, no quadro seguinte, o valor do coeficiente de correcção correspondente à colocação, em uma só esteira*, de vários cabos tripolares ou ternos de cabos monopolares idênticos, dispostos em triângulo juntivo, em função do intervalo livre deixado entre os bordos mais próximos de duas canalizações vizinhas. Considera-se um funcionamento em simultâneo e à plena carga, para todas as canalizações da esteira, o que dá uma certa margem de garantia. Os coeficientes são valores médios que podem, todavia, ser usados com uma boa aproximação na maior parte dos casos, geralmente, encontrados.

Desde que seja necessário um cálculo mais preciso, por exemplo, no caso de canalizações com especificações diversas ou com cargas de diferentes valores ou quando existem diferentes espaçamentos entre elas, o método descrito na publicação 60287 da CEI deverá ser utilizado.

*É desaconselhável a colocação dos cabos em várias camadas sobrepostas. Esta disposição é sempre desfavorável do ponto de vista térmico.
Torna, além disso, delicada toda a intervenção posterior sobre os cabos.

Gráfico 4 - Coeficiente de Correcção para a colocação em Esteiras de Canalizações Trifásicas

(Cabos Tripolares ou Ternos de Cabos Unipolares)



Os números que figuram no fim de cada curva designam o número de canalizações colocadas em esteira.

Cabos Colocados ao Ar Livre

As capacidades de transporte, indicadas nos quadros de características de cabos, entendem-se, salvo indicação contrária, para:

— um cabo multipolar ou terno de cabos unipolares juntivos, colocados na superfície do solo, ou em suportes (tabuleiros, caminhos de cabos ...), ou fixos nas paredes, ao abrigo da radiação solar e sem aquecimento mútuo com outras canalizações situadas nas proximidades;

— uma temperatura máxima do ar livre de 30 °C.

A noção de «ar livre» significa, além disso, que as perdas térmicas são dissipadas, por convecção natural e irradiação, sem provocar aquecimento do ar ambiente. Isto supõe naturalmente:

— que o volume de ar e a ventilação natural são suficientes;

— que a circulação à volta dos cabos não é dificultada (prever, de preferência, o uso de tabuleiros perfurados, e deixar um intervalo de pelo menos 2 cm, em relação às paredes);

Os principais coeficientes de correcção a calcular traduzem, portanto:

— uma temperatura do ar ambiente diferente de 30 °C;

— exposição à radiação solar;

— proximidade térmica entre canalizações, ou entre espiras de uma mesma canalização enrolada num tambor;

— o confinamento do ar na vizinhança dos cabos (galeria de pequenas dimensões, caleira de betão).

A - Temperatura do Ar Ambiente

Deve ser calculada, tendo em conta quer as variações diárias quer as sazonais, assim como a presença eventual de fontes de calor no local da instalação.

O coeficiente de correcção, a aplicar desde que a temperatura do ar seja diferente de 30 °C, é dado por:

$$k = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_o}{\theta_p - 30}}$$

Com θ = temperatura máxima admissível em regime permanente para o isolante escolhido, °C

θ_o = temperatura do ar, °C.

O valor deste coeficiente está indicado no quadro seguinte, para diferentes valores de θ_p e θ_o.

Quadro 35 - Valores para o coeficiente κ

Temperatura do ar ambiente θo, °C	Temperatura admissível na alma condutora em regime permanente θp, °C								
	65	70	75	80	85	90	95	100	105
0	1,36	1,32	1,29	1,27	1,24	1,23	1,21	1,20	1,18
5	1,31	1,28	1,25	1,23	1,21	1,19	1,18	1,17	1,16
10	1,25	1,23	1,20	1,18	1,17	1,16	1,14	1,13	1,13
15	1,20	1,17	1,16	1,14	1,13	1,12	1,11	1,10	1,10
20	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07	1,07	1,07
25	1,07	1,06	1,05	1,05	1,04	1,04	1,04	1,04	1,03
30	1	1	1	1	1	1	1	1	1
35	0,93	0,94	0,94	0,95	0,95	0,96	0,96	0,96	0,97
40	0,85	0,87	0,88	0,89	0,90	0,91	0,92	0,93	0,93
45	0,76	0,79	0,82	0,84	0,85	0,87	0,88	0,89	0,89
50	0,66	0,71	0,75	0,78	0,80	0,82	0,83	0,85	0,86
55	0,54	0,61	0,67	0,71	0,74	0,76	0,78	0,80	0,82
60	0,38	0,50	0,58	0,63	0,67	0,71	0,73	0,76	0,78
65		0,35	0,47	0,55	0,60	0,65	0,68	0,71	0,73
70			0,33	0,45	0,52	0,58	0,62	0,66	0,68
75				0,32	0,43	0,50	0,56	0,60	0,63
80					0,30	0,41	0,48	0,54	0,58
85						0,29	0,40	0,46	0,52
90							0,28	0,38	0,45
95								0,27	0,37
100									0,26

B - Exposição à Radiação Solar

O coeficiente de correcção correspondente depende da intensidade da radiação solar, da carga do cabo, da sua superfície de exposição, da reflexão eventual, etc. Pode considerar-se, em primeira aproximação, um coeficiente médio de K = 0,85.

Desde que seja necessário um cálculo preciso, podemos aplicar o método descrito na publicação 60 287 da CEI, que permite definir a intensidade admissível num cabo instalado ao ar livre e sujeito directamente à radiação solar.

Muitas vezes, é possível proteger os cabos da acção dos raios solares, pela interposição, por exemplo, de coberturas judiciosamente inclinadas, tendo o cuidado de que isso não provoque o confinamento do ar à volta dos cabos.

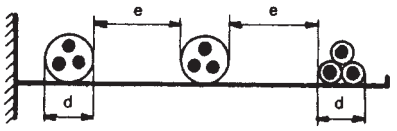
C - Proximidade Térmica com outras Canalizações de Potência

É aconselhável, do ponto de vista térmico, prever um intervalo livre entre canalizações adjacentes, a fim de permitir a circulação do ar. Além de assegurar aos cabos a possibilidade de efectuar movimentos de dilatação ou de contracção sucessivos, durante os ciclos de carga, favorece em larga medida a manipulação dos cabos durante a colocação ou em intervenções posteriores.

Considera-se que o aquecimento mútuo é desprezável, se o intervalo livre deixado entre canalizações adjacentes é superior a duas vezes o diâmetro exterior de um cabo multipolar, ou duas vezes a largura de um sistema de cabos unipolares.

Canalizações Colocadas à Superfície do Solo ou em Tabuleiros

• Canalizações não juntivas,



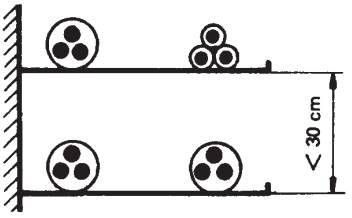
e≥2d K=1

• Canalizações Juntivas,

Quadro 36 - Coeficiente de Correcção K

Número de cabos multipolares ou de ternos de monopolares	1	2	3	4	5	6	7	8	> 9
Colocação em pranchas ou tabuletas não perfuradas	1,0	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70
Colocação no tecto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61
Colocação em tabuleiro perfurado	1,0	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72
Colocação em consola	1,0	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78

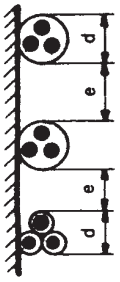
— Tabuleiros Sobrepostos



Considera-se que o aquecimento mútuo é desprezável (K = 1), se a distância entre tabuleiros é de pelo menos 30 cm. Este valor corresponde, além disso ao espaço que, na maior parte dos casos, permite uma manipulação fácil dos cabos. Se a distância entre tabuleiros é inferior a 30 cm, aplica-se um coeficiente de correcção K = 0,9

— Canalizações Fixas nas Paredes

• Não juntivas,



e≥2d K=1

• Juntivas.

Quadro 37 - Coeficiente de Correcção K

Número de cabos multipolares ou de ternos de monopolares	1	2	3	4	5	6	7	8	> 9
Colocação na parede	1,0	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70
Colocação em tabuleiro	1,0	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72

Canalizações Flexíveis para Alimentação de Aparelhos Móveis

• «Chariot» porta cabos

Quadro 38 - Coeficiente de Correcção K

Número de cabos colocados, juntivamente, no «chariot»	2	3	4	5
Coeficiente de correcção	0,94	0,88	0,87	0,86

• Tambor de um enrolador

Em função do número de camadas e de espiras.

Quadro 39 - Coeficiente de Correcção K

Tambor com uma só espira	
Número de camadas	Coeficiente de correcção
1	1,00
2	0,88
3	0,80
4	0,76
5	0,75
6	0,74
7	0,73
8	0,73
9	0,72
10	0,71
11	0,70
12	0,69
13	0,68
14	0,68
15	0,67

Tambor com várias espiras		
Número de camadas	Número de espiras juntivas	Coeficiente de correcção
1	1	1,00
	2	0,94
	3	0,88
	4	0,87
	5	0,86
	6	0,85
	7 e mais	0,85
2	1 camada completa +	
	1	0,84
	2	0,76
	3	0,71
	4	0,68
	5	0,66
	6 e mais	0,66
3	2 camadas completas +	
	1	0,61
	2	0,60
	3	0,59
	4	0,55
	5	0,53
	6 e mais	0,53

Notas:

— Desde que o número de camadas, num tambor com várias espiras, seja igual a 3, os coeficientes de correcção tendem para o valor 0,45;

— Durante o funcionamento do cabo em regime cíclico, é conveniente consultar a página 84, para estimar judiciosamente a secção desse cabo.

D - Confinamento do Ar na Vizinhança do Cabo

Desde que o volume de ar, que rodeia um cabo, seja reduzido, produz-se um aquecimento do ar, sob a acção das perdas térmicas dissipadas. É o caso das canalizações colocadas no interior de galerias técnicas de pequenas dimensões, não ventiladas, ou as caleiras de betão que existem, frequentemente nas fábricas, à superfície do solo, munidas de uma cobertura.

O aumento da temperatura do ar, acima do valor considerado na ausência dos cabos e, por consequência, a redução da intensidade admissível, dependem, essencialmente, da razão entre o volume de ar existente no canal e a soma das perdas térmicas.

Poderemos, em primeira aproximação, aplicar à intensidade o coeficiente de correcção definido a seguir, em função do «coeficiente de ocupação do canal.»

$$\text{coeficiente de ocupação} = \frac{p}{\sum d}$$

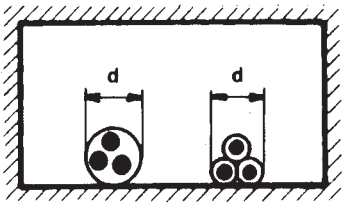
— p (cm) = parte do perímetro do canal que participa na dissipação do calor para o meio envolvente. Devemos, nomeadamente, excluir as paredes vizinhas de fontes de calor, ou locais aquecidos, ou expostos à radiação solar directa;

— $\sum d$ (cm) = soma dos diâmetros das canalizações que se encontram no canal.

O atravancamento de uma canalização é:

— o diâmetro exterior para um cabo multipolar;

— duas vezes o diâmetro exterior de um cabo para um terno de unipolares.



Quadro 40 - Coeficiente de Correcção K

Coeficiente de ocupação	5	7	10	15	20	30	50
Coeficiente de correcção K, relativamente à colocação no ar livre	0,60	0,66	0,72	0,80	0,85	0,90	0,92

Desde que se mostre necessário um cálculo mais preciso, poderá o mesmo ser efectuado, por exemplo, segundo o método descrito na publicação 60287 CEI na qual:

$$\Delta\theta = \frac{W}{3p}$$

$\Delta\theta$ = aquecimento do ar acima do ambiente, (°C),

W = potência total dissipada no canal, por metro de comprimento, (W/m),

p = parte do perímetro que participa na dissipação do calor, (m).

O coeficiente de correcção é, em seguida, determinado, em conformidade com o quadro 35, em função da temperatura do ar assim considerada.

Muitas vezes, é possível reduzir, em certa medida, o efeito desfavorável do confinamento, activando a ventilação natural do canal, por meio de dispositivos apropriados, por exemplo: chaminés de ventilação, com alturas desiguais, fecho das caleiras de betão com grades, etc. Em alguns casos, poderá ser mesmo necessário provocar uma ventilação forçada permanentemente, desde que as perdas térmicas não possam ser evacuadas pela dissipação natural.

Cabos Entubados

Por imperativos de colocação, é, muitas vezes, interessante ou mesmo necessário instalar os cabos no interior de tubos. Portanto, desde que o comprimento da passagem em tubos ultrapasse poucos metros, o confinamento do ar nos tubos pode originar uma diminuição não desprezável da capacidade de transporte.

Além dos coeficientes de correcção, indicados mais adiante, teremos em conta as seguintes indicações:

— Sistemas de Cabos Unipolares

No caso do emprego de tubos metálicos, magnéticos, é indispensável colocar todas as fases no interior de um mesmo tubo, a fim de evitar perdas magnéticas proibitivas. Uma tal disposição corresponde a condições térmicas desfavoráveis e pode tornar delicada a colocação, de comprimentos importantes, de cabos de grandes dimensões.

Pelo contrário, com tubos em material não magnético (termoplástico, fibro-cimento, etc), é preferível, do ponto de vista mecânico e térmico, colocar cada fase no interior de um tubo individual*.

* Se os tubos estão colocados no interior de um maciço de betão armado, as ferragens deste não devem fechar-se à volta de um único cabo, mas sobre o conjunto das fases, a fim de se evitarem perdas magnéticas suplementares.

Além disso, o efeito desfavorável do confinamento do ar pode ser combatido através de um espaçamento apropriado entre os tubos, permitindo uma diminuição do aquecimento mútuo entre as fases.

Assim para as travessias de ruas, por parte de ternos de cabos monopolares MT e AT, geralmente executadas por meio de tubos termoplásticos individuais, considera-se que não há redução da intensidade admissível, relativamente à parte restante da canalização enterrada, se deixarmos uma distância entre os eixos dos tubos de:

— 30 cm se os tubos estão dispostos em esteira;

— 35 cm se os tubos estão dispostos em triângulo.

— Cabos Multipolares

A redução da intensidade admissível é sensivelmente a mesma, quer seja um tubo metálico ou um tubo amagnético de material termoplástico, ou fibrocimento. Com efeito, se a ausência das perdas térmicas, nestes últimos, é um elemento favorável, os tubos metálicos oferecem, por sua vez, uma menor resistência à dissipação do calor, já que a sua espessura é, geralmente, inferior e a resistividade térmica dos metais é baixa.

A diminuição da capacidade de transporte depende de vários factores: secção da alma, temperatura admissível para o isolante, natureza e dimensões do tubo, etc.

Os coeficientes de correcção indicados a seguir são valores médios, permitindo uma avaliação aproximada do fenómeno.

Quadro 41 - Coeficiente de Correcção para uma Canalização Trifásica Entubada

Natureza da canalização	Terno de cabos unipolares		Cabo tripolar
	1 cabo por tubo amagnético	3 cabos no mesmo tubo	
Razão entre Ø interior do tubo / Ø de um cabo	≥ 1,5	2,5 < R < 2,8	≥ 1,5
Tubos enterrados ou colocados no interior de um maciço de betão Coeficiente de correcção relativamente à colocação no solo	0,95	0,85	0,80
Tubos ao ar Coeficiente de correcção relativamente à colocação ao ar livre			
$S \leq 150$ mm²		0,80	0,75
150 < $S \leq 630$ mm²		0,73	0,70
$S \leq 630$ mm²		0,68	

Proximidade Térmica entre Canalizações

Se for caso disso, convém aplicar, além dos coeficientes indicados no quadro anterior, os coeficientes de correcção seguintes:

Quadro 42 - Várias canalizações trifásicas num mesmo tubo

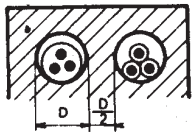
Número de canalizações no mesmo tubo	2	3
Ternos de cabos unipolares.....	0,82	0,73
Cabos tripolares.....	0,88	0,78

— proximidade térmica entre tubos, enterrados ou no interior de um maciço de betão

Os valores a seguir são considerados para um intervalo entre tubos igual ao seu raio.

Quadro 43 - Um Sistema Trifásico por Tubo

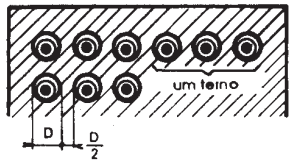
(cabo tripolar ou terno)



Número de tubos sobrepostos	Número de tubos colocados lado a lado					
	1	2	3	4	5	6
1	1	0,87	0,77	0,72	0,68	0,65
2	0,87	0,71	0,62	0,57	0,53	0,50
3	0,77	0,62	0,53	0,48	0,45	0,42
4	0,72	0,57	0,48	0,44	0,40	0,38
5	0,68	0,53	0,45	0,40	0,37	0,35
6	0,65	0,50	0,42	0,38	0,35	0,32

Quadro 44 - Um Cabo Unipolar por Tubo

(amagnético)



Número de tubos sobrepostos	Número de tubos colocados lado a lado					
	1	2	3	4	5	6
1	1	0,88	0,79	0,74	0,71	0,69
2	0,88	0,73	0,65	0,61	0,57	0,56
3	0,79	0,65	0,56	0,52	0,49	0,47
4	0,74	0,60	0,52	0,49	0,46	0,45
5	0,71	0,57	0,50	0,47	0,44	0,42
6	0,68	0,55	0,48	0,45	0,42	0,40

2.2.3 - Secção Necessária para o Aquecimento em Regime Variável

1 - Introdução

A determinação da secção necessária, desde que a carga aplicada a uma canalização seja variável no tempo, depende de numerosos factores, muitas vezes difíceis de definir, relativos, em particular, às condições de dissipação das perdas térmicas em regime transitório, no cabo e no meio envolvente. A secção não poderá, por isso, ser calculada através de um método simples e de âmbito geral. As indicações dadas, a seguir, destinam-se principalmente a precisar o problema e a permitir, em certos casos simples, um cálculo aproximado da secção.

A variação da carga numa canalização pode assumir duas formas:

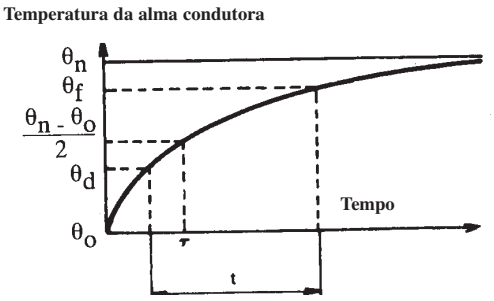
— **regime cíclico ou descontínuo:** variação da intensidade ao longo do tempo, segundo um ciclo determinado que se repete periodicamente, o qual podemos representar por um diagrama de cargas;

— **sobrecarga:** aumento da intensidade para além do valor máximo admissível em regime permanente, durante um tempo limitado. Não consideramos o caso dos curto-circuitos, que são situações acidentais de muita curta duração (≤ 5 s), tratados no ponto 4 da secção 2.2.3.

Nestes dois casos, é possível escolher uma secção inferior àquela que seria necessária para transmitir, em permanência, a intensidade de ponta do regime cíclico ou intensidade de sobrecarga, já que o aquecimento dos cabos não segue, instantaneamente, as variações de intensidade.

2 - Lei do Aquecimento de um Cabo

A sua determinação rigorosa é difícil, devido à complexidade do fenómeno da dissipação do calor, em regime transitório, e ao facto de que na prática, certos parâmetros só podem ser definidos com rigor, depois do cabo colocado nas condições próprias de instalação e do meio envolvente. Entre as possíveis representações simplificadas, a mais simples que permite, contudo, uma estimativa muito aproximada do fenómeno, consiste em representar o aquecimento da alma condutora, sob o efeito de uma intensidade constante, por um ramo de hipérbole:



$$\theta(t) - \theta_o = (\theta_n - \theta_o)\frac{t}{\tau + t}$$

θ_o = temperatura ambiente,

θ_n = temperatura alcançada no estado de equilíbrio para a intensidade considerada,

τ = tempo necessário para atingir 50% do aquecimento correspondente ao regime permanente. Depende, essencialmente, das condições de difusão do calor no cabo e da sua dissipação no meio envolvente.

A lei do aquecimento permite obter desta maneira a temperatura da alma θ_f devida à aplicação de uma intensidade dada, durante uma duração t, a partir de um estado inicial no qual a temperatura da alma é θ_d.

3 - Regime Cíclico

A - Princípio de Determinação da Secção

Consiste em estabelecer a curva de variação da temperatura da alma condutora, a partir do diagrama de cargas e das curvas de aquecimento, correspondentes às diferentes intensidades em jogo, permitindo assim verificar que a temperatura da alma condutora permanece compatível com a temperatura máxima admissível para o isolante escolhido.

B - Método Aproximado

Uma primeira aproximação da secção poderá ser obtida com a ajuda daquilo que podemos definir como intensidade quadrática. Esta é a intensidade fictícia cujo transporte em permanência provocaria, durante um ciclo completo, sensivelmente as mesmas perdas térmicas que o regime de carga em estudo, sendo dada por:

$$I_q = \sqrt{\frac{\Sigma I_i^2 t_i}{\Sigma t_i}}$$

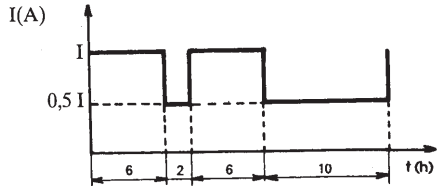
O $\mathbf{I}_i$ e $\mathbf{t}_i$ são respectivamente as intensidades e as durações correspondentes aos períodos sucessivos do ciclo.

A secção é calculada a partir de I_q, como indicado no ponto 2 da secçao 2.2.2.

C - Exemplo: regime cíclico diário

ao ar livre: $I = I_p$

no solo: $I \simeq 1{,}10 I_p$



I - intensidade admissível à plena carga do regime cíclico,

I_p - intensidade admissível em regime permanente.

4 - Sobrecarga

Princípio de cálculo: com a ajuda da lei do aquecimento correspondente à intensidade de sobrecarga, determina-se, a partir da temperatura da alma antes da aplicação da sobrecarga, a temperatura atingida no final da mesma. Esta não poderá ultrapassar o valor máximo admissível para o isolante.

Se admitirmos, como aproximação da lei do aquecimento, o ramo de hipérbole definido atrás, os vários parâmetros estão ligados pela seguinte relação:

$$\frac{t_S}{\tau} = \frac{(\theta_s - \theta_o)\,(\theta_f - \theta_d)}{(\theta_s - \theta_f)\,(\theta_s - \theta_d)}$$

t_S = duração da sobrecarga admissível, (minutos),

τ = tempo que demora a atingir 50% do aquecimento permanente, (minutos),

θ_d = temperatura da alma antes da sobrecarga, (°C),

θ_f = temperatura admissível na alma no final da sobrecarga, (°C),

θ_s= temperatura da alma correspondente à transmissão em permanência da intensidade de sobrecarga, (°C),

θ_o = temperatura ambiente, (°C).

Distinguem-se:

A - Sobrecargas Frequentes

Não se pode admitir uma temperatura da alma, no final de uma sobrecarga, superior ao valor admissível em regime permanente. Uma sobrecarga só é possível desde que o cabo esteja submetido, antes da sobrecarga, a uma carga inferior à admitida em permanência. Os quadros seguintes permitem calcular a intensidade de sobrecarga admissível, em função de diferentes valores da carga inicial e da duração da sobrecarga.

Observações: Os resultados que se apresentam a seguir são valores médios. O valor de τ varia em função da constituição e secção dos cabos e das suas condições de instalação (τ tem um valor geralmente compreendido entre 10 e 100 minutos). Por outro lado, supõe-se que, o intervalo de tempo, que separa duas sobrecargas sucessivas, é suficiente para que o cabo regresse ao estado de equilíbrio térmico correspondente à carga inicial (aproximadamente um dia).

Notações:

$\mathbf{I}_d$ = intensidade transportada em regime permanente antes da sobrecarga (A),

$\mathbf{I}_p$ = intensidade máxima admissível em regime permanente (A),

$\mathbf{I}_s$ = intensidade de sobrecarga admissível (A).

Quadro 45 - Cabos no Solo à Temperatura de 20 °C

$\frac{I_d}{I_p}$	$\frac{I_s}{I_p}$ em função da duração da sobrecarga							
	30 mn	45 mn	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h
25%	1,40	1,29	1,22	1.12	1,08	1,06	1,05	1,04
50%	1,37	1,27	1,21	1,11	1,08	1,06	1,05	1,04
75%	1,30	1,22	1,18	1,10	1,07	1,06	1,05	1,04
90%	1,21	1,16	1,13	1,08	1,06	1,05	1,04	1,03

Quadro 46 - Cabos ao Ar Livre à Temperatura de 30 °C

$\frac{I_d}{I_p}$	$\frac{I_s}{I_p}$ em função da duração da sobrecarga							
	30 mn	45 mn	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h
25%	1,71	1,51	1,41	1.22	1,15	1,12	1,10	1,08
50%	1,65	1,47	1,37	1,21	1,15	1,11	1,09	1,08
75%	1,50	1,38	1,30	1,18	1,13	1,10	1,08	1,07
90%	1,34	1,26	1,21	1,13	1,10	1,08	1,07	1,06

B - Sobrecargas Excepcionais (algumas por ano)

Podemos, neste caso, admitir que a alma atinja uma temperatura superior à admitida em regime permanente, sem ser de recear, no entanto, um envelhecimento prematuro do isolante. A majoração da temperatura permitida, que depende, essencialmente, do isolante escolhido e da duração da sobrecarga prevista, deverá ser calculada em cada caso particular. O cálculo da secção é, então, efectuado em função disso.

2.2.4 - Secção Necessária para o Aquecimento em Caso de Curto-Circuito

1 - Introdução

Em caso de curto-circuito, os cabos veiculam uma intensidade muito mais elevada que a sua capacidade de transporte em regime permanente. O tempo de passagem desta intensidade, correspondente ao tempo necessário ao corte pelos dispositivos de protecção da rede, é, no entanto, muito curto, não ultrapassando, no máximo, alguns segundos. Podemos, então, admitir que a alma seja levada a uma temperatura substancialmente superior àquela que é autorizada em regime normal, sem prejuízo para o isolante. As temperaturas máximas admissíveis são geralmente fixadas pelos documentos de normalização e figuram no quadro 17 para os diferentes isolantes que utilizamos.

O problema do comportamento em regime de curto-circuito levanta-se, com maior frequência, nas canalizações de média e alta tensão, nas quais a intensidade de defeito a veicular poderá ser particularmente elevada. Em baixa tensão, as condições de curto-circuito são geralmente menos severas, em virtude da redução da intensidade provocada pela impedância de todos os elementos da rede, colocados a montante do local do defeito (linhas aéreas, cabos, transformadores, ...).

2 - Método de Cálculo

Devido à curta duração dos curtos-circuitos, admite-se que as perdas térmicas originadas durante o defeito, só provocam o aquecimento da alma e que a dissipação progressiva das mesmas, para o resto do cabo e o meio envolvente, só acontece posteriormente. Esta hipótese (aquecimento adiabático) permite o cálculo da densidade de corrente admissível da alma, em função da duração do curto-circuito e das temperaturas limites.

A secção a escolher é o valor normalizado imediatamente superior a:

$$s = \frac{I_{cc}}{\delta}$$

$\mathbf{I_{cc}}$ = intensidade de curto-circuito a transmitir (A),

δ = densidade de corrente admissível (A/mm^2).

O gráfico seguinte indica o valor δ_o para uma duração do curto-circuito igual a um segundo, em função da:

— natureza do metal condutor;

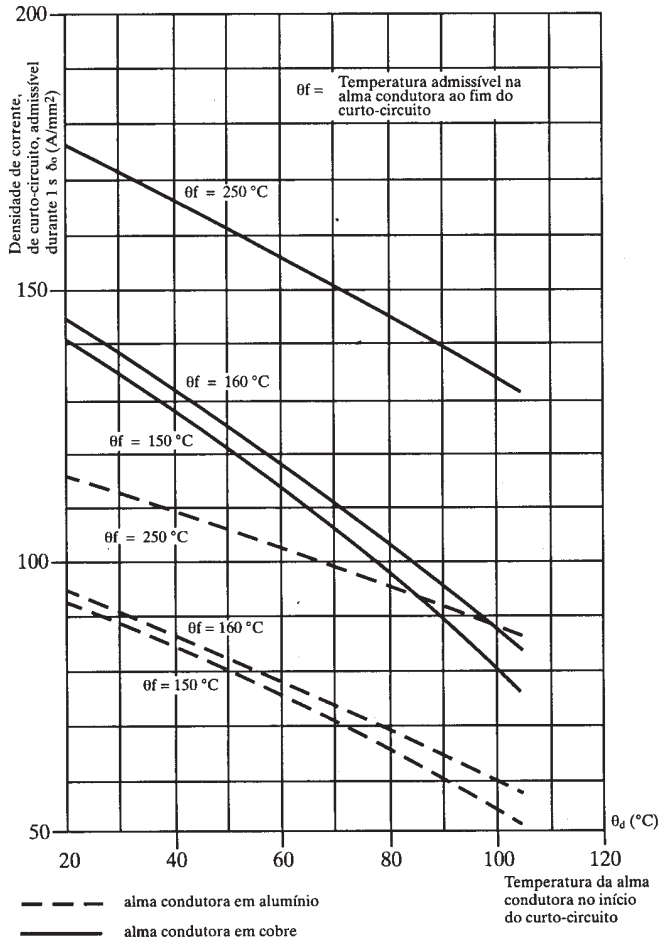
— temperatura da alma antes do curto-circuito. Este valor poderá ser determinado, em função da carga da canalização, como se indicam nos gráficos 15 e 16;

— temperatura máxima admissível, para o isolante considerado, no final do curto-circuito (quadro 17).

Se a duração do curto-circuito t (segundos) é diferente de um segundo, sem, no entanto, exceder 5 segundos, o valor correspondente da densidade da corrente pode ser obtido por:

$$\delta = \frac{\delta_o}{\sqrt{t}}$$

Gráfico 5 - Curto-Circuito na Alma Condutora



3 - Método Aproximado

Uma boa aproximação da secção poderá ser obtida pela expressão:

$$S = \frac{I_{cc}}{K}\sqrt{\frac{t}{\theta_f - \theta_d}}$$

O coeficiente K é, teoricamente, função de θ_f, θ_d e da natureza do metal condutor. Podemos, no entanto, adoptar, em primeira aproximação:

— para o alumínio: K = 7

— para o cobre : K = 11

2.2.5 - Secção Necessária para a Queda de Tensão

1- Introdução

A tensão disponível, em qualquer ponto da instalação de utilização, deve permitir um funcionamento satisfatório do ou dos receptores alimentados. Por outras palavras, a queda de tensão, produzida pela canalização, isto é, a diferença entre as tensões medidas, no ponto de alimentação da canalização e nesse ponto, não deve ultrapassar um determinado valor .

O problema coloca-se essencialmente em baixa tensão, já que a queda de tensão pode atingir uma percentagem não desprezável da tensão de alimentação. Isso acontece, desde que o comprimento da canalização seja importante ou o regime de funcionamento tenha períodos de intensidade elevada, mesmo que estes sejam muito breves para poder influenciar a escolha da secção do ponto de vista térmico.

2 - Valores Admissíveis para a Queda de Tensão

A queda de tensão, a não ultrapassar, depende em cada caso das características dos receptores alimentados.

Na ausência de informações precisas a este respeito, poderemos considerar, na maior parte dos cabos de instalações alimentadas directamente a partir de uma rede de distribuição pública em baixa tensão, os valores máximos indicados no Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Eléctrica. Estes, expressos em função da tensão nominal da instalação, são respectivamente:

— 3% para iluminação;

— 5% para outras utilizações.

Se a instalação é alimentada por um posto de transformação particular ou por um posto de transformação a partir de uma instalação de alta tensão, os limites acima podem ser elevados, se necessário, a 6% e 8% respectivamente. Para as redes de distribuição em baixa tensão, as variações de tensão em qualquer ponto da rede, não deverão ser superiores a ± 8% . Nas redes de distribuição em centros urbanos, recomenda-se que as variações de tensão em relação ao valor nominal não excedam ±5 % . Para as redes de distribuição de média tensão, considera-se uma queda de tensão, máxima admissível, inferior ou igual a 7%. Finalmente, é possível admitir em certos casos uma queda de tensão superior aos limites anteriores, nomeadamente, durante o arranque dos motores, que provoca pedidos de corrente importantes.

O quadro seguinte indica, para redes correntes em baixa tensão, a correspondência entre o valor absoluto (em volt) e o valor relativo (em %) da queda de tensão.

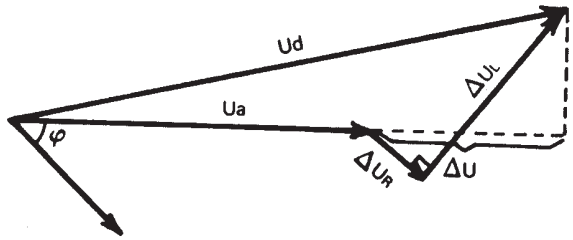
Quadro 47 - Quedas de Tensão

Tensão nominal na origem da instalação V	Queda de tensão, expressa em volt, correspondente a um valor relativo de:									
	1%	2%	3%	4%	5%	6%	7%	8%	9%	10%
220	2,2	4,4	6,6	8,8	11	13,2	15,4	17,6	19,8	22
380	3,8	7,6	11,4	15,2	19	22,8	26,6	30,4	34,2	38

3 - Fórmula Aproximada da Queda de Tensão

Devido ao reduzido comprimento das canalizações de energia, realizadas com cabos eléctricos despreza-se, geralmente, a influência da corrente capacitiva.

As diferentes tensões, em jogo podem representar-se pelo esquema seguinte:



$\mathbf{U_d}$ = tensão na origem,

$\mathbf{U_a}$ = tensão no ponto de utilização,

$\mathbf{\Delta U_R}$ = queda de tensão resistiva,

$\mathbf{\Delta U_L}$ = queda de tensão indutiva,

cosφ = factor de potência do receptor.

Em primeira aproximação: $\mathbf{\Delta U = \Delta U_R \cos \varphi + \Delta U_L \sin \varphi}$

Substituindo $\mathbf{\Delta U_R}$ **e** $\mathbf{\Delta U_L}$ pelo seu valor, a queda de tensão, em função do tipo de rede considerada, é dada por:

em corrente contínua	$\mathbf{\Delta U = 2\, \mathit{l}\, R\, I}$
em corrente alternada monofásica	$\mathbf{\Delta U = 2\, \mathit{l}\, (R \cos \varphi + L\omega \sin \varphi)\, I}$
em corrente alternada trifásica	$\mathbf{\Delta U = \sqrt{3}\, \mathit{l}\, (R \cos \varphi + L\omega \sin \varphi)\, I}$

Em que:

ΔU = queda de tensão em volt; no caso de corrente alternada trifásica, considera-se a tensão entre fases,

l = comprimento da canalizacão, em km,

I = intensidade transmitida pela canalização, em A,

R = resistência aparente de um condutor, à temperatura de funcionamento, em ohm/km (ver ponto 3 da secção 3.1.1),

L = indutância aparente de um condutor, em H/km (ver ponto 4 da secção 3.1.1),

ω = 2 π f em que f é a frequência (Hz),

φ = desfasamento introduzido, entre a corrente e a tensão, pelo receptor. Não deverá ser confundido com o desfasamento introduzido pela canalização.

4 - Determinação da Secção

A - Método Geral

a) Determinar, em função das características da instalação e das condições de funcionamento desejadas, os valores de ΔU admissível, I e cosφ, tendo em conta as seguintes considerações:

— ΔU admissível: na maior parte dos casos, é suficiente considerar apenas a queda de tensão em regime normal. No entanto, desde que o regime de funcionamento comporte períodos de intensidade importante (arranque de motores, por exemplo), convém considerar, além disso, a queda de tensão admissível nestas condições;

— I: como no caso anterior, considera-se a intensidade transmitida pela canalização em regime normal e, eventualmente, em sobrecarga. Além disso, desde que tal se justifique, teremos em conta os coeficientes de simultaneidade e de utilização da instalação (ver secção 2.2.1);

— cosφ: o factor de potência da instalação é determinado da mesma maneira que para o cálculo da intensidade a transmitir (ver ponto 2 da secção 2.2.1).

Convém ainda referir que, durante o arranque dos motores, o cosφ toma em geral um valor sensivelmente inferior ao do regime normal. Na ausência de indicações, a este respeito, escolhemos um valor para cosφ, no arranque, à volta de 0,35.

b) Supondo já escolhido o tipo de cabo, que irá constituir a canalização, a secção a adoptar para a queda de tensão é a secção normalizada imediatamente superior aquela para a qual (usando as mesmas notações e unidades que anteriormente) se verifique:

em corrente contínua: $R = \dfrac{\Delta U\text{admissível}}{2lI}$

em corrente alternada monofásica: $R\cos\varphi + L\omega\sin\varphi = \dfrac{\Delta U\text{admissível}}{2lI}$

em corrente alternada trifásica: $R\cos\varphi + L\omega\sin\varphi = \dfrac{\Delta U\text{admissível}}{lI\sqrt{3}}$

B - Método Aplicável no Caso de Circuitos Alimentados em Tensão Alternada com Cosφ = 0,8

Os quadros com as características dos vários tipos de cabos, para os quais a queda de tensão poderá ser determinante na escolha da secção, indicam o valor da queda de tensão provocada pela passagem de 1 A num cabo de 1 km de comprimento, sendo o cosφ do receptor = 0,80.

O método a empregar, consiste no cálculo de $\frac{\Delta U admissível}{lI}$ e, na escolha, no quadro das características do cabo em estudo, da secção mínima que permita respeitar o valor assim obtido.

Nota importante:

Salvo indicação contrária, as quedas de tensão unitárias indicadas nos quadros consideram que se trata de:

— tensão monofásica no caso de cabos com 2 condutores;

— tensão trifásica para os outros casos.

Além disso, o cabo é suposto no regime de equilíbrio térmico, correspondente à plena carga admissível. Para um cálculo preciso da queda de tensão unitária, no caso em que a alma condutora se encontre a uma temperatura diferente, poderemos corrigir a resistência com a ajuda dos coeficientes indicados no quadro 50.

C - Método Aproximado

Para um cálculo rápido da secção, podemos utilizar os gráficos que se seguem, que fornecem um valor aproximado da queda de tensão válida para a maioria das especificações de cabos de baixa tensão:

— em função do produto *l*I, da secção do condutor e do tipo alternada,

— para diferentes valores do factor de potência da instalação:

• Cosφ = 0,9 correspondendo sensivelmente a tgφ = 0,4, que é a hipótese considerada geralmente, para a rede de distribuição pública,

— alma em alumínio, (gráfico 6),

— alma em cobre, (gráfico 7),

• Cos φ = 0,8 valor geralmente usado na ausência de indicações,

— alma em alumínio, (gráfico 8),

— alma em cobre, (gráfico 9),

• Cos φ = 0,35 valor médio correspondente ao regime de arranque dos motores,

— alma em alumínio, (gráfico 10),

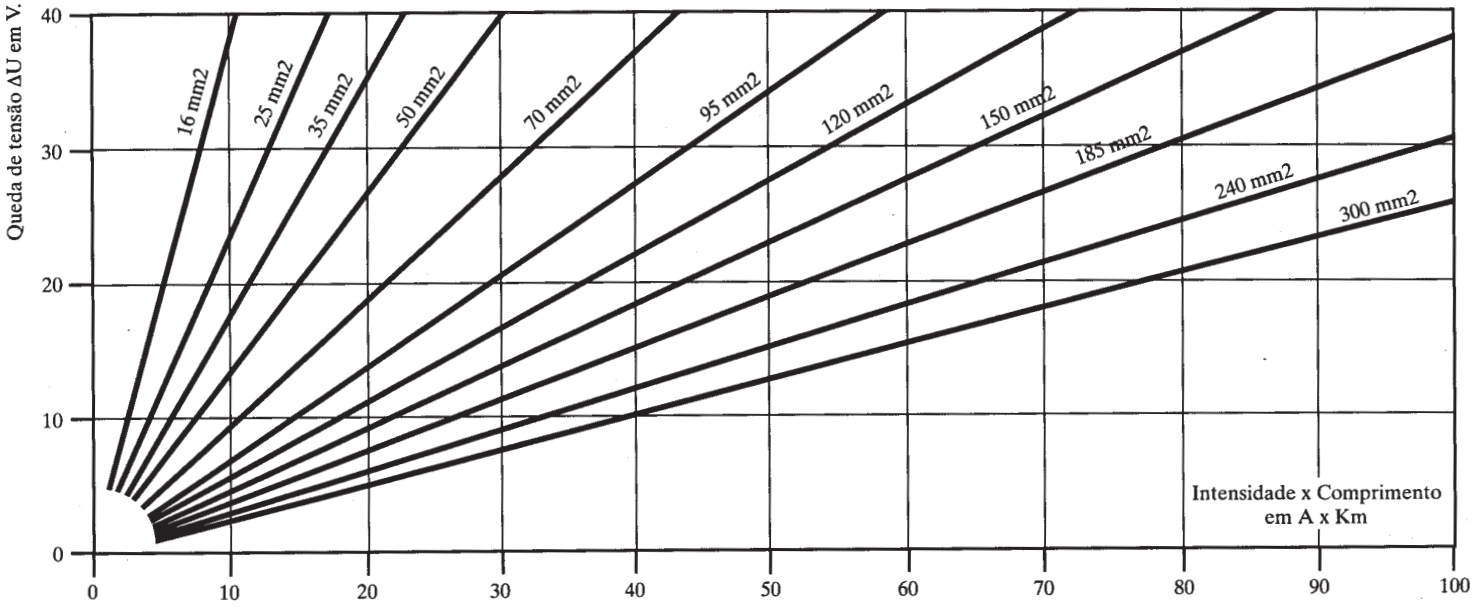
— alma em cobre, (gráfico 11).

Observações:

Por outro lado, os diferentes métodos indicados permitem determinar ainda, para cada secção, qual é o comprimento no qual uma dada intensidade pode ser transmitida, ou qual a intensidade que pode ser transmitida num comprimento dado, com respeito pelos valores máximos admissíveis para a queda de tensão.

Gráfico 6 - Queda de Tensão entre Fases (Tensão Composta)
Cabos de Baixa Tensão com 3 condutores em Alumínio Cos φ = 0,9

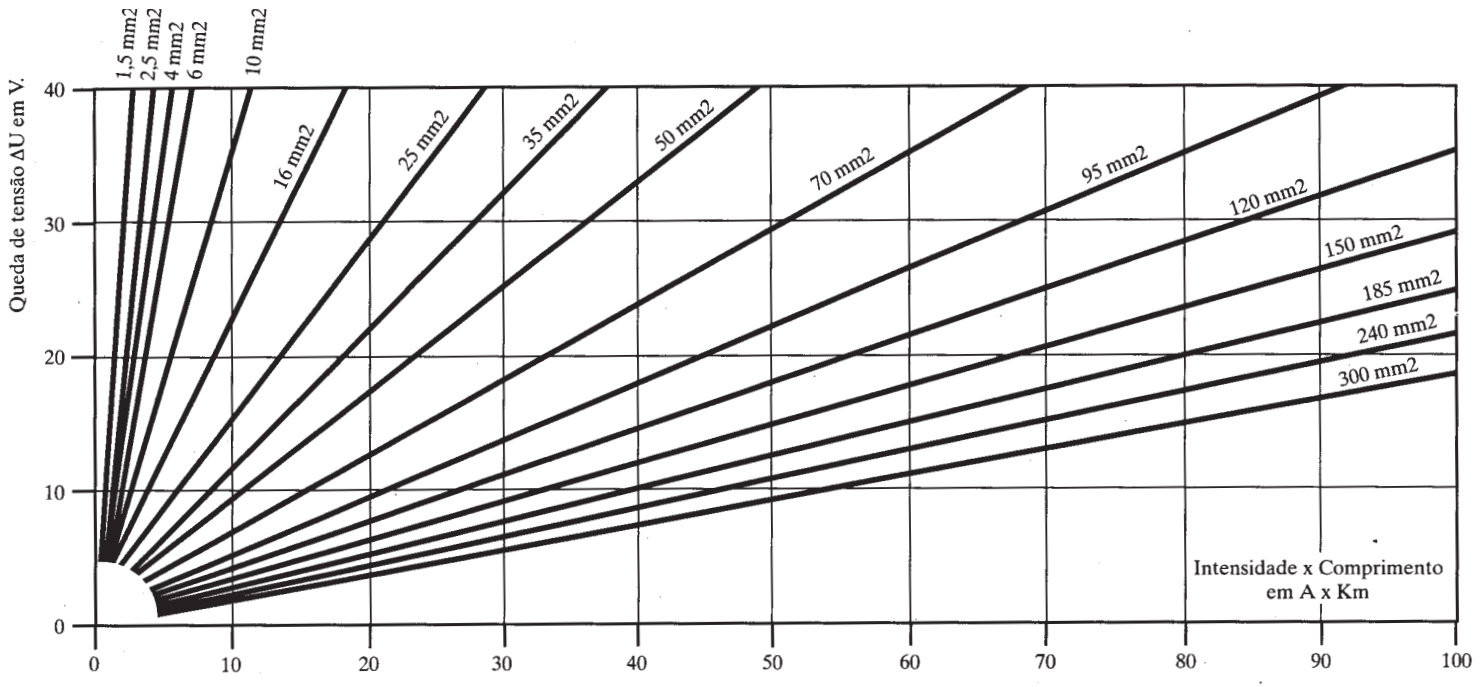
Frequência = 50 Hz



Para obter a queda de tensão simples (monofásica), multiplicar os valores de ΔU por 1,15

Gráfico 7 - Queda de Tensão entre Fases (Tensão Composta)
Cabos de Baixa Tensão com 3 condutores em Cobre Cos φ = 0,9

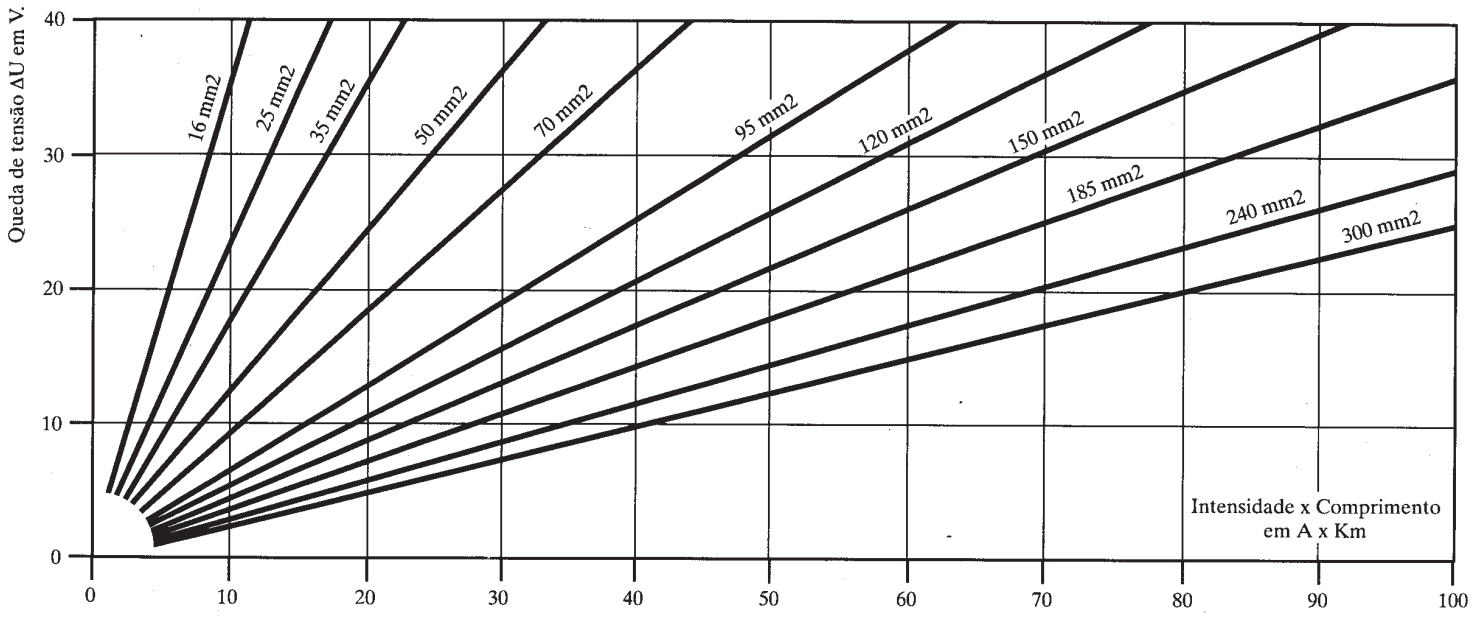
Frequência = 50 Hz



Para obter a queda de tensão simples (monofásica), multiplicar os valores de ΔU por 1,15

Gráfico 8 - Queda de Tensão entre Fases (Tensão Composta)
Cabos de Baixa Tensão com 3 condutores em Alumínio Cos φ = 0,8

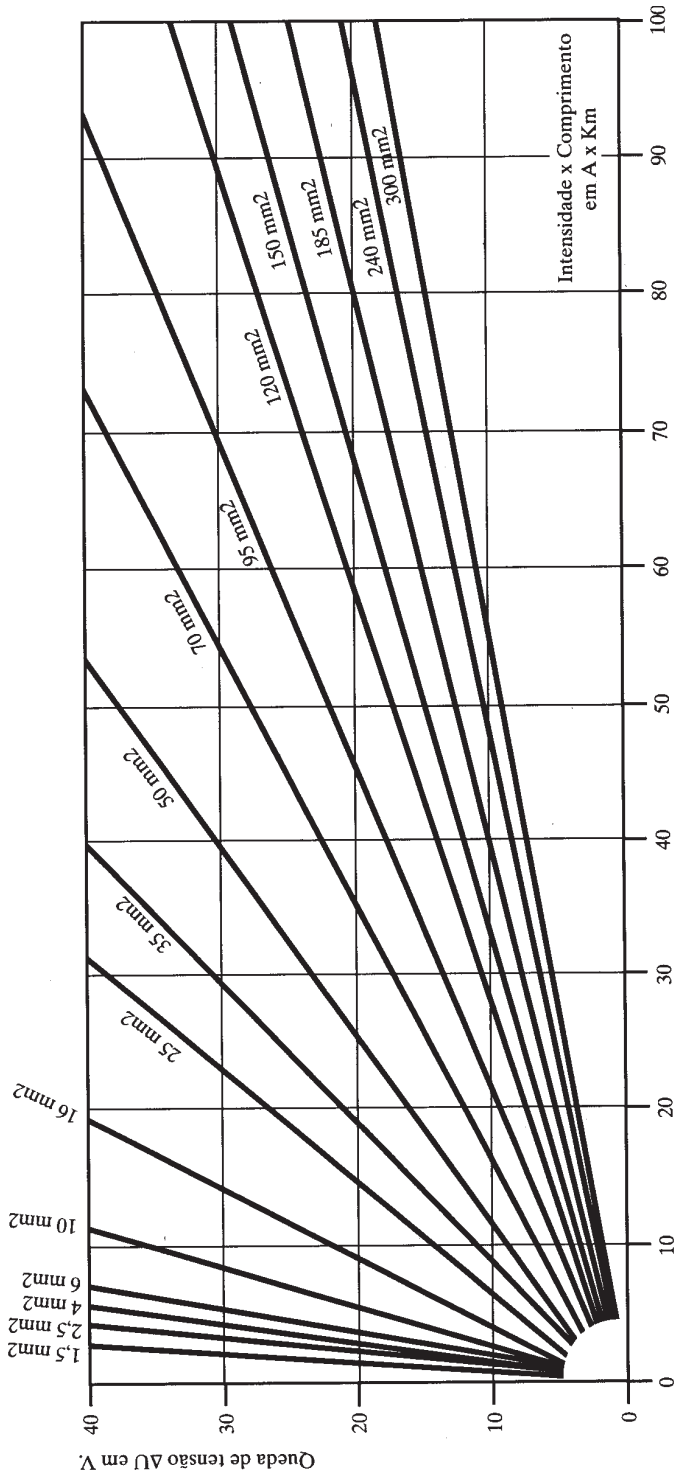
Frequência = 50 Hz



Para obter a queda de tensão simples (monofásica), multiplicar os valores de ΔU por 1,15

Gráfico 9 - Queda de Tensão entre Fases (Tensão Composta)
Cabos de Baixa Tensão com 3 condutores em Cobre Cos φ = 0,8

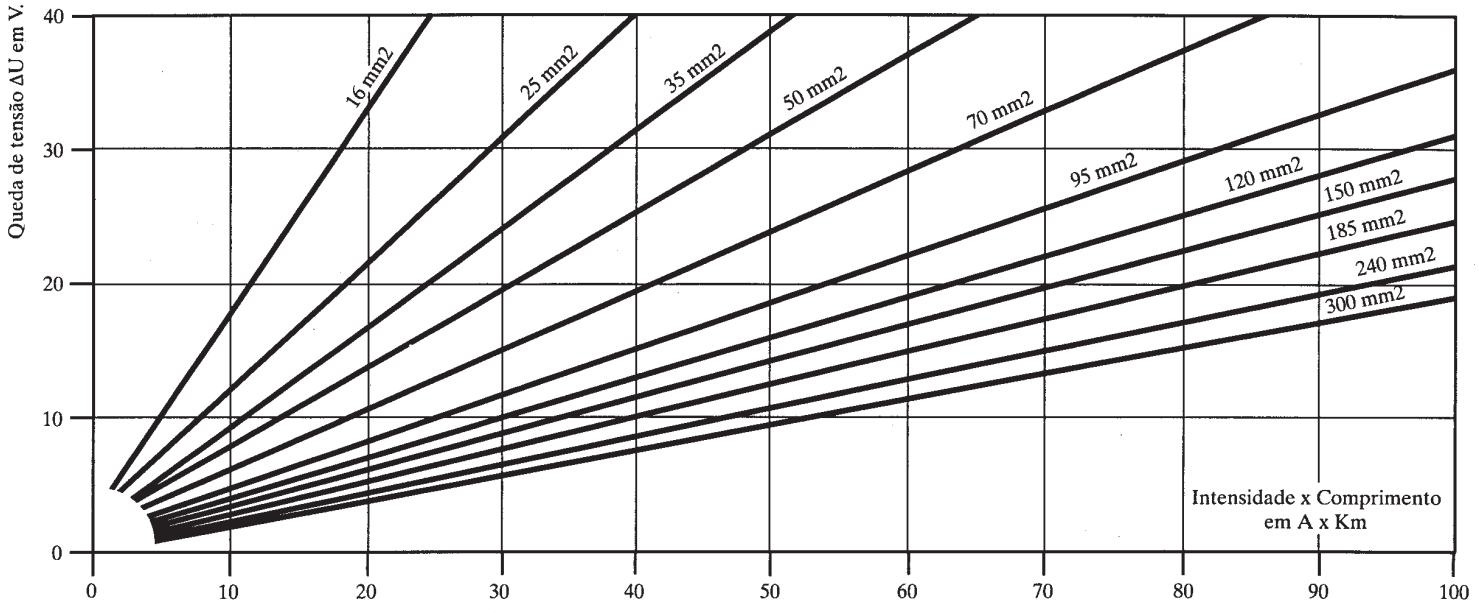
Frequência = 50 Hz



Para obter a queda de tensão simples (monofásica), multiplicar os valores de ΔU por 1,15

Gráfico 10 - Queda de Tensão entre Fases (Tensão Composta)
Cabos de Baixa Tensão com 3 condutores em Alumínio Cos φ = 0,35

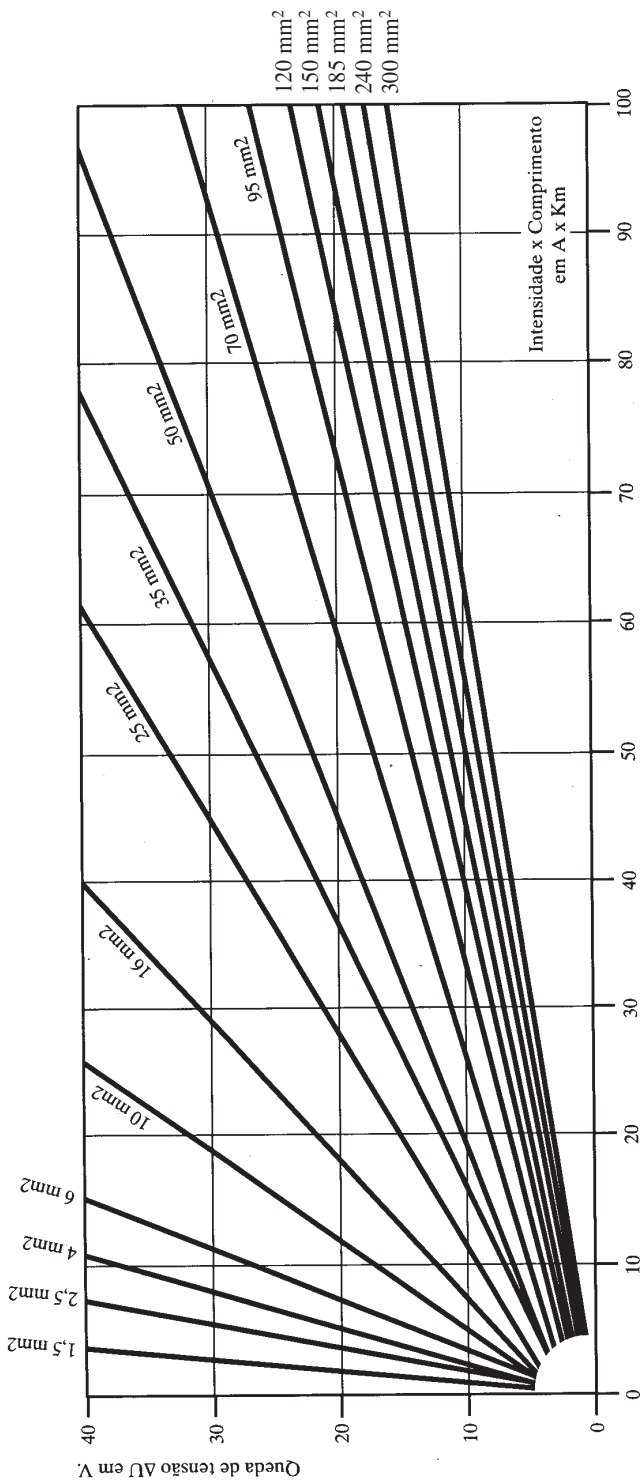
Frequência = 50 Hz



Para obter a queda de tensão simples (monofásica), multiplicar os valores de ΔU por 1,15

Gráfico 11 - Queda de Tensão entre Fases (Tensão Composta)
Cabos de Baixa Tensão com 3 condutores em Cobre Cos φ = 0,35

Frequência = 50 Hz



Para obter a queda de tensão simples (monofásica), multiplicar os valores de ΔU por 1,15

2.2.6 - Exemplo de Determinação da Secção Técnica

Dados:

— Comprimento da canalização:

- l = 100m;

— Tensão de alimentação entre fases (composta):

- U = 380V, trifásica;

— Receptores:

- 1 motor de potência aparente nominal 100 kVA, utilizado no máximo a 3/4 da sua potência,
- 1 motor de potência útil de 50 cavalos, com um rendimento igual a 0,92 utilizado à plena carga (1CV = 736W),
- cos φ = 0,8,
- os motores funcionam simultaneamente e em permanência;

— Condições de instalação da canalização:

- caminho de cabos, ao ar livre e ao abrigo das radiações solares,
- temperatura ambiente θ_o= 40 °C,
- 4 canalizações sobre um tabuleiro, sem intervalo de separação entre elas;

— Condições de curto-circuito:

- intensidade: I_{cc} = 4 000 A,
- duração: t = 2 segundos;

— Queda de tensão admissível em regime normal:

- 5%,ou seja, ΔU= 19V;

— Tipo de cabo escolhido:

- cabo de alumínio, tripolar, LSVV (ver capítulo V.III).

No caso presente só iremos determinar a secção técnica; posteriormente, um outro exemplo será considerado para o cálculo da secção económica (ver ponto 5 da secçao 2.2.7).

1 - Cálculo da Intensidade a Transmitir em Regime Normal (ver secção 2.2.1)

O primeiro motor, tendo em conta um coeficiente de utilização 0,75, absorve uma potência aparente: S_1 = 0,75 x 100 = 75 k VA

Tendo em conta o seu rendimento e o seu cos φ o segundo motor absorve uma potência aparente:

$$S_2 = \frac{50\ .\ 0{,}736}{0{,}92\ .\ 0{,}8} = 50\,\text{kVA}$$

Como não consideramos nenhum factor de simultaneidade, a potência aparente total absorvida é:

$$S = S_1 + S_2 = 125\text{k VA}$$

e a intensidade a transportar em permanência é:

$$I = \frac{S}{U\sqrt{3}} = \frac{125\ .\ 10^3}{380\ .\sqrt{3}} = \mathbf{190\,A}$$

(ver cálculo directo no gráfico 1).

2 - Secção Necessária para o Aquecimento em Regime Permanente (ver secção 2.2.2)

O quadro das características dos cabos LSVV (capítulo V.III) dá-nos a capacidade de transporte de um único cabo, ao ar livre, à temperatura de 30 °C. Os coeficientes de correcção a considerar são:

— para a temperatura do ar a 40 °C:

$K_1 = 0{,}87$ (ver quadro 35) com $\theta_p = 70$ °C e $\theta_o = 40$ °C,

— para a proximidade térmica entre quatro canalizações encostadas no mesmo tabuleiro:

$K_2 = 0{,}75$ (ver quadro 36).

A partir daqui calculamos a intensidade fictícia:

$$I_f = \frac{I}{K_1 x K_2} = \frac{190}{0{,}87x0{,}75} = \mathbf{281A}$$

Do quadro das características (capítulo V) pode concluir-se que a secção necessária para transportar 281 A nas condições indicadas é:

$S_a = 240\ \text{mm}^2$ (alumínio).

3 - Secção Necessária para o Aquecimento em Caso de Curto-Circuito
(ver secção 2.2.4)

Para cabos LSVV:

— temperatura inicial: $\theta_d = 70$ °C (supõe-se que o cabo atingiu o equilíbrio térmico correspondente à carga máxima admissível em permanência);

— temperatura admissível no fim do curto-circuito: $\theta_f = 160$ °C.

O gráfico 5 indica, nestas condições, para uma alma condutora em alumínio, uma densidade de corrente admissível durante 1 segundo: $\delta_o = 73 A/mm^2$

para 2 segundos teremos: $\delta = \frac{73}{\sqrt{2}} = 52\ A / mm^2$

A secção necessária é: $S = \frac{I_{cc}}{\delta} = \frac{4000}{52} = 77\,mm^2$

A secção normalizada imediata superior é:

$$S_b = 95\ mm^2$$

Método aproximado (ver página 89):

$$S = \frac{I_{cc}}{K} = \sqrt{\frac{t}{\theta_f - \theta_d}} = \frac{4000}{7}\sqrt{\frac{2}{90}} = 85 mm^2$$

que conduzia ao mesmo valor da secção normalizada.

4 - Secção Necessária para a Queda de Tensão

Para cos φ = 0,8 os quadros das características (capítulo V) indicam a queda de tensão por ampere e por quilómetro. Podemos admitir, na pior hipótese, para o caso presente:

$$\frac{\Delta U \text{ admissível}}{l\,I} = \frac{19}{0{,}100 \,.\, 190} = \mathbf{1V/A\ .\ km}$$

Segundo o quadro das características dos cabos LSVV, a secção mínima que permite respeitar esta condição é:

$$S_c = 70\ mm^2$$

Método aproximado: no gráfico 8 encontramos para *l*I = 19 A.km e ΔU admissível = 19 V uma secção mínima de 70 mm^2 em alumínio.

5 - Secção Necessária do Ponto de Vista Técnico

A secção a escolher será a maior das três secções S_a, S_b, S_c anteriormente determinadas:

$$S = 240\ mm^2, \text{ alumínio}$$

2.2.7- Determinação da Secção Económica

1 - Introdução

A secção mínima calculada, anteriormente, de maneira a satisfazer as diferentes condições técnicas de funcionamento (aquecimento em regime normal e em caso de curto-circuito, queda de tensão) não corresponde necessariamente à secção que conduz à melhor solução, no plano económico, considerada em termos globais, dado que, importa ter em conta a duração de vida da canalização estudada.

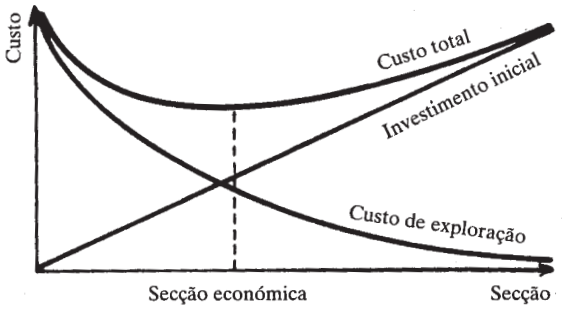
Com efeito, o custo total decompõe-se em duas parcelas:

— investimento inicial, isto é, correspondente ao valor de compra e de instalação, o qual é crescente com a secção;

— custo de exploração, correspondendo em grande parte ao custo das perdas de energia, por efeito de Joule, o qual varia no sentido inverso da secção.

Para um tipo de cabo e um regime de utilização dados, a soma destes custos, em função da secção, passa por um mínimo, correspondente ao valor da secção designado por secção económica. O gráfico representado na figura abaixo permite uma visualização da evolução dos diferentes custos.

Gráfico 12 - Evolução dos custos



Na maior parte dos casos, a secção económica é superior à secção necessária, do ponto de vista técnico, e a diferença respectiva tende a aumentar com o progressivo encarecimento da energia, e ainda com o desenvolvimento dos materiais isolantes, permitindo temperaturas de funcionamento cada vez mais elevadas.

Estes últimos factores levam à conclusão óbvia que o aspecto económico não deve ser esquecido, durante a determinação da secção. A solução escolhida poderá, no entanto, ser determinada em função de vários critérios, em particular:

— as vantagens a longo prazo da secção económica;

— as vantagens a curto prazo de um investimento mínimo, nomeadamente no caso de uma taxa de juro elevada e de um comprimento da canalização importante.

2 - Princípio de Cálculo

Um cálculo rigoroso da secção económica é dificultado na prática pela complexidade dos parâmetros a considerar e pela incerteza da sua evolução no tempo (carga a transportar, custos unitários, hipóteses financeiras, etc).

O método de cálculo, indicado a seguir, baseado em algumas hipóteses simplificativas, permitirá, no entanto, uma estimação suficientemente precisa, na maioria dos casos correntes, tendo em conta o facto de que a escolha se restringe à gama de secções normalizadas.

Iremos estudar uma canalização de comprimento l (em km), cujo custo de estabelecimento será designado por E (euros). Este valor compreende:

— custo do cabo, que poderá ser considerado, em primeira aproximação, como uma função linear da secção S (mm^2) da forma cl + qlS, em que c e q são constantes cujo valor é dependente da especificação do cabo escolhido. Estes podem ser avaliados, por exemplo, a partir da nossa tabela de preços;

— o custo dos trabalhos de engenharia civil, do desenrolamento e montagem do cabo, da compra e montagem dos acessórios da rede e das instalações terminais, o qual poderá ser considerado como independente da secção, no âmbito da procura da secção económica. Designando por c' este valor, teremos para E a expressão:

$$E = c' + cl + qlS$$

Quanto ao custo de exploração, compreende o custo das perdas energéticas, nas almas condutoras, no isolante e no écran, os encargos de manutenção, etc., e está associado a uma quantia paga ao longo de cada anuidade. Justifica-se na maioria dos casos, que só sejam considerados os custos anuais em perdas de Joule, nos condutores, as quais são aproximadamente dadas por:

$$W = \frac{n\rho l I^2 hp}{S} 10^{-3}, \text{ euros}$$

em que:

n = número de condutores activos da canalização;

ρ = resistividade do metal condutor à temperatura de funcionamento (Ω mm^2/km);

l = comprimento da instalação (em km);

I = intensidade a transmitir, em ampere, suposta constante. Caso não seja constante deve considerar-se a intensidade média quadrática (ver ponto 3 da secção 2.2.3);

h = número de horas de serviço da canalização por ano (1 ano = 8760h);

p = preço da energia eléctrica, €/kWh.

O custo total resulta da soma das parcelas E e W, as quais, no entanto, não correspondem ao mesmo prazo, sendo necessário torná-las homogéneas antes de efectuar a sua adição. Isto pode fazer-se actualizando os custos de exploração pagos ao fim de vários anos, ou seja, remetendo os mesmos à época da compra do equipamento.

Se N (anos) é o prazo de amortização previsto, para o equipamento, e se tanto o preço da energia como a carga da canalização forem supostos constantes, durante esse período, a soma dos valores actualizados das perdas de Joule é:

$$W = w\left[\frac{1}{1+t} + \frac{1}{(1+t)^2} + \ldots + \frac{1}{(1+t)^N}\right] = w\frac{(1+t)^N - 1}{t(1+t)^N}$$

em que t é a taxa de actualização fixada, cujo valor é na prática igual à taxa de juro do capital.

O termo $A = \frac{(1+t)^N - 1}{t(1+t)^N}$ é dado, em função de t e N, pelas tabelas financeiras.

Para a determinação da secção económica resta considerar a função:

custo total $C = c' + cl + qlS + \frac{n\rho l I^2 hpA}{S} .10^{-3}$

a qual tem um mínimo para:

$$S_o = I\sqrt{\frac{n\rho hpA}{q} .10^{-3}}$$

A secção económica será o valor normalizado mais próximo de S_o.

A densidade de corrente económica é $\delta_o = \sqrt{\frac{q.10^{-3}}{n\rho hpA}}$ (A/mm^2)

3 - Cálculo aproximado

Para um cálculo rápido podemos considerar a fórmula:

$$S_o = KI\sqrt{hpA}$$

com: $K = 4{,}61.10^{-2}$ para o alumínio.

$K = 2{,}56.10^{-2}$ para o cobre.

4 - Notas

A - O comprimento da canalização não influência o valor da secção económica;

B - A densidade de corrente económica depende do tipo de cabo escolhido, das condições de utilização e das hipóteses financeiras. É independente da intensidade a transmitir e da secção. Pelo contrário, a densidade de corrente térmica (correspondente ao aquecimento da alma condutora até ao valor limite permitido), diminui com a secção. Devido a isso, e tendo em conta o facto de que a densidade económica é, geralmente, inferior à densidade térmica, a diferença entre a secção económica e a secção térmica é tanto mais importante quanto menores forem as secções;

C - A escolha da secção económica, desde que seja superior à secção térmica, conduz às seguintes vantagens no plano técnico:

— a queda de tensão é menor, o que apresenta um interesse particular, para os binários dos motores no arranque que são proporcionais ao quadrado da tensão;

— a temperatura limite da alma condutora em regime normal oferece a possibilidade de sobrecargas, por vezes, importantes.

D - Usando as mesmas hipóteses simplificativas e os mesmos princípios de cálculo usados anteriormente, várias informações úteis poderão ser obtidas, por exemplo:

— determinação do tempo ao fim do qual o ganho, nos custos de exploração, permite compensar a diferença de investimento inicial;

— escolha económica entre o cobre e o alumínio;

— escolha económica entre os vários isolantes. Este cálculo mostra que, se o uso de um isolante, que autorize uma temperatura de funcionamento elevada, pode revelar-se necessário em certas condições de serviço, particularmente severas, não se justifica, no entanto, no plano económico.

E - A escolha da secção é um dos aspectos da optimização no plano económico da instalação. Outros elementos deverão também ser considerados, por exemplo: escolha da tensão de alimentação, melhoramento do cos φ dos receptores permitindo uma diminuição da intensidade a transmitir e, portanto, das perdas em exploração, etc.

5 - Exemplo de cálculo da secção económica

Retomando o exemplo dado (secção 2.2.6), assim como a secção técnica calculada (ponto 5 da secçao 2.2.6), partimos para o cálculo da secção económica com os seguintes dados:

— intensidade	I = 190 A;
— regime de funcionamento	h = 2 000 horas/ano, à plena carga;
— duração da amortização	N = 10 anos;
— taxa de actualização	t = 13 %;
— preço da energia eléctrica	p = 0,0945€/kWh.

A secção escolhida, no plano técnico, foi a de 240 mm^2 com alma condutora em alumínio.

A secção económica obtém-se aplicando o cálculo aproximado indicado no ponto 3:

Previamente determina-se o termo A : $A = \dfrac{1{,}13^{10} - 1}{0{,}13 \;.\; 1{,}13^{10}} = 5{,}43$

Considerando um valor de $K = 2{,}56.10^{-2}$ (alma condutora em alumínio) e o cálculo aproximado obtém-se a secção económica:

$$2{,}56 \;.\; 10^{-2} \sqrt{2000 \times 0{,}0945 \;.\; 5{,}43} = 280{,}6 \text{ mm}^2$$

A secção normalizada mais próxima é a de 300 mm^2.

2.3 - Generalidades sobre o Dimensionamento do Écran Metálico

Em caso de defeito monofásico (fase-terra), o écran metálico deve permitir o escoamento, de parte ou da totalidade, da corrente de curto-circuito, da instalação. Para as redes MT ou AT, cujo neutro está ligado à terra, directamente ou por intermédio de uma impedância de valor baixo, a corrente de defeito pode atingir valores elevados, dependendo da potência de curto-circuito da alimentação, das características da instalação no ponto do defeito e da regulação dos dispositivos de protecção. É preciso então assegurar que sob o efeito dessa intensidade, o écran não corre o risco de ser levado a atingir uma temperatura superior à permitida, quer para ele, quer para os outros elementos do cabo, em particular, o invólucro isolante.

Para os cabos MT e AT, a temperatura limite é, na maior parte dos casos, idêntica à admitida em curto-circuito para o aquecimento da alma condutora, para uma duração de tempo inferior a 5 segundos:

— cabo isolado a PE 150 °C;
— cabo isolado a PVC 160 °C;
— cabo isolado a PEX 250 °C.

No entanto, podemos ser levados, em certos casos, a reduzir estes valores de temperatura, a fim de ter em consideração os limites térmicos dos elementos constituintes do écran (bainha de chumbo, nalguns cabos isolados a PEX, por exemplo). Contrariamente ao que é habitual para as almas condutoras, não podemos admitir que o aquecimento do écran ao longo de um curto-circuito seja adiabático. Com efeito, em consequência da importância da superfície de contacto do écran com os meios adjacentes, em relação à sua espessura, o calor não fica concentrado no écran, dissipando-se na sua maior parte para o exterior. Em função disso, a hipótese de aquecimento adiabático conduziria a um aquecimento superior à realidade, o que implicaria um sobredimensionamento dos écrans.

Devido à complexidade dos fenómenos em jogo (dissipação do calor nos meios adjacentes, variação da resistência de contacto entre espiras dos écrans enfitados, em função da intensidade, etc.), não é possível indicar aqui um método de cálculo simples e de âmbito geral. Recomendamos ao leitor que se baseie, se tal for necessário, no método descrito na norma CEI 949. Os vários tipos de écrans, usados geralmente, estão descritos na secção 1.2.4.

Conforme aí referido os écrans metálicos são normalmente constituídos por fios e/ou fitas de cobre ou de alumínio. No seu dimensionamento considera-se as densidades de corrente que a seguir se indicam, supondo um curto-circuito com a duração de 1 s.

Cobre $\delta = 143{,}2$ A/mm^2
Alumínio $\delta = 94{,}5$ A/mm^2

Para melhor caracterização do dimensionamento é válido o expresso para as almas condutoras na secção 2.2.4 do capítulo II.

2.3.1 - Afectação de processos caloríficos não - adiabáticos ao cálculo da corrente de curto-circuito

A corrente de curto-circuito admissível na blindagem metálica de um cabo eléctrico é normalmente calculada assumindo um processo calorífico adiabático – ignorando as trocas de calor com o exterior.

Este procedimento dá origem a resultados mais conservadores, sobretudo para blindagens constituídas por fios de secção reduzida.

Numa perspectiva meramente computacional podemos aumentar a temperatura máxima permitida em situações de curto-circuito, de forma a obter um resultado equivalente ao obtido pelo cálculo não-adiabático. Este acréscimo de temperatura será meramente fictício servindo apenas interesses relativos ao procedimento de cálculo.

O método de cálculo mais usual para a corrente eléctrica de curto-circuito no condutor e na blindagem metálica de cabos eléctricos está assente no pressuposto de processos caloríficos adiabáticos. Este procedimento não considera as trocas de calor entre as diversas componentes metálicas e o exterior, assumindo que o calor gerado pela passagem da corrente de curto-circuito não será dissipado no curto intervalo de tempo em questão.

Neste cenário o calor gerado por efeito de Joule determina a temperatura máxima em situações de curto-circuito:

$$\theta_{Max} = \theta_p + \frac{1}{C}\int_{\tau} R\, I_{Ad}^2 dt \qquad (1)$$

Na qual θ_p representa a temperatura para um regime permanente, C a capacidade calorífica da componente metálica em questão e R a sua resistência eléctrica. A corrente de curto-circuito I_{Ad} tem uma duração τ.

A temperatura máxima é estabelecida de forma a prevenir choques térmicos e o consequente envelhecimento acelerado dos componentes do cabo eléctrico. No caso dos dois mais populares materiais utilizados no isolamento: polietileno reticulado (XLPE) e borracha sintética (EPR), a temperatura máxima permitida num regime de curto-circuito é de 250ºC.

De forma a contabilizar as trocas de calor durante uma situação de curto-circuito, o standard internacional IEC 949 introduz um factor empírico ε que relaciona o valor da corrente eléctrica obtida considerando as trocas de calor com o exterior (I_{nAd}) com o valor da corrente eléctrica resultado do método adiabático (I_{Ad}):

$$I_{nAd} = \varepsilon I_{Ad} \qquad (2)$$

Partindo do tradicional método adiabático, podemos permitir para efeitos meramente computacionais uma temperatura máxima superior à recomendada de forma a obter um efeito equivalente à aplicação do factor ε.

A corrente de curto-circuito pode assim ser calculada através de um formalismo a que poderemos chamar método adiabático modificado:

$$\theta_{Max} + \Delta\theta = \theta_p + \frac{1}{C}\int_{\tau} R\, I_{mAd}^2\, dt \qquad (3)$$

A corrente de curto-circuito (I_{mAd}) calculada através desta expressão é idêntica à corrente eléctrica obtida pelo método não-adiabático descrito no standard IEC 949.

Para demonstrar o conceito consideremos uma blindagem metálica constituída por fios de cobre enrolados em hélice sobre uma cama em fita semicondutora - Figura 1.

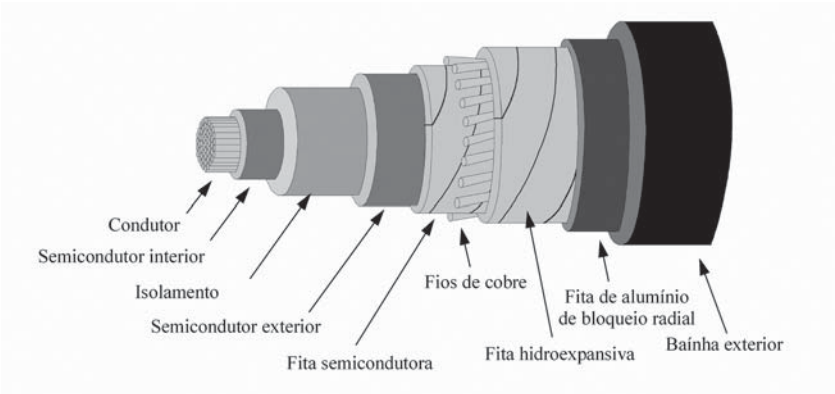


Figura 1 - Cabo de 60kV com isolamento em XLPE e blindagem por fios de cobre.

O gráfico 13 descreve o comportamento do aumento fictício da temperatura máxima, em função do diâmetro dos fios de cobre da blindagem.

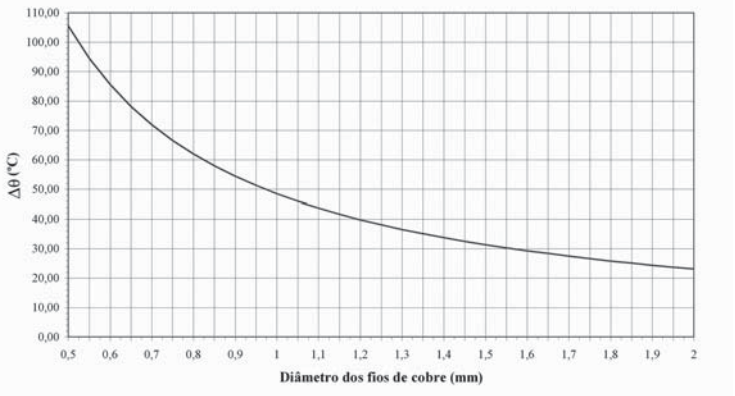


Gráfico 13 - Aumento de temperatura fictício em função do diâmetro dos fios de cobre da blindagem.

Para um determinado diâmetro dos fios da blindagem, o gráfico acima apresentado permite o cálculo da corrente de curto-circuito não-adiabática a partir da expressão 3.

O desvio de resultados determinado pela afectação das trocas de calor é considerável, sobretudo para fios de diâmetros mais reduzidos. Assim para um curto-circuito com a duração de 1 segundo, o valor da corrente eléctrica escoada por uma blindagem de fios de cobre com um diâmetro de 0.5 mm, é cerca de 22% superior ao valor obtido pelo tradicional método adiabático. Para um diâmetro de 2.0 mm este desvio é apenas de 6%.

Conclusão:

Este método integra os princípios anunciados no standard IEC 949, de forma a afectar as trocas de calor na aproximação adiabática normalmente utilizada pela indústria. A metodologia adiabática resulta em valores mais conservadores, sobretudo no que diz respeito a blindagens constituídas por fios de diâmetros mais reduzidos.

2.3.2- Exemplos de cabos normalizados de média tensão

1 - Écrans em fios de cobre

Nos cabos de Média Tensão, isolados a PEX, normalizados pela EDP, o écran metálico utilizado é constituído por fios de cobre nú uniformemente distribuídos pela superfície do écran semicondutor exterior e envolvidos por fita de cobre nú com espessura compreendida entre 0,1 e 0,2 mm, enrolada em contra-hélice aberta.

São definidos 3 tipos de écran, consoante as dimensões e características dos constituintes, designados por tipo 1, 2 e 3.

Assim temos:

Tipo 1:

Secção nominal — 28 mm^2
Fios de Cobre — diâmetro nominal: 1,13 mm;
secção aproximada: 1 mm^2;
número mínimo de fios: 28
Resistência eléctrica máxima do écran: 0,6Ω/km a 20ºC.

Tipo 2:

Secção nominal — 16 mm^2
Fios de Cobre — diâmetro nominal: 0,8 mm;
secção aproximada: 0,5 mm^2;
número mínimo de fios: 32
Resistência eléctrica máxima do écran: 1,1Ω/km a 20ºC.

Tipo 3:

Secção nominal — 35 mm^2
Fios de Cobre — diâmetro nominal: 1,13 mm;
secção aproximada: 1 mm^2;
número mínimo de fios: 35
Resistência eléctrica máxima do écran: 0,48Ω/km a 20ºC.

O número de fios é condicionado, para cada secção nominal do écran, pela resistência eléctrica máxima exigida.

Conforme a tensão estipulada do cabo, o tipo de écran escolhido é definido como segue:

Cabos de 6/10 kV

— 1º Caso (corrente de defeito até 4 kA - 1 s)
Écran do tipo 1
— 2º Caso (corrente de defeito até 1,5 kA - 1 s)
Écran tipo 2

Cabos de 8,7/15 kV e 12/20 kV

— 1º Caso (corrente de defeito até 1,5 kA - 1 s e 1 kA - 2 s)
Écran do tipo 2
— 2º Caso (corrente de defeito até 4 kA - 1 s)
Écran tipo 1

Cabos de 18/30 kV

— 1º Caso (corrente de defeito até 1,5 kA - 1 s e 1 kA - 2 s)
Écran do tipo 2
— 2º Caso (corrente de defeito até 5 kA - 1 s)
Écran tipo 3
Extra EDP ou para outras secções de écran a resistência eléctrica máxima do écran é a definida na CEI 60228.

2 - Écrans em fita de cobre

Indicamos no quadro seguinte, em função de diferentes tempos de actuação das protecções, as intensidades admissíveis no écran, formado por uma fita de cobre nú, com 0,10 mm de espessura, enrolada em hélice e com sobreposição, prevista normalmente entre 10 e 15% da largura da fita.

Quadro 48 - Intensidades Admissíveis, no Écran em Fita de Cobre, para um Cabo de Média Tensão (Isolado a PEX), durante um Curto-Circuito (Ampere)

Secção da alma	0,5 segundos				1 segundo				2 segundos			
	Tensão estipulada kV											
mm²	6/10	8,7/15	12/20	18/30	6/10	8,7/15	12/20	18/30	6/10	8,7/15	12/20	18/30
	CABOS ISOLADOS A PEX											
16	900				650				400			
25	1000	1100			700	800			450	550		
35	1050	1200	1300		750	850	950		500	600	650	
50	1150	1300	1400	1750	800	900	1000	1200	550	650	700	850
70	1250	1350	1500	1800	850	950	1050	1300	600	650	750	900
95	1350	1500	1650	1950	950	1050	1150	1350	650	750	800	950
120	1450	1600	1700	2050	1000	1100	1200	1450	700	800	850	1000
150	1550	1650	1800	2100	1100	1150	1250	1500	750	850	900	1050
185	1650	1800	1900	2250	1150	1250	1350	1550	800	900	950	1100
240	1800	1950	2050	2400	1250	1350	1450	1650	900	950	1000	1200
300	1950	2100	2200	2500	1350	1450	1550	1800	950	1050	1100	1250
400	2100	2250	2400	2700	1500	1600	1650	1900	1050	1100	1200	1350
500	2300	2450	2550	2900	1600	1700	1800	2050	1150	1200	1250	1450
630	2550	2700	2850	3150	1800	1900	2000	2200	1250	1350	1400	1550
800	2800	2950	3100	3400	2000	2100	2150	2400	1400	1450	1550	1700
1000	3100	3200	3350	3650	2150	2250	2350	2600	1550	1600	1650	1800

(cálculos efectuados segundo o método descrito na norma CEI 949)

Exemplos de Cabos de AT

Nos cabos de AT a construção da blindagem é semelhante à da MT, normalmente constituída por uma coroa de fios de cobre aplicados helicoidalmente e por uma fita também de cobre aplicada em contra-espira em hélice aberta.

As secções das blindagens são as mais diversas, normalmente acima de 35 mm^2, dependendo das correntes de curto circuito dos sistemas onde os cabos vão ser instalados.

A título de exemplo, indicamos os seguintes tipos construtivos:

Quadro 49 - Blindagens usadas nos cabos AT

Secção da Blindagem (mm2)	Nº de Fios	Diâmetro dos Fios (mm)	Resistência Óhmica máx. a 20°C em c.c. (Ω/km)	Intensidade máx. adm. em curto-circuito (1s)
16	32	0,80	1,150	2,4 kA
25	50	0,80	0,736	3,7 kA
35	35	1,13	0,526	5,2 kA
50	50	1,13	0,368	7,5 kA
60	60	1,13	0,307	8,9 kA
70	70	1,13	0,263	10,4 kA
75	75	1,13	0,245	11,2 kA
95	80	1,23	0,194	14,2 kA
100	67	1,38	0,184	14,9 kA
120	80	1,38	0,153	17,9 kA
130	58	1,70	0,142	19,4 kA
135	60	1,70	0,136	20,1 kA
150	67	1,70	0,123	22,4 kA
160	71	1,70	0,115	23,8 kA
165	73	1,70	0,111	24,6 kA
185	82	1,70	0,099	27,6 kA
250	82	1,97	0,074	37,2 kA

Notas Técnicas

Capítulo III

3.1 - Cálculos Eléctricos

3.1.1- Características eléctricas

1 - Convenções

Começamos por apresentar as diferentes convenções de escrita, utilizadas nas relações inerentes ao estudo dos fenómenos eléctricos, efectuado nas páginas seguintes:

— ln = logaritmo natural ou neperiano;

— log = logaritmo decimal (ln x = 2,302 log x);

— $j = \sqrt{-1}$ unidade imaginária ou operador imaginário;

— a barra, colocada por cima de uma letra, significa que a mesma se refere a uma grandeza expressa por um número complexo.

Exemplo: $\bar{Z} = R + jL\omega$; módulo de $\bar{Z} = |\bar{Z}|$

2 - Introdução

O funcionamento eléctrico de um circuito é determinado pelas características lineares dos diferentes condutores: resistência, indutância, capacidade.

Estas não dependem somente da constituição dos condutores, mas também do tipo de circuito, e, em particular, da posição relativa das fases.

Desde que uma canalização simétrica seja alimentada por um sistema polifásico equilibrado, podemos considerar que ela é formada por tantos circuitos monofásico, distintos e independentes, quantas fases tiver. Cada um desses circuitos é constituído por um condutor de fase e um condutor fictício, ligado ao ponto neutro da rede e percorrido por uma corrente nula. Apresenta características de transmissão ditas aparentes. Por este facto, o estudo do funcionamento de um circuito polifásico reduz-se ao de um circuito monofásico.

3 - Resistência

A resistência aparente de um condutor, em corrente alternada e a temperatura de serviço, é determinada a partir da resistência em corrente contínua a 20°C, tendo em conta a influencia da temperatura e dos fenómenos ligados à alimentação em tensão alternada.

A - Resistência linear de um condutor em corrente contínua e à temperatura de 20 °C

É dada por: $R_{20} = \frac{\rho_{20} K_1 K_2 K_3}{S}$, em ohm / km

ρ_{20} = resistividade do metal condutor à temperatura de 20°C,

— para o alumínio ρ_{20} = 28,264 Ω mm²/km,

— para o cobre ρ_{20} = 17,241 Ω mm²/km.

(o inverso de ρ_{20} é a condutividade a 20 °C);

S = secção real da alma condutora, mm²;

K_1 = coeficiente dependente da natureza do metal condutor, das transformações físicas que sofre durante a fabricação da alma condutora e da presença eventual de um revestimento metálico de protecção (estanho por exemplo);

K_2 = coeficiente que representa a majoração do comprimento, devido ao cableamento dos fios constituintes da alma condutora;

K_3 = coeficient³e que representa a majoração do comprimento devido à montagem dos condutores de fase no conjunto final (cabos multipolares).

Os valores de R_{20}, para as secções normalizadas e segundo a classe de flexibilidade da alma condutora, são fixados pela normalização portuguesa e internacional e estão representados nos quadros 8 a 11.

B - Variação da resistência com a temperatura

A resistência de um condutor, em corrente contínua e à temperatura de θ (°C), exprime-se em função do seu valor à temperatura de 20 °C por:

$$R\theta = R_{20} [1 + \alpha_{20} (\theta - 20)]$$

α_{20} = coeficiente de variação da resistividade a 20° C

— para o alumínio $\alpha_{20} = 4{,}03 \cdot 10^{-3}$ (°C^{-1}),

— para o cobre $\alpha_{20} = 3{,}93 \cdot 10^{-3}$ (°C^{-1}).

O quadro 50 dá-nos o valor do coeficiente $1 + \alpha_{20} (\theta - 20)$, em função de θ.

Quadro 50 - Valores do coeficiente $1+\alpha_{20} (\theta - 20)$, em função de θ

θ Temperatura do Condutor °C	$1 + \alpha 20 (\theta - 20)$	
	Cobre	Alumínio
0	0,921	0,919
5	0,941	0,940
10	0,961	0,960
15	0,980	0,980
20	1,000	1,000
25	1,020	1,020
30	1,039	1,040
35	1,059	1,060
40	1,079	1,081
45	1,098	1,101
50	1,118	1,121
55	1,138	1,141
60	1,157	1,161
65	1,177	1,181
70	1,197	1,202
75	1,216	1,222
80	1,236	1,242
85	1,255	1,262
90	1,275	1,282
95	1,295	1,302
100	1,314	1,322

C - Resistência em corrente alternada

Num condutor percorrido por corrente alternada, a densidade de corrente não é uniforme; é mais elevada na periferia que no centro do condutor. Este fenómeno, de origem electromagnética, é designado por efeito pelicular ou efeito Kelvin.

Por outro lado, desde que vários condutores, alimentados em tensão alternada, estão próximos, fenómenos de indução provocam igualmente um desequilíbrio na repartição da densidade de corrente: efeito de proximidade.

Estes dois efeitos traduzem-se, naturalmente, por um aumento da resistência de condutores. Assim podemos dizer que:

resistência em corrente alternada = resistência em corrente contínua x $(1 + Y_s + Y_p)$

Ys e Yp são, respectivamente, os coeficientes de efeito pelicular e de proximidade. O seu método de cálculo figura na publicação CEI 60287.

O aumento da resistência, mais sensível no cobre do que no alumínio, é tanto mais importante quanto maior é a frequência da rede, o diâmetro e a aproximação dos cabos. Como primeira aproximação, podemos considerar que ele é desprezável até uma secção de 300 mm^2 em cobre ou 500 mm^2 em alumínio nas frequências indústria usadas.

A resistência aparente de um condutor em corrente alternada à temperatura θ será dada pela expressão: $R = R_{20} [1 + \alpha(\theta - 20)] [1 + Y_s + Y_p]$ (Ω/km)

4 - Indutância

Os fenómenos de indução, entre os elementos de um circuito eléctrico, dependem em grande parte da disposição relativa dos condutores, e, geralmente, são traduzidos por relações relativamente complexas.

No entanto, para uma disposição simétrica dos condutores activos, isto é:

— cabos com 2 ou 3 condutores;

— terno de cabos unipolares, dispostos em triângulo ou em esteira, equidistantes e regularmente transpostos, é possível o emprego de relações simples que nos permitem obter valores médios desses fenómenos.

A - Coeficiente de auto-indução aparente ou indução própria aparente de um condutor

Como é sabido, quando a intensidade i que atravessa um circuito varia no tempo, é induzida no mesmo circuito uma força electromotriz igual a $e = -L \frac{di}{dt}$ em que e, L (coeficiente de auto-indução do circuito), e $\frac{di}{dt}$ são expressos em volt (V) Henry (H), e ampere/segundo (A/s), respectivamente.

Para uma canalização simétrica formada por condutores não magnéticos, o coeficiente de auto-indução aparente médio é igual para todos os condutores, sendo dado pela expressão:

$$L = \left[0{,}05 + 0{,}2 \ln \frac{2a_m}{d}\right] 10^{-3} = \left[0{,}05 + 0{,}46 \log \frac{2a_m}{d}\right] 10^{-3} \, (H/km)$$

em que:

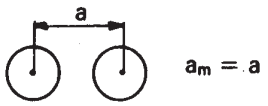
d = diâmetro da alma condutora (mm), incluindo a camada semi-condutora sobre o condutor (se existir).

a_m = média geométrica das distâncias entre eixos dos condutores (mm)

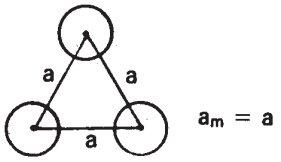
a = distância entre eixos dos condutores (mm).

Para valor de a_m deve considerar-se:

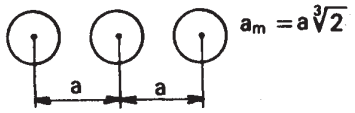
Sistema monofásico



Sistema trifásico em triângulo



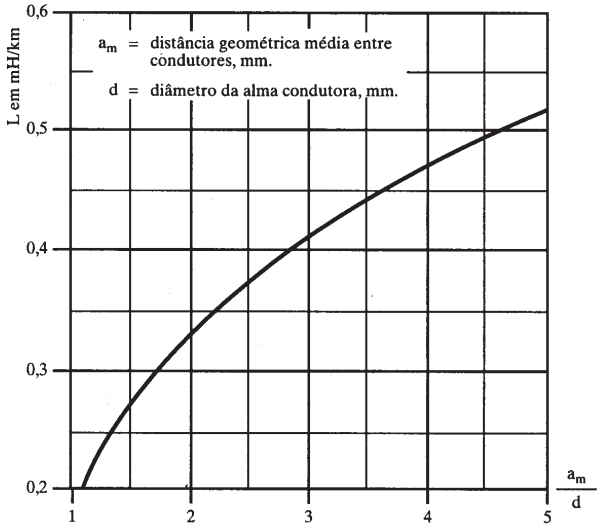
Sistema trifásico em esteira



Para os cabos que comportem uma armadura magnética envolvendo o conjunto das fases, a presença desta provoca um aumento da auto-indução aparente dos condutores em cerca de 10%.

O gráfico 14 indica o valor de L em função da razão $\frac{a_m}{d}$

Gráfico 14 - Coeficiente de Auto-Indução Aparente



B - Indutância mútua entre a alma condutora e o écran

Se dois circuitos estão ligados electromagneticamente, a variação no tempo da corrente que atravessa um circuito induz no outro uma força electro-motriz igual a: $M\frac{di}{dt}$

M é a indutância mútua entre os dois circuitos, expressa em Henry (H) se **e** *e* $\frac{di}{dt}$ forem expressos em volt (V) e ampere/segundo (A/s) respectivamente.

Os fenómenos de indução entre as almas condutoras e os écrans serão considerados, essencialmente, no caso de cabos unipolares munidos de uma baínha de chumbo, devido à importância das correntes susceptíveis de serem induzidas nos écrans. As relações que se apresentam a seguir correspondem a este caso. Pelo contrário, para os cabos multipolares nos quais a parte metálica do écran envolve os conjuntos das fases, e ainda para os cabos unipolares cujos écrans são constituídos por fitas, estes fenómenos são bastantes reduzidos em regime normal.

A corrente **I**(ampere) que percorre a alma condutora, cria no écran uma força electromotriz:

$$\mathbf{E = M\,\omega\,I\ (V/km)}$$

ω = pulsação da corrente = $2\,\pi\,f$ (rad/s)

M = indutância mútua, entre a alma condutora e o écran é sensivelmente igual à indutância própria do écran. No caso de uma disposição simétrica dos condutores é dada por:

$$M = 0{,}2\ln\frac{2a_m}{d_m}10^{-3}\,(H/km)$$

a_m = distância geométrica média entre eixos dos condutores (mm);

d_m = diâmetro médio do écran (mm).

5 - Reactância aparente de um condutor

Os seus valores são calculáveis pelas expressões abaixo, conforme se verifique que:

a) as correntes induzidas nos écrans são desprezáveis:

$$X = L\,\omega,\ (\Omega/km)$$

b) as correntes induzidas nos écrans não são desprezáveis, por exemplo, nos cabos unipolares com bainha de chumbo:

$$X = \omega\left(L - \frac{M}{1+\frac{R_E^{\,2}}{M^2\omega^2}}\right)(\Omega/km)$$

6 - Capacidade

Se num sistema constituído por dois condutores separados por um material dieléctrico, a tensão aplicada entre os condutores variar no tempo, circulará entre eles uma corrente: $i = C\frac{de}{dt}$

C é a capacidade do sistema, expressa em Farad (F), estando i e $\frac{de}{dt}$ expressos em Ampere (A) e volt/segundo (V/s), respectivamente.

Um cabo constitui um sistema complexo de capacidades, designadas por capacidades parciais, as quais se localizam entre:

— os vários condutores;

— cada condutor e o elemento tomado como potencial de referência (revestimento metálico ou meio exterior).

A - Capacidade aparente de um condutor

Resulta da combinação das capacidades parciais e é dada pelas seguintes relações:

— cabo de campo radial: $C = \frac{\varepsilon}{18\ln\frac{r_2}{r_1}}(\mu F/km)$

— cabo de campo não radial:

• cabo com 2 condutores: $C = \frac{\varepsilon}{18\ln\left[\frac{2br_2^{\,2} - b^2}{r_1 r_2^{\,2} + b^2}\right]}(\mu F/km)$

• cabo com 3 condutores: $C = \frac{\varepsilon}{9\ln\left[\frac{3b^2\left(r_2^{\,2} - b^2\right)^3}{r_1^{\,2} r_2^{\,6} + b^6}\right]}(\mu F/km)$

Nestas fórmulas:

ε = permitividade relativa (igualmente designada constante dieléctrica ou poder indutor específico) do dieléctrico que é, segundo o caso:

— cabo com écran: invó1ucro isolante;

— cabo sem écran: conjunto das camadas compreendidas entre a alma condutora e o elemento ao potencial de referência (armadura ou meio exterior).

O valor de ε para os principais materiais isolantes está indicado no quadro da página 38. Tratam-se de valores médios, a 20°C e para uma frequência de 50 Hz, podendo a permitividade variar em largas proporções, em função da composição da mistura isolante da frequência e da temperatura.

r_1 : raio da alma condutora (mm), (compreendendo a camada semi-condutora, eventual sobre a alma condutora);

r_2 : - cabo com écran: raio sobre o invólucro isolante (mm), (não se entrando em conta com a camada semi condutora eventualmente sobre o isolante);

- cabo sem écran: raio sob o elemento tomado como potencial de referência (mm), (raio sob a armadura ou raio exterior);

b : distância do eixo do condutor ao eixo do cabo (mm).

Na prática a capacidade aparente real pode diferir sensivelmente do valor calculado devido a vários factores, por exemplo:

— condutores com forma sectorial;

— permitividade relativa não uniforme desde que sejam consideradas várias camadas (isolante, enchimentos, bainha...).

Por essa razão, desde que se torne necessário dispor de um valor preciso da capacidade aparente, será preferível obtê-lo através de medições*:

— cabo de campo radial: será igual à capacidade parcial entre alma condutora e écran;

— cabo de campo não radial: a capacidade aparente não é directamente mensurável sendo obtida através de várias medições. Para um cabo tripolar temos, por exemplo, a seguinte sequência de medições:

• capacidade entre um condutor e os outros dois ligados ao potencial de referência, seja C_1,

• capacidade entre dois condutores, ligados entre si, e o terceiro ligado ao potencial de referência, seja C_2.

O valor procurado é então dado pela relação:

$$C = 2C_1 - \frac{C_2}{2}$$

7 - Corrente de carga ou corrente capacitiva

Numa canalização de comprimento *l*(km), submetida a uma tensão simples sinusoidal U_0 (volt) e com uma capacidade C (μF), funcionando em vazio, os condutores são percorridos por uma corrente cujo valor na extremidade da alimentação é:

$$\mathbf{Ic = U_0 C\ \omega\ \mathit{l}\ .\ 10^{-6}(A)}$$

*O mesmo acontece para os cabos de 4 ou 5 condutores, nos quais a capacidade aparente não pode ser expressa por uma relação simples

8 - Impedâncias Aparentes de um Condutor

A impedância $\bar{Z}$ de um circuito é a razão entre a tensão $\bar{U}$ aplicada aos seus terminais e a intensidade $\bar{I}$ de corrente que o atravessa:

$\bar{Z} = \frac{\bar{U}}{\bar{I}}$, $\bar{Z}$ será expresso em ohm (Ω) se $\bar{U}$ for expresso em volt (V) e $\bar{I}$ em ampere (A)

Para estudar o funcionamento de uma canalização trifásica, em qualquer regime, e em particular no caso de curto-circuito, é usual utilizar o método das «componentes simétricas», que consiste em decompor o sistema de tensões e correntes em três sistemas simétricos, designados respectivamente por sistema directo, sistema inverso e sistema homopolar. A impedância oferecida pelo circuito depende do sistema em estudo.

Notações anteriormente usadas:

R = resistência aparente de um condutor em corrente alternada à temperatura de serviço (Ω/km),

R_E = resistência do écran à temperatura de serviço (Ω/km), em corrente alternada,

L = indutância própria aparente de um condutor (H/km),

M = indutância mútua entre a alma condutora e o écran (H/km),

d = diâmetro da alma condutora (mm),

d_m = diâmetro médio do écran (mm),

a_m = distância geométrica média entre os condutores (mm),

f = frequência (Hz),

$\omega = 2 \pi f$ (rad/s).

A - Impedância directa Z_d e inversa Z_i

Se a disposição das fases é simétrica, por exemplo em trevo juntivo, estas impedâncias são iguais e dadas pelas expressões que se seguem, nas hipóteses:

a) correntes induzidas nos écrans, desprezáveis:

$$\bar{Z}_d = \bar{Z}_i = R + jL\omega, (\Omega / km); \text{em módulo: } |\bar{Z}| = \sqrt{R^2 + L^2\omega^2}$$

b) correntes induzidas nos écrans, não desprezáveis (cabos unipolares com bainha de chumbo):

$$\bar{Z}_d = \bar{Z}_i = \left[R + \frac{R_E}{1 + \frac{R_E^2}{M^2\omega^2}} \right] + j\omega \left[L - \frac{M}{1 + \frac{R_E^2}{M^2\omega^2}} \right] (\Omega / km)$$

B - Impedância homopolar

O seu valor depende em grande parte do meio envolvente da canalização: características do solo, presença nas proximidades de outras canalizações ou massas metálicas (por exemplo: tubos, carris), etc.

Por essa razão o método de cálculo indicado a seguir, baseado em várias hipóteses simplificativas, deverá ser apenas considerado como meio para obter uma ideia, da grandeza, da impedância homopolar. Para obter um valor mais preciso, é necessário efectuar uma medição directa no local depois de instalada a canalização.

Se admitirmos que o retorno da corrente homopolar se efectua simultâneamente, pelo solo e pelos écrans ligados à terra nas duas extremidades, a impedância homopolar é dada por:

$$\bar{Z}_o = \bar{Z}_A - \frac{\left(\bar{Z}_M\right)^2}{Z_E}(\Omega / km)$$

em que $\bar{Z}_A, \bar{Z}_E, \bar{Z}_M$ para o caso de um terno de cabos unipolares são dadas por:

$$\bar{Z}_A = R + 3Rs + j4\pi f \ln\left[\frac{2h^3}{0,779 d.a_m^2}\right]10^{-4}(\Omega / km)$$

$$\bar{Z}_E = R_E + 3Rs + j4\pi f \ln\left[\frac{2h^3}{d_m a_m^2}\right]10^{-4}(\Omega / km)$$

$$\bar{Z}_M = 3Rs + j4\pi f \ln\left[\frac{2h^3}{d_m a_m^2}\right]10^{-4}(\Omega / km)$$

Além das notações relembradas atrás, temos:

R_s = resistência do solo em corrente alternada: π^2 f. 10^{-4} (Ω/km),

h = profundidade equivalente de retorno pelo solo: $659\sqrt{\frac{\rho_s}{f}}10^{+3}$

Sendo ρs a resistividade eléctrica do solo que poderá ser considerada em primeira aproximação para um solo normal de uma zona temperada igual a l00 Ω.m.

Nota: Se supusermos que o retorno da corrente homopolar se efectua:

— exclusivamente pelos écrans $\bar{Z}_o = \bar{Z}_A + \bar{Z}_E - 2\bar{Z}_M$

— exclusivamente pelo solo $\bar{Z}_o = \bar{Z}_A$

9 - Gradiente de Potencial

O gradiente de potencial num ponto do invólucro isolante é o valor do campo eléctrico nesse ponto.

Notações:

$\mathbf{U_o}$= tensão simples (fase-neutro) (V);

r_1 = raio da alma condutora (considerando a camada semi-condutora, eventualmente colocada sobre a alma) (mm);

r_2 = raio sobre o invólucro isolante de um condutor (não considerando a camada semi-condutora, eventualmente colocada, sobre o isolante) (mm).

A - Cabo de campo radial (com alma condutora circular)

As linhas do campo eléctrico são radiais e, consequentemente, as superfícies equipotenciais são cilíndricas e concêntricas em relação à alma condutora. O gradiente, num dado ponto distante de x (mm) em relação ao centro do condutor, é dado por:

$$Gr = \frac{U_o}{x \ln \frac{r_2}{r_1}} \left(V / mm\right)$$

O gradiente é máximo na superfície da alma condutora ($x=r_1$) e mínimo na periferia do invólucro isolante ($x=r_2$).

Estes resultados só são válidos em tensão alternada, em que a repartição do campo é de origem capacitiva. Pelo contrário, sob o efeito de uma tensão contínua, o gradiente distribui-se em função da resistividade do isolante. Em função da variação desta, com a temperatura e com o gradiente, pode produzir-se uma uniformização da solicitação dieléctrica no isolante, ou mesmo, uma inversão, isto é, o gradiente é máximo na periferia.

Secção óptima: para uma dada tensão e um dado valor máximo admissível do gradiente, existe uma secção óptima cujo raio r sobre a alma condutora, conduz a um raio mínimo r_2 para o isolante. Temos então:

$$r_1 = \frac{U_o}{Gr\ máximo} \quad e \quad r_2 = 2,718\, r_1$$

Isto explica a razão em escolher a secção óptima, particularmente nos cabos AT, desde que a intensidade a transmitir seja pequena. A escolha da secção necessária para o aquecimento, se for menor do que a secção óptima, necessita de um reforço da espessura do isolante, o que conduzirá a um cabo de maiores dimensões.

B - Cabo de campo não radial

Se o cabo for alimentado em tensão alternada, o campo eléctrico num dado ponto é, constantemente variável em grandeza e direcção. O gradiente é máximo na superfície da alma condutora e no ponto situado sobre a linha que une o centro do condutor ao centro do cabo. É dado aproximadamente por:

$$\text{Gr máximo} = \frac{U_o}{r_1 \ln \frac{1{,}155 r_2}{r_1}} (\text{V / mm})$$

C - Fenómenos de concentração do campo eléctrico

Na vizinhança de uma parte condutora, com um raio de curvatura pequeno, as linhas do campo sofrem uma concentração e o gradiente pode crescer em grandes proporções. Este fenómeno é designado por efeito de pontas.

É uma das razões pela qual, desde que a tensão de serviço seja importante, é necessário munir a alma condutora com uma camada condutora, a fim de evitar que na vizinhança das irregularidades da superfície da alma condutora, a solicitação dieléctrica atinja um valor proibitivo.

Pela mesma razão, nas caixas de extremidade, convém a partir de um certo valor da tensão, limitar o gradiente no final do écran, e reparti-lo regularmente ao longo da linha de fugas, por meio de um deflector ou de um sistema repartidor do campo.

10 - Resistência térmica

Os diferentes elementos do cabo e o meio envolvente opõem uma certa resistência à propagação do calor. A diferença de temperatura $\Delta\theta$, entre as duas faces de um elemento, é proporcional à potência calorífica W, que o atravessa:

$$\Delta\theta = \mathbf{T.W}$$

T é a resistência térmica do elemento considerado. Exprime-se em K.m/W se $\Delta\theta$ e W forem expressos em K e watt por metro de cabo, respectivamente.

Esta relação sendo formalmente idêntica à lei de Ohm, permite que os circuitos eléctricos e térmicos possam ser estudados da mesma maneira, mediante as analogias seguintes:

diferença de temperatura	⟷	diferença de potencial
potência calorifica	⟷	intensidade de corrente
resistência térmica	⟷	resistência eléctrica

Desde que o calor se propague por condução, a resistência térmica pode escrever-se sob a forma:

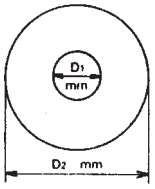
$$T = \rho_T \cdot F \qquad \text{em que}$$

ρ_T = resistividade térmica do material constituinte, K.m/W;

F = factor dependente da forma e das dimensões do elemento considerado.

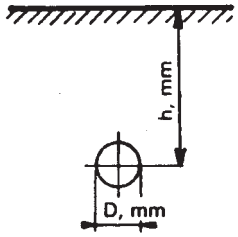
Exemplos:

1 - resistência térmica de uma bainha cilíndrica:



$$T = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \frac{D2}{D1}$$

2 - resistência térmica do solo que envolve um cabo enterrado:



$$T = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \left[\frac{2h}{D} + \sqrt{\left(\frac{2h}{D}\right)^2 - 1} \right]$$

Se h for muito superior a D:

$$T = \frac{\rho_T}{2\pi} \ln \frac{4h}{D}$$

11 - Resistência de Isolamento

É a resistência eléctrica que se opõe à passagem da corrente através do invólucro isolante. Para os isolamentos tradicionais, as perdas térmicas correspondentes às frequências industriais, são desprezáveis. A resistência de isolamento não tem, em valor absoluto, uma relação directa com a qualidade dieléctrica do isolante, e não permite, contrariamente aos ensaios de comportamento dieléctrico, ajuizar de maneira formal sobre o comportamento do cabo em serviço. No entanto, a sua variação eventual no tempo, ou em função de outros parâmetros, pode indicar uma modificação das características do isolante.

A resistência de isolamento, de um condutor ou cabo de campo radial, é calculada como segue:

$$Ri = Ki \log \frac{r_2}{r_1} \; (M\Omega.km)$$

r_1 = raio da alma condutora (considerando a camada semi-condutora eventualmente colocada sobre a alma condutora) (mm);

r_2 = raio sobre o invólucro isolante (não considerando a camada semi-condutora eventualmente sobre o isolante) (mm);

K_i = constante de isolamento, característica do material, MΩ.km. Pode variar sensivelmente, segundo a natureza ou a composição do material, e no sentido inverso da temperatura.

Os valores médios de K_i para os diferentes isolantes usados estão indicados no quadro 18.

A relação anterior pode estender-se, em primeira aproximação, ao cálculo da:

— resistência de isolamento de um condutor, de campo radial ou não, com:

$r_2 = r_1$ + espessura do invólucro isolante individual + espessura da bainha de cintura;

— resistência de isolamento entre dois condutores, com:

$r_2 = r_1$ + espessura total do isolamento entre as duas almas condutoras.

Observações:

— A resistência de isolamento é função das características dimensionais do cabo e inversamente proporcional ao seu comprimento.

— A resistência de isolamento, medida numa canalização instalada, é geralmente inferior à do cabo, devido aos acessórios da rede (influência, por exemplo, da presença de humidade na superfície das extremidades e uniões).

— A resistência de isolamento depende dos tipos de isolantes utilizados (quadro 18).

3.1.2 - Perdas

1 - Perdas de Joule

As perdas por efeito de Joule num condutor, que transmite uma intensidade eficaz **I** (ampere), são dadas por:

$$W_j = R\ \mathbf{I}^2,\ (W/km)$$

Sendo R a resistência em corrente alternada à temperatura θ

2 - Perdas nos revestimentos metálicos

Se um cabo comporta um écran metálico ou uma armadura, a circulação de corrente alternada na alma condutora provoca perdas nesses elementos:

— por efeito de Joule, devido à circulação de correntes indutivas;

— magnéticas, por correntes de Foucault e por histerese.

Perdas de Joule no écran

No estudo do funcionamento térmico de um cabo, representam-se essas perdas suplementares, por um aumento fictício da resistência aparente dos condutores.

Duas situações podem verificar-se, conforme for executada a ligação dos écrans à terra:

a) se os écrans estão ligados entre si e à terra, numa das extremidades da canalização de comprimento *l* (km), observa-se na outra extremidade:

— um aumento do potêncial dos écrans em relação à terra dado por E*l*;

— uma diferença de potencial entre os écrans que será dada por:

• 2 E *l* em regime monofásico,

• E*l*$\sqrt{3}$ em regime trifásico.

Nota: Se estas subidas de potencial forem susceptíveis de tomar valores proibitivos, nomeadamente no caso de curto-circuito monofásico da instalação, é necessário prever um dispositivo que permita limitá-las. A subida do potencial do écran em relação à terra e em regime normal não deve ultrapassar 50 V (ver quadro 52).

b) Se os écrans estão ligados, entre si e à terra, nas duas extremidades da canalização, são percorridos por uma corrente induzida:

$$I_E = \frac{E}{\sqrt{R_E{}^2 + M^2\omega^2}} = \frac{I}{\sqrt{1 + \frac{R_E{}^2}{M^2\omega^2}}} \text{ (A)}$$

R_E = resistência do écran à temperatura de serviço (Ω/km).

— As perdas Joule no écran terão por valor:

$$W_E = R_E I_E{}^2 = \frac{R_E I^2}{1 + \frac{R_E{}^2}{M^2\omega^2}} \text{ (W / km)}$$

O termo $\frac{R_E}{1 + \frac{R_E{}^2}{M^2\omega^2}}$ representa o aumento fictício, λ R da resistência aparente do condutor, devido às perdas no écran provocadas pela corrente de circulação.

— A corrente $\mathbf{I_E}$ ao atravessar o écran, cria um fluxo magnético que se opõe àquele que é criado pela corrente **I** que atravessa a alma condutora. Este fenómeno pode traduzir-se por uma diminuição da indutância própria aparente do condutor igual a:

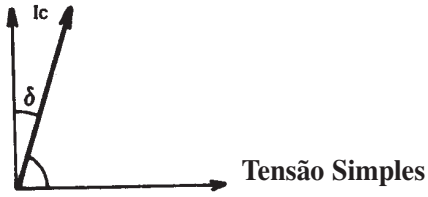
$$\frac{M}{1 + \frac{R_E{}^2}{M^2\omega^2}}$$

Perdas magnéticas

Se o écran ou armadura envolve o conjunto das fases, o campo magnético resultante, assim como as perdas correspondentes são pequenas em regime equilibrado. Pelo contrário, para os cabos unipolares, o aumento da resistência aparente pode atingir valores não desprezáveis. Isto impede, em particular, o emprego de armaduras magnéticas neste tipo de cabos. Além disso, é necessário ter um cuidado especial para que elementos magnéticos exteriores aos cabos, não formem um circuito magnético fechado, envolvendo uma só fase (tubos metálicos, armações metálicas dos maciços de betão, etc.)

3 - Perdas dieléctricas

Num dieléctrico perfeito, a corrente capacitiva está rigorosamente em avanço de $\pi/2$ em relação à tensão aplicada. Pelo contrário, no caso dos dieléctricos usados industrialmente o desfasamento é ligeiramente inferior a $\pi/2$. Este facto traduz-se por uma perda de energia que provoca o aquecimento do isolante.



A tg δ é a chamada tagente do ângulo de perdas do dieléctrico, ou factor de perdas (ou ainda factor de potência do dieléctrico).

O seu valor depende da tensão, da frequência e da temperatura. Os valores médios da tg δ à temperatura de 20 °C e à frequência de 50 Hz estão indicados, para os principais isolantes, no quadro 18.

As perdas no dieléctrico de um condutor são dadas por:

$$W_d = U_o^2 \, C \, \omega \, tg \, \delta \, .10^{-6} \, (W/km)$$

Desenvolvendo esta expressão substituindo a capacidade pela sua expressão de cálculo, obtém-se na nova expressão um factor $\varepsilon.tg\delta$ designado por factor de perdas do dieléctrico.

3.1.3 - Intensidade Admissível em Regime Permanente

O calor produzido:

— nos condutores por efeito de Joule;

— no invólucro isolante e no revestimento metálico se o cabo for alimentado em tensão alternada;

atravessa, por condução, as diferentes camadas do cabo, sendo depois libertado no meio exterior por dois processos:

— convecção e irradiação se o cabo está colocado ao ar;

— por condução se o cabo está enterrado no solo.

Desde que, no mesmo intervalo de tempo, a soma das perdas térmicas produzidas, seja igual às perdas dissipadas para o meio ambiente, estabelece-se um estado de equilíbrio, e a temperatura da alma condutora toma um valor constante. Este não deverá ultrapassar um valor fixado pelo comportamento do isolante escolhido e, eventualmente, pelo comportamento dos outros materiais constituintes do cabo, a fim de assegurar, para o mesmo, uma duração de vida normal.

Chama-se intensidade máxima admissível em regime permanente ao valor da intensidade que provoca, para um determinado meio envolvente, o aquecimento dos condutores até ao valor máximo permitido.

A CEI 60287 apresenta o método de cálculo intensidade admissível em regime permanente á plena carga, tendo em conta o modelo de representação de um cabo do ponto de vista térmico:

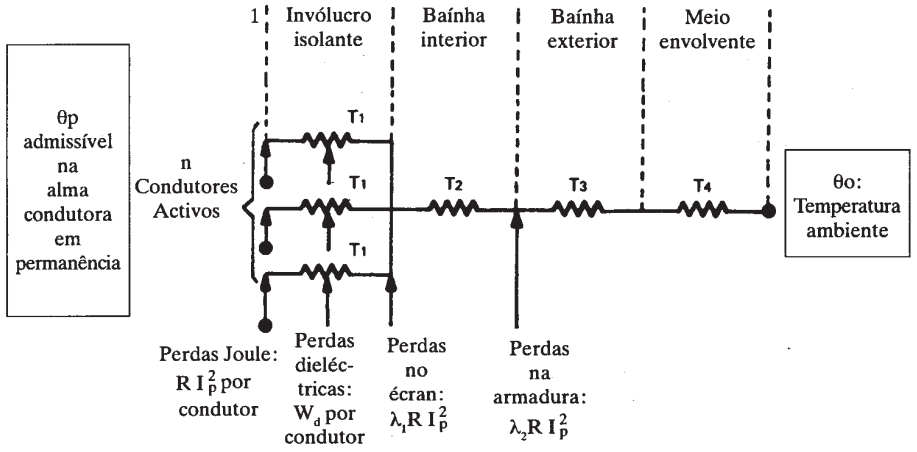


Figura 2 - Esquema para o cálculo da Intensidade Admissível em Regime Permanente

Notas:

I_p = intensidade admissível num condutor em regime permanente (A);

θ_p = temperatura admissível na alma condutora em permanência (°C);

θ_o= temperatura do meio envolvente (ar ou solo) (°C);

R = resistência de um condutor em corrente alternada, à temperatura de serviço (Ω/m);

W_d = perdas dieléctricas no isolante de um condutor (W/m);

T_1 = resistência térmica do invó1ucro isolante de um condutor (K.m/W);

T_2 = resistência térmica da bainha interior (K.m/W);

T_3 = resistência térmica da bainha exterior (K.m/W);

T_4 = resistência térmica do meio envolvente (K.m/W);

n = número de condutores efectivamente percorridos pela corrente eléctrica;

λ_1 = razão entre as perdas no écran e as perdas de Joule nos condutores;

λ_2 = razão entre as perdas na armadura e as perdas de Joule nos condutores.

Admitindo-se que:

— as perdas dieléctricas, uniformemente repartidas no isolante, podem considerar-se como sendo geradas no meio das resistências térmicas T_1 dos invólucros isolantes;

— as resistências térmicas dos revestimentos metálicos são desprezáveis, comparadas com as dos restantes elementos,

a fórmula geral, que dá a intensidade admissível em regime permanente Ip , é:

$$\theta_p - \theta_o = \left[\left(RIp^2 + 1/2\,W_d\right)T_1 + \left[RIp^2\left(1+\lambda_1\right) + W_d\right]nT_2 + \left[RIp^2\left(1+\lambda_1+\lambda_2\right) + W_d\right]n\left(T_3+T_4\right)\right]$$

Caso as perdas dieléctricas e as perdas nos revestimentos metálicos sejam consideradas desprezáveis, comparadas com as perdas de Joule nos condutores:

$$I_p = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_o}{R\left[T_1 + n(T_2 + T_3 + T_4)\right]}}$$

Esta última relação permite determinar:

a) a intensidade admissível I'_p para uma temperatura ambiente θ'_o diferente de θ_o:

$$I'_p = I_p\sqrt{\frac{\theta_p - \theta'_o}{\theta_p - \theta_o}}$$

b) a temperatura θ, atingida pela alma condutora para uma intensidade a transmitir I diferente de I_p, obtém-se resolvendo a seguinte equação:

$$\frac{I}{I_p} = \sqrt{\frac{\theta - \theta_o}{\theta_p - \theta_o}\,\frac{1+\alpha_{20}\left(\theta_p - 20\right)}{1+\alpha_{20}(\theta - 20)}}$$

Para as condições de temperatura ambiente geralmente usadas para a colocação no solo (θ_o = 20 °C) ou ao ar livre (θ_o = 30 °C) e para diferentes valores da temperatura máxima admissível θp:

— os quadros 34 e 35 dão o valor da razão $\frac{I'_p}{I_p}$ em função de θ'_o;

— os gráficos 15 e 16 dão o valor de θ em função da razão $\frac{I}{I_p}$.

Gráfico 15 - Temperatura da Alma Condutora para uma Intensidade Diferente da Intensidade Admissível em Permanência

Temperatura ambiente: 20 °C

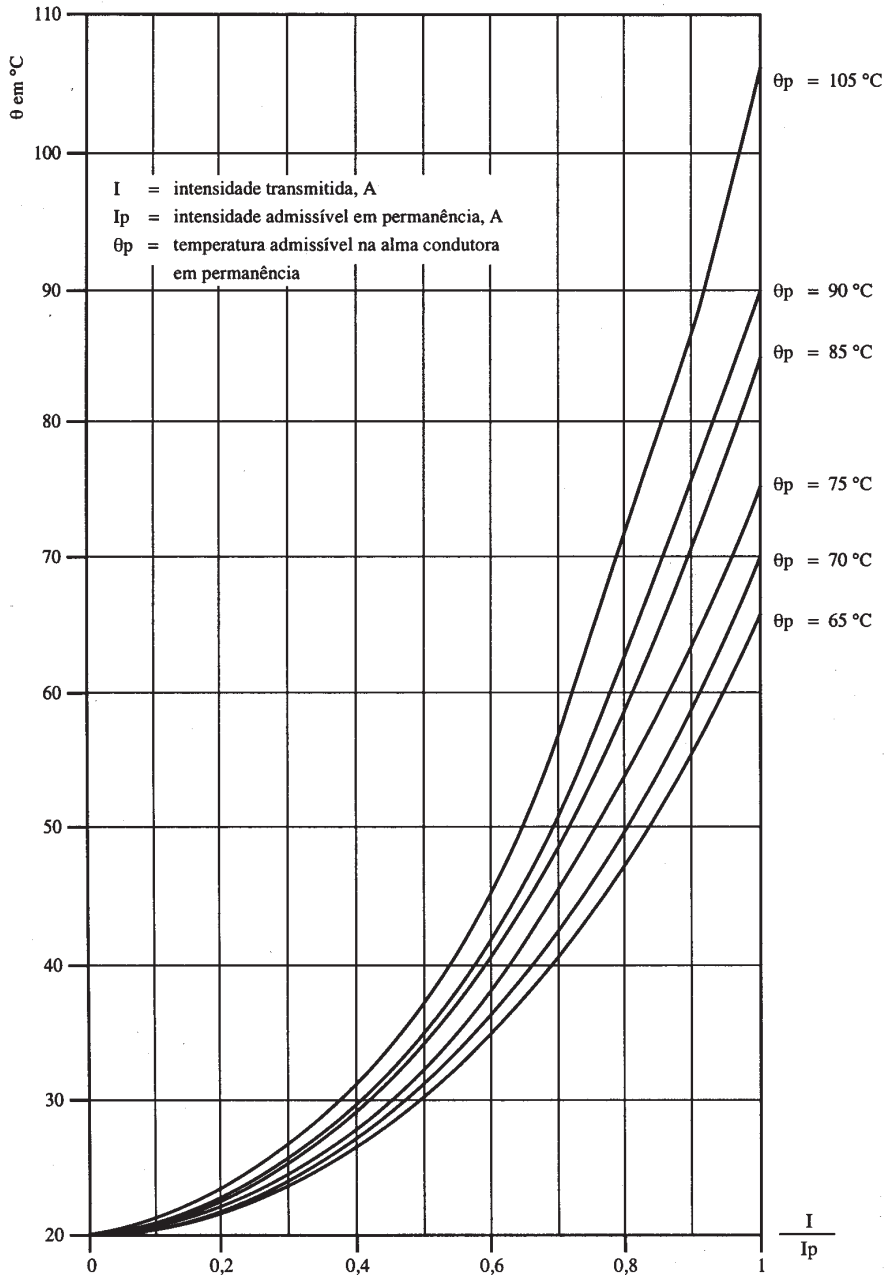
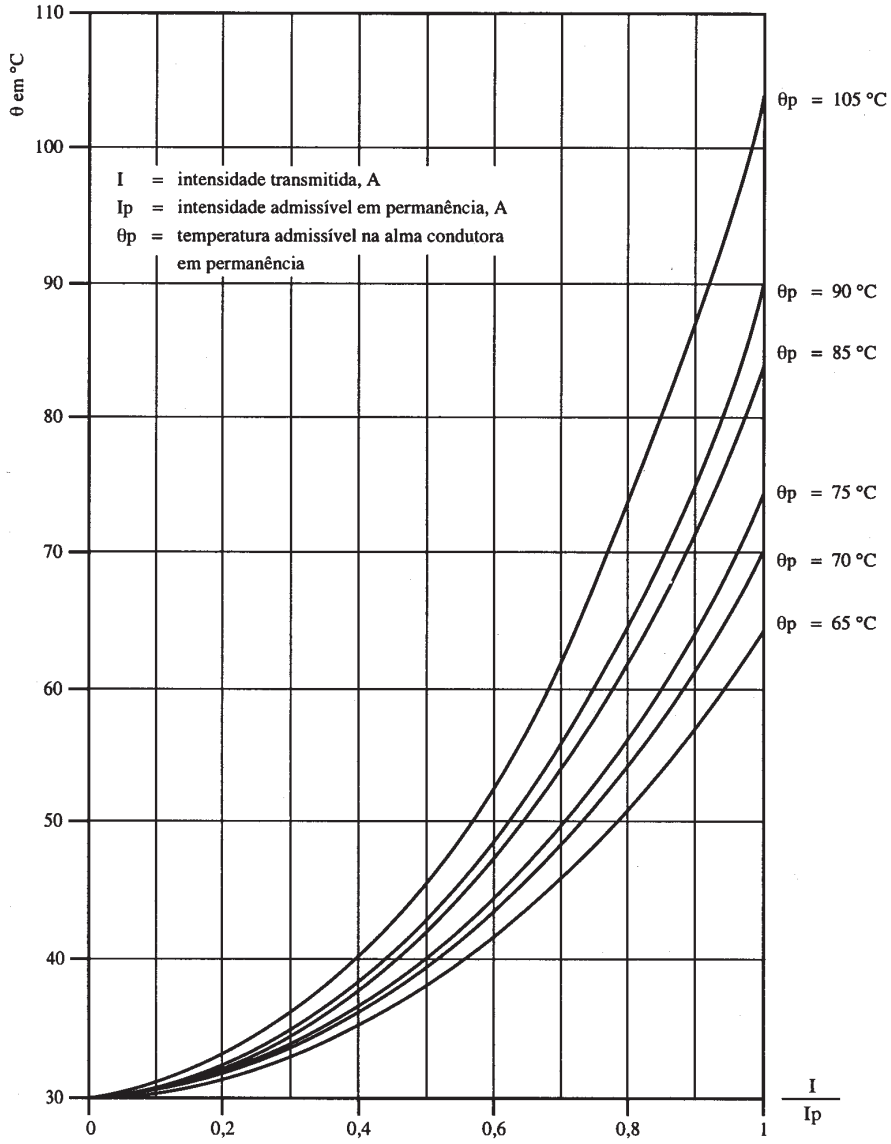


Gráfico 16 - Temperatura da Alma Condutora para uma Intensidade Diferente da Intensidade Admissível em Permanência

Temperatura ambiente: 30 °C



3.2 - Protecção de Pessoas e Bens nas Instalações de Baixa Tensão

A - Introdução

A escolha das medidas de protecção a adoptar numa instalação depende, essencialmente, do material utilizado e das condições de alimentação e exploração.

As indicações dadas nas páginas seguintes destinam-se a precisar vários termos e noções, relativas à protecção contra as sobreintensidades e os choques eléctricos, numa instalação BT. Tratam-se de elementos simplificados condizentes para cada caso, com as normas e textos regulamentares aplicáveis em particular o RSIUEE. As prescrições deste último são, em grande parte, retiradas dos trabalhos internacionais efectuados no quadro da CEI e do CENELEC.

B - Terminologia

— **condutor activo:** condutor destinado a transmissão de energia eléctrica, incluindo também o condutor neutro, em corrente alternada, e o condutor de retorno, em corrente contínua;

— **parte activa:** condutor activo ou peça condutora de material eléctrico susceptível de se encontrar sob tensão, em serviço normal;

— **massa:** todo o elemento metálico susceptível de ser tocado e, normalmente, isolado das partes activas, mas podendo acidentalmente ficar sob tensão;

— **tomada de terra:** toda a peça ou todo o conjunto de peças condutoras, em contacto directo com o solo, assegurando, assim, uma ligação eficaz com a terra;

— **corrente de defeito:** corrente resultante de uma ligação acidental, de impedância desprezável ou não, entre dois pontos a potenciais diferentes;

— **corrente de fuga:** corrente que se escoa, num circuito electricamente são, para a terra ou para elementos condutores, resultante da resistência de isolamento e da capacidade do circuito;

— **sobreintensidade:** corrente superior a corrente nominal. Distinguem-se:

  • **corrente de sobrecarga:** sobreintensidade criada num circuito electricamente são, resultante de um pedido adicional de potência;

  • **corrente de curto-circuito:** sobreintensidade provocada por um defeito de impedância muito baixa;

— **contacto directo:** contacto entre uma pessoa e uma parte activa;

— **contacto indirecto:** contacto entre uma pessoa e uma massa colocada acidentalmente sob tensão;

— **tensão de contacto:** tensão que aparece, durante um defeito de isolamento, entre partes simultaneamente acessíveis a uma pessoa;

— **condutor de protecção:** condutor utilizado, em certas medidas de protecção, contra contactos indirectos, ligando as massas:

  • quer a outras massas;

  • quer a elementos condutores, não fazendo parte da instalação eléctrica, mas susceptíveis de propagar um potencial;

  • quer a tomadas de terra, a um condutor ligado à terra ou a uma parte activa ligada a terra;

— **condutor de terra:** condutor de protecção ligado a uma tomada de terra;

— **dispositivo de protecção da corrente diferencial residual (ou, simplesmente dispositivo diferencial):** dispositivo sensível à soma vectorial das correntes que circulam nos diferentes condutores activos. A resultante desta é composta pelas correntes de fuga e de defeito, a jusante do ponto onde o dispositivo está instalado. O circuito magnético do transformador, do dispositivo diferencial deverá envolver, por consequência, todos os condutores activos do circuito, o neutro, inclusive. O condutor de protecção deverá, pelo contrário, passar no exterior do circuito magnético.

C - Protecção dos condutores contra sobreintensidades

Todos os condutores activos deverão ser protegidos contra as sobreintensidades, por aparelhos de corte automático. A natureza destes últimos (corta-circuito fusível, disjuntor), as suas características de funcionamento e as suas aplicações deverão ser de tal maneira escolhidos, que o aquecimento resultante da sobreintensidade prevista não seja prejudicial ao comportamento dos condutores, às suas ligações e ao meio envolvente. O neutro não deve possuir qualquer aparelho de protecção.

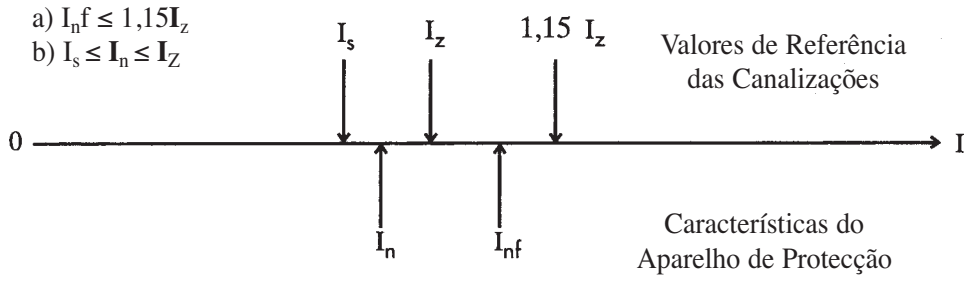
Regras práticas segundo o regulamento de segurança de instalações de utilização de energia eléctrica:

— dispositivo de protecção contra sobrecargas:

  • a sua intensidade limite de não funcionamento (I_{nf}) não deverá ser superior a 1,15 vezes à intensidade de corrente máxima admissível na canalização (I_z),

  • a sua intensidade nominal (I_n), ou de regulação, deverá ser superior à intensidade de corrente máxima admissível na canalização (I_z). É de notar que a secção dos condutores da canalização será escolhida de tal maneira que a intensidade de serviço do circuito (I_s) seja no máximo igual à intensidade corrente (I_z).

A figura seguinte esquematiza as relações atrás consideradas:



— o dispositivo de protecção contra os curto-circuitos deverá responder às duas condições seguintes:

- poder de corte pelo menos igual à corrente de curto-circuito prevista nesse ponto da instalação;
- tempo de corte t (segundos) inferior ao valor calculado pela seguinte fórmula (com um limite máximo de 5 segundos):

$$\sqrt{t} = k\frac{S}{I_{cc}}$$

S = secção dos condutores a proteger (mm^2);

I_{cc} = intensidade de curto-circuito prevista (A);

k = constante definida no quadro seguinte.

Quadro 51 - Valor da Constante k

Natureza do Isolante	Natureza do metal condutor	
	Cobre	Alumínio
PVC	115	74
Borracha, PEX, EPR, Silicone	135	87

— por outro lado, a protecção contra as sobrecargas e os curto-circuitos poderá ser assegurada, segundo o caso, por:

- um mesmo dispositivo;
- dispositivos distintos. É necessário ter em atenção que a energia, que o dispositivo de protecção contra os curto-circuitos deixa passar, não danifique o dispositivo de protecção contra sobrecargas. Recomenda-se não ultrapassar uma razão de 2,5 entre as suas correntes nominais respectivas.

D - Protecção das pessoas contra os choques eléctricos

a) Protecção contra contactos directos

Ela é, essencialmente, assegurada por medidas preventivas, tomadas ao nível da construção do material e da sua instalação. Estas consistem em evitar permanentemente todo e qualquer contacto, voluntário ou fortuito, entre as pessoas ou os objectos que elas possam manipular ou transportar e as partes activas da instalação eléctrica. São asseguradas:

- por isolamento das partes activas;
- por meio de obstáculos;
- por afastamento.

Em certos casos, estas medidas podem ser complementadas com o uso de um dispositivo diferencial, conferindo igualmente uma protecção contra contactos indirectos.

b) Protecção contra contactos indirectos

Medidas passivas ou preventivas, sem originarem corte automático da alimentação. Se elas têm um certo interesse teórico, revelam-se, muitas vezes, de difícil aplicação prática. Estas medidas são, por consequência, reservadas a certas partes das instalações, nomeadamente, desde que a aplicação de medidas activas seja impraticável.

Consistem, quer em impedir qualquer contacto simultâneo de massas e elementos com um potencial elevado, quer em tornar esses contactos menos perigosos recorrendo, por exemplo a:

— emprego da tensão reduzida de segurança (50 V em tensão alternada, 75 V em tensão contínua);

— emprego de materiais da classe II de isolamento;

— separação de segurança dos circuitos;

— afastamento ou uso de obstáculos;

— isolamento das massas;

— estabelecimento de ligações equipotenciais;

— etc.

Medidas activas ou operativas, com corte automático da alimentação:

— um dispositivo de protecção deve colocar, automaticamente sem tensão, a parte da instalação que ele protege, desde que, durante um defeito nesta, seja susceptível o aparecimento de uma tensão de contacto perigosa, isto é, de:

- 50 V em instalações que alimentem aparelhos de utilização fixos ou móveis que não possuam massas susceptíveis de serem empunhadas;
- 25 V em instalações que alimentem aparelhos de utilização fixos ou móveis que possuam massas susceptíveis de serem empunhadas ou aparelhos de utilização portáteis.

O corte da tensão deverá ser efectuado num tempo inferior ao determinado no quadro 52, em função da tensão de contacto previsível. Este quadro corresponde a instalações correntes (locais não molhados) alimentadas em tensão alternada ou tensão contínua, nas condições normais de exploração e manutenção. Valores mais severos poderão ser considerados em certos casos particulares.

Quadro 52 - Tempo de actuação dos aparelhos de protecção

Tensão do contacto previsível (V)	Tempo máximo de actuação do aparelho de protecção (V)
25	5
50	1
70	0,5
80	0,4
110	0,2
150	0,1
220	0,05
280	0,03

Massas:

— todas as massas da instalação deverão ser ligadas a um condutor de protecção;

— as massas, simultaneamente acessíveis, deverão estar ligadas à mesma tomada de terra, mesmo que pertençam a instalações diferentes;

— o aparecimento de tensões de contacto perigosas, durante o tempo de funcionamento do dispositivo de protecção, deverá ser evitado por meio de ligações equipotenciais:

- ligação equipotencial principal: sempre necessária na entrada de cada edifício, entre todas as canalizações metálicas, os elementos condutores e a tomada de terra, a fim de evitar, particularmente, a propagação de potenciais vindos do exterior,
- ligações equipotenciais secundárias: realizadas, só em certos casos entre as massas e os elementos condutores simultaneamente acessíveis, nomeadamente, desde que o corte não possa ser assegurado de uma maneira suficientemente rápida;

Exclusividade da identificação: os condutores de protecção deverão ser exclusivamente de cor verde-amarelo (ver secção 1.5.2).

A secção dos **condutores de protecção** é determinada, essencialmente, pelo aquecimento admissível, provocado pela passagem da corrente de defeito, pela impedância de defeito e pela resistência mecânica necessária. O quadro 53 indica a relação, geralmente utilizada, entre a secção do condutor de protecção e a secção dos condutores de fase correspondentes.

Quadro 53 - Secção dos condutores de protecção

Secção das fases mm^2	Secção mínima dos condutores de protecção* mm^2
$S \leq 10$	S
$S = 16$	10
$25 \leq S \leq 35$	16
$S > 35$	S/2

* Para os cabos flexíveis a secção do condutor de protecção é igual à secção dos condutores de fase.

A secção dos **condutores de terra** é determinada de maneira análoga e não deve, em caso algum, ser inferior a:

- 25 mm^2, para um condutor em cobre nu,
- 100 mm^2, para um condutor em aço galvanizado.

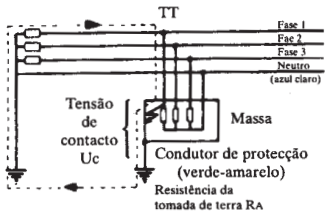
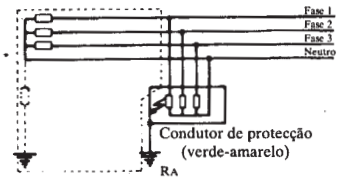
— esquemas das ligações à terra

As características do dispositivo de protecção deverão ser coordenadas com o esquema de ligações à terra da instalação em estudo.

Distinguem-se três esquemas de ligação à terra, assegurando níveis de segurança equivalentes, de modo que todas as prescrições correspondentes sejam respeitadas. A escolha do esquema a utilizar depende, em cada caso, das condições de alimentação e de exploração e deverá ser objecto de um exame detalhado.

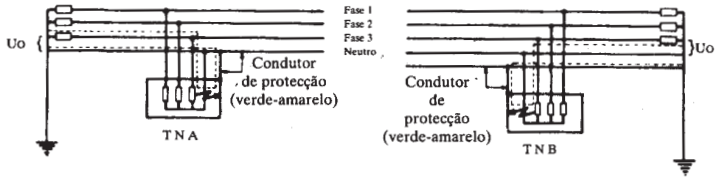
O quadro 54 resume as principais características e condições de utilização dos vários esquemas.

Quadro 54 - Esquema de Ligação à Terra

	TT	IT
Modo de execução das ligações à terra	 **Neutro:** Directamente ligado à terra. **Massas:** Directamente ligadas à terra através de um condutor de protecção.	 **Neutro:** Isolado ou ligado à terra através de uma ligação com uma grande impedância. **Massas:** Directamente ligadas à terra através de um condutor de protecção.
Valor da corrente de defeito	Limitada pela impedância do circuito de defeito (na qual a resistência das tomadas de terra é preponderante), mas suficiente para provocar tensões de contacto perigosas.	**Em caso de defeito simples:** baixa, já que se fecha unicamente pelas impedâncias de fuga da instalação e pela impedância da ligação à terra do neutro, caso exista. Não provoca, em princípio, tensões de contacto elevadas. **Em caso de defeito duplo**: corrente de curto circuito.
Condições principais de aplicação	– **Corte automático no 1° defeito** A corrente I_a que assegura o funcionamento do dispositivo de protecção, num tempo estipulado para a tensão de contacto prevista, deve ser tal que: $I_a \leq \frac{Uc}{Ra}$ – Os valores habituais de RA impõem, geralmente, o uso de um dispositivo diferencial. – Todas as massas protegidas por um mesmo dispositivo devem ser interligadas e ligadas a uma mesma tomada de terra. – O condutor do neutro não deve ser ligado à terra, a jusante de um dispositivo de protecção. – Esquema imposto nas instalações directamente alimentadas por uma rede de distribuição pública BT.	– **Defeito simples:** não é necessário o corte se: $I_{defeito} \leq \frac{Uc}{Ra}$ – Detecção do defeito através de um controlo permanente do isolamento. – Procura e eliminação do defeito. – **Defeito duplo:** corte automático nas mesmas condições que nos esquemas: - TT se todas as massas não estão interligadas. - TN se todas as massas estão interligadas. - Deverá ser colocado um limitador de sobretensões na origem da instalação, entre o neutro e a terra, se esta for alimentada a partir de uma rede MT. - A distribuição do neutro não é aconselhável.

Quadro 54 (cont.) - Esquema de Ligação à Terra

TN



Neutro: Directamente ligado à terra.
Massas: Ligadas ao neutro de um condutor de protecção.
TNA: O condutor do neutro e o de protecção são comuns.
TNB: O condutor do neutro e o de protecção são distintos.

Elevada, visto fechar-se unicamente pelos condutores.

- Corte automático no 1.º defeito

A corrente I_a que assegura o funcionamento do dispositivo de protecção num tempo estipulado para a tensão de contacto prevista, deve ser tal que:

$$I_a \leq \frac{U_o}{Z_d}$$

(U_o: tensão simples fase – neutro; Z_d: impedância do circuito de defeito)

- A relação anterior autoriza que a protecção seja assegurada pelos dispositivos de protecção contra sobreintensidades.

- O esquema TNA não deve ser utilizado a jusante do esquema TNB.

- O esquema TNA é obrigatório nos circuitos cujos condutores têm uma secção inferior a 10 mm2 em cobre ou 16 mm2 em alumínio e para as canalizações móveis.

- O condutor de protecção deve ser ligado ao número máximo de tomadas de terra possível e na proximidade de cada transformador. Deve, de preferência, ser colocado nas mesmas canalizações que as fases e o neutro.

3.3 - Cálculos Mecânicos

3.3.1. - Esforços Electrodinâmicos em Caso de Curto-Circuito

Durante as sobrecargas bruscas e, em particular, durante os curto-circuitos desenvolvem-se esforços electrodinâmicos entre os condutores de fase. Estes esforços não têm repercussões importantes no caso de cabos multipolares ou monopolares enterrados.

Pelo contrário, no caso de cabos unipolares colocados ao ar livre, se não forem tomadas medidas de protecção no momento da instalação (ver ponto 2 da secção 4.1.2) os esforços são susceptíveis de provocar deslocamentos importantes e violentos dos cabos, podendo ser prejudiciais, quer à segurança das pessoas que se encontrem nas proximidades, quer à boa conservação do material.

O esforço electrodinâmico, desenvolvido por metro de canalizacão, é dado por:

$$F = K \frac{I_{cc}^{\ 2}}{a} 10^{-5} \quad \textbf{daN / m}$$

F é uma força de atracção, se os condutores forem percorridos por correntes de sentido idêntico, e de repulsão, no caso contrário;

I_{cc} = intensidade de curto-circuito (A), (em tensão alternada: valor eficaz da componente alternada);

a = distância entre eixos das fases com defeito (mm);

K = coeficiente dependente da forma dos condutores, do seu número, da sua disposição relativa e da natureza do curto-circuito. Podemos admitir, em primeira aproximação, os seguintes valores:

Quadro 55 - Esforços electrodinâmicos

Tipo de curto-circuito / Natureza da canalização	Contínuo ou monofásico ou entre duas fases de um sistema trifásico	Trifásico cabos em triângulo	Trifásico cabos em esteira	
			Fase central	Fase extrema
Canalização MT alimentada:				
- por um transformador de potência elevada	13	11,5	11,5	10,5
- por um transformador de potência média ou baixa	8	7	7	6,5
Canalização BT	10	9	9	8,5

3.3.2 - Determinação da Secção das Armaduras em Fios de Aço

As armaduras em fios de aço são, geralmente, destinadas a resistir aos esforços de tracção longitudinais aplicados aos cabos, quer de forma permanente, em função das condições de utilização, quer temporariamente, no momento da instalação. Por exemplo, é o caso das canalizações:

— enterradas, em terreno instável, ou susceptível de sofrer movimentos;

— submarinas ou subfluviais;

— enfiadas em tubos;

— em galerias ou poços de minas;

— aéreas;

— verticais ou inclinadas.

É de notar que as armaduras, nas quais os fios são solidários com a bainha exterior, oferecem uma melhor garantia contra os riscos de deformação e de torção.

Em função do esforço de tracção aplicado, é prevista a utilização de uma ou duas camadas de fios.

A secção total da armadura é dada por:

$$S = \frac{Fk}{C_r}, mm^2$$

F = esforço de tracção previsto (daN),

k = coeficiente de segurança aplicado. Segundo as condições, estará compreendido entre 3 e 6,

C_r = resistência à ruptura, do aço que constitui os fios (daN/mm^2).

Os fios de aço, de uso corrente, apresentam uma carga de ruptura de 45 a 60 daN/mm^2.

Em certos casos, é necessário recorrer a um aço especial, de resistência mecânica mais elevada, por exemplo, aço de 140 a 160 daN/mm^2.

Quando da colocação vertical do cabo, a armadura é, geralmente, obrigada a suportar todo o peso do mesmo, até ao ponto de fixação. A sua secção calcula-se, então, da seguinte maneira:

$$S = \frac{phk}{C_r} \simeq \frac{p' h}{\frac{C_r}{k} - 8h}, mm^2$$

S, k, C_r = já atrás definidos,

h = altura de suspensão (m),

P = peso do cabo, incluindo a armadura (daN/m),

P'= peso do cabo sem armadura (daN/m).

Esta relação mostra que, para um aço de carga de ruptura C_r e para um coeficiente de segurança k dados, é impossível ultrapassar uma altura igual a:

$$\frac{C_r}{8k}$$

3.3.3. - Esforço de Tracção durante o Enfiamento do Cabo em Tubos

As disposições gerais relativas à colocação dos cabos em tubos serão indicadas no capítulo IV, secção 4.1.2.

É necessário assegurar, previamente, que o esforço de tracção teórico não ultrapasse o valor admissível para o tipo de cabo considerado (ver quadro 24).

O valor do esforço de tracção depende de numerosos parâmetros que não podem ser rigorosamente avaliados: valor exacto dos coeficientes de atrito estático e dinâmico, influência das mudança de direcção, pressão do cabo contra as paredes nas curvas, etc.

O método de cálculo indicado a seguir permitirá, contudo, uma estimativa aproximada.

O esforço de tracção exercido na extremidade do cabo e num ponto qualquer da passagem em tubo é dado por:

$$\mathbf{F = n\ W_c\ k_o\ p\mathit{l},\ daN}$$

Os diferentes parâmetros são explicitados a seguir:

n = número de cabos enfiados simultaneamente no mesmo tubo,

W_c = factor de correcção representando a influência da disposição relativa dos cabos enfiados simultaneamente:

- 1 cabo por tubo: $W_c = 1$,
- 3 cabos por tubo: o valor médio de W_c, correspondente a uma disposição parcialmente em esteira, parcialmente em triângulo, é dado pelo gráfico da página 144, em função da razão entre o diâmetro interior do tubo e o diâmetro dos cabos,

p = peso por metro de cabo, daN/m,

k_o = coeficiente de atrito. Depende da natureza da baínha exterior dos cabos, da natureza do tubo, do emprego eventual de um lubrificante, etc. Tem, por outro lado, um valor estático superior ao valor dinâmico, o que explica que o esforço de tracção máximo é atingido, geralmente, durante os arranques que se seguem às paragens da operação de desenrolar o cabo.

A título indicativo, fornecemos, a seguir, os valores experimentais de k_o no caso de enfiamento em tubos termoplásticos:

Quadro 56 - Valores de K_0 para enfiamento em tubos termoplástcos

Natureza da baínha exterior	Natureza do tubo	Coeficiente de atrito	
		Estático	Dinâmico
PVC	PVC Polietileno	0,5 0,3	0,3 0,2
Polietileno	PVC Polietileno	0,3 0,3	0,2 0,2

l = comprimento aparente do percurso, dentro de tubos, a montante do ponto considerado (m).

Obtém-se gradualmente, a partir da entrada no tubo, pela aplicação das seguintes regras:

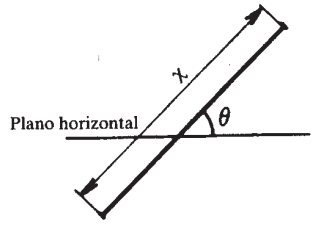
a) comprimento aparente de um troço em linha recta: é igual ao comprimento real;

b) comprimento aparente de um troço inclinado, de comprimento real x:

$$l = \chi\left(\mathrm{Cos}\theta + \frac{1}{W_c K_o}\mathrm{Sin}\theta\right)$$

$\theta > 0$ se a tracção é efectuada para cima, relativamente à horizontal,

$\theta < 0$ se a tracção é efectuada para baixo, relativamente à horizontal.



c) comprimento aparente na saída de uma curva:

l_o = comprimento aparente do percurso, entubado, antes da curva (m),

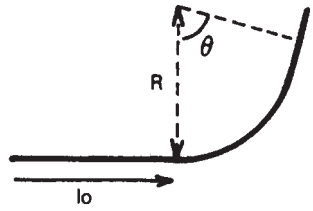
θ = ângulo de curvatura (radianos),

R = raio de curvatura (m),

$k = W_c\, k_o$ coeficiente efectivo de atrito.

• Curvatura no plano horizontal:

$$l = l_o \text{chk}\theta + \sqrt{l_o^{\,2} + \left(\frac{R}{k}\right)^2}\ \text{sh}\ k\theta$$



Apresentamos, no gráfico da página 145 os valores da razão $\frac{l}{l_0}$ em função de $k\theta$ e $\frac{R}{kl_o}$

Desde que $\frac{kl_o}{R} \geq 10$ podemos considerar, com uma boa precisão, a seguinte relação aproximada: $l = l_o e^{k\theta}$

• Curvatura no plano vertical:

As relações correspondentes são mais complexas e saem do âmbito deste livro. Os nossos serviços técnicos estão à vossa disposição para fornecer estas relações a pedido, e para estudar os problemas que possam surgir no enfiamento dos cabos em tubos.

Gráfico 17 - Factor de Correcção Wc para o Enfiamento de 3 Cabos no mesmo Tubo

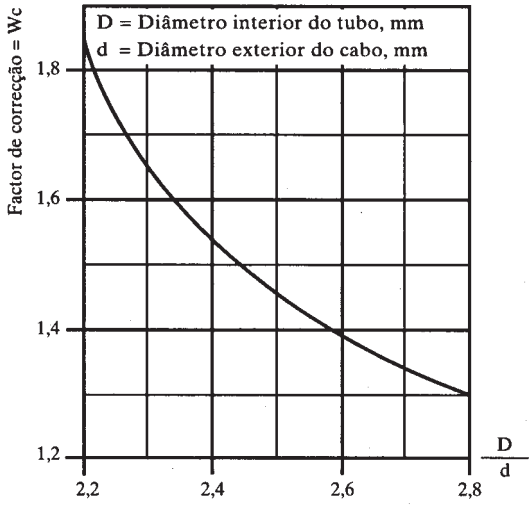
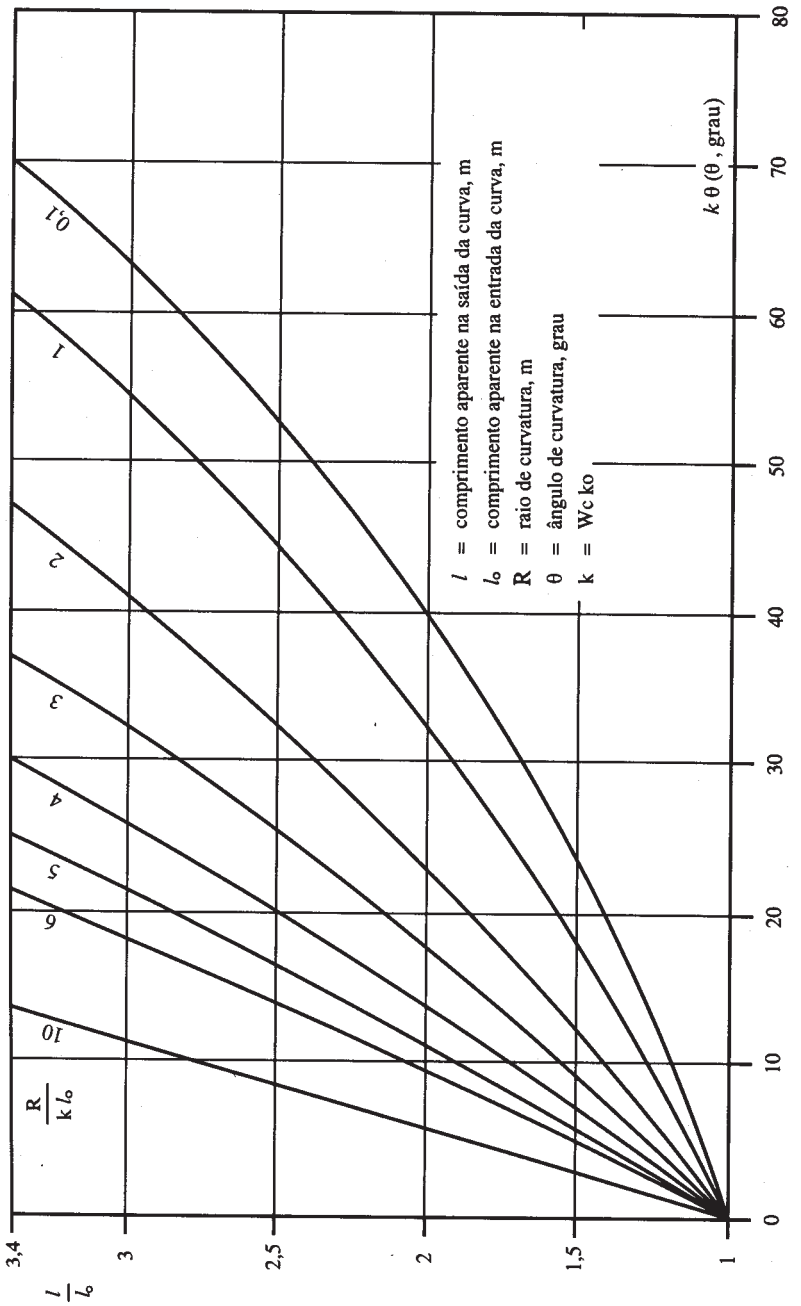


Gráfico 18 - Enfiamento em Tubos com uma Curvatura no Plano Horizontal



3.4 - Grandezas e Unidades

A título informativo, apresenta-se nos quadros seguintes (quadro 57 a 60) Unidades do Sistema Internacional.

Quadro 57 - Grandezas e unidades

A tensão de ruptura exprime-se em MPa; 1 MPa = 10 daN/cm² = 1N/mm²
A resistividade térmica exprime-se em K.m/W; 1 K.m/W = 100 °C. cm/W.

Grandeza	Sistema internacional SI	Unidades fora do sistema SI (Em bold = sistema CGS)			Sistema anglo-saxónico		
		Unidade		Valor no SI	Unidade		Valor no SI
UNIDADES GEOMÉTRICAS							
Comprimento	Metro m	**Centímetro**	cm	10^{-2}	Inch	in (ou ")	$2{,}539.10^{-2}$
		Micron	µm	10^{-6}	Foot (12 in)	ft (ou ')	$3{,}048.10^{-1}$
		Milha		1 852	Yard (3 ft)	yd	0,914
		Angström	Å	10^{-10}	Statute mile	ml	1 609
Superfície	Metro	**Centímetro**			Square inch	sq. in	$6{,}451.10^{-4}$
	Quadrado m^2	**quadrado**	cm^2	10^{-4}	Square foot	sq. ft	$9{,}290.10^{-2}$
		Are	a	10^{2}	Square yard	sq. yd	0,836
					Acre		4 047
					1 000 circular mil	MCM	$5{,}067.10^{-7}$
Volume	Metro	**Centímetro**					
	Cúbico m^3	**cúbico**	cm^3	10^{-6}	Cubic inch	cu. in	$1{,}639.10^{-5}$
					Cubic foot	cu. ft	$2{,}832.10^{-2}$
		Litro	l	10^{-3}	Cubic yard	cu. yd	0,765
					Pint (GB)	pt	$5{,}682.10^{-4}$
					Pint (USA)	U.S. pt	$4{,}732.10^{-4}$
					Imperial gallon (GB)	gl	$4{,}545.10^{-3}$
					U.S. gallon (USA)	U.S. gl	$3{,}785.10^{-3}$
					Barrel (USA)	U.S. bl	0,159
				$\pi/200 =$			
Ângulo plano	Radiano rad	Grado	gr	$1{,}57.10^{-2}$			
				$\pi/180 =$			
		Grau	°	$1{,}74.10^{-2}$			
Ângulo sólido	Esterradiano sr						
UNIDADES DE MASSA							
Massa	Kilograma kg	**Grama**	g	10^{-3}	Ounce	oz	$2{,}835.10^{-2}$
		Tonelada	t	10^{3}	Pound (16 0z)	lb	0,454
					Stone (14 lbs)	st	6,350
					Quarter (2 st)	qr	12,700
					Hundredweight (4 qr)	cwt	50,801
					Long ton (GB) (29 cwt)	ton	1016,047
					Short ton (USA) (2 000 lb)	ton	907,185
Massa volúmica	Kilograma por metro cúbico kg/m^3	**Grama por centímetro cúbico**	g/cm^3	10^{3}	lb / cu.ft		16,020

Quadro 57 - Grandezas e unidades (continuação)

Grandeza	Sistema internacional SI		Unidades fora do sistema SI Em bold = sistema CGS		Sistema anglo-saxónico		
			Unidade	Valor no SI	Unidade		Valor no SI
UNIDADES DE TEMPO							
Tempo	Segundo	s	Minuto	min 60			
			Hora	h 3 600			
Frequência	hertz	Hz	Ciclos por segundo	c/s 1			
UNIDADES MECÂNICAS							
Velocidade	Metro por segundo	m/s	Kilómetro / hora	km / h $2{,}767.10^{-1}$			
			Nó	$5{,}144.10^{-1}$			
Aceleração	Metro por segundo quadrado	m/s^2	Gal	Gal 10^{-2}			
Força	newton	N	**Dine**	dyn 10^{-5}	Pound	lb	4,45
Trabalho--energia	joule	J	**Erg**	10^{-7}	Foot-pound	lb. ft	1,356
			watt-hora	Wh 3 600			
			Electrão-volt	eV $1{,}602.10^{-19}$			
			Calorias	cal 4,186			
Potência	watt	W	**Erg por segundo**	10^{-7}	Horse-power	HP	745,8
			Cavalo vapor	ch 736			
Pressão	pascal	Pa	**Bária**	dyn/cm^2 10^{-1}	pound per sq. in	psi	6 890
			Bar				
			Atmosfera	10^5			
				kg/mm^2 $9{,}8\ 10^{+6}$			
			Atmosfera	101 325			
UNIDADES CALORÍFICAS							
Temperatura	kelvin	K			Grau Fahrenheit	°F	$\theta\ °C = \frac{5}{9}(\theta\ °F - 32)$
	grau celsius	°C			Grau Rankine	°R	0,5555
Quantidade de calor	joule	J	Caloria	cal 4,186	British Thermal Unit	BTU	1 055
			Termia	th $4{,}186.10^6$			
			Frigoria	fg $-4{,}186.10^3$			
UNIDADES ÓPTICAS							
Intensidade luminosa	candela	cd					
Fluxo luminoso	lúmen	lm					
Iluminância	lux	lx	**Phot**	ph 10^4			
Luminância	candela por m^2	cd/m^2					
Vergência	dioptria	δ					

Quadro 57 - Grandezas e unidades (continuação)

Grandeza	Sistema internacional SI	Unidades fora do sistema SI Em bold = sistema CGS		Sistema anglo-saxónico	
		Unidade	Valor no SI	Unidade	Valor no SI
UNIDADES ELÉCTRICAS					
Intensidade de corrente	ampere A	**Unidade electro-magnética CGS (Uem CGS)**	10		
Força electro motriz	volt V	**Uem CGS**	10^{-8}		
Resistência eléctrica	ohm Ω	**Uem CGS**	10^{-9}		
Quantidade de electricidade	coulomb C	**Uem CGS**	10		
		Ampére-hora Ah	3 600		
Capacidade eléctrica	farad F	**Uem CGS**	10^{9}		
Indutância eléctrica	henry H	**Uem CGS**	10^{-9}		
Fluxo magnético	weber Wb	**maxwell** M	10^{-8}		
Indução magnética	tesla T	**gauss** G	10^{-4}		
Campo magnético	ampére por metro A/m	**oersted**	79,5		
Potência	voltampére VA				
Potência reactiva	voltampére var reactivo				
UNIDADES DE RADIAÇÃO					
Radiacti-vidade	becquerel Bq	curie Ci	$3{,}7.10^{10}$		
Exposição	coulomb por kg C/kg	roentgen R	$2{,}58.10^{-4}$		
Dose absorvida	gray Gy	**Rad** rd	10^{-2}		

Quadro 58 - Alfabeto grego

A α — alfa	I ι — jota	P ρ — ró
B β — beta	K κ — kapa	∑ σ — sigma
Γ γ — gama	Λ λ — lambda	T τ — tau
Δ δ — delta	M μ — mu	Υ ν — úpsilon
E ε — épsilon	N ν — nu	Φ φ — fi
Z ζ — zeta	Ξ ξ — csi	X χ — qui
H η — eta	O o — ómicron	Ψ ψ — psi
θ ϑ — teta	Π π — pi	Ω ω — ómega

Quadro 59 - Numeração romana

I	V	X	L	C	D	M	V	X	L	C	D
1	5	10	50	100	500	1 000	5 000	10 000	50 000	100 000	500 000

I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XX	XXX	XL	L
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	20	30	40	50

Quadro 60 - Prefixos de unidades

MÚLTIPLOS				SUBMÚLTIPLOS			
yotta	(Y)	=	10^{24}	deci-	(d)	=	10^{-1}
zetta	(Z)	=	10^{21}	centi-	(c)	=	10^{-2}
exa	(E)	=	10^{18}	mili-	(m)	=	10^{-3}
peta	(P)	=	10^{15}	micro-	(μ)	=	10^{-6}
tera-	(T)	=	10^{12}	nano-	(n)	=	10^{-9}
giga-	(G)	=	10^{9}	pico-	(p)	=	10^{-12}
mega-	(M)	=	10^{6}	fento-	(f)	=	10^{-15}
quilo-	(k)	=	10^{3}	ato-	(a)	=	10^{-18}
hecto-	(h)	=	10^{2}	zepto	(z)	=	10^{-21}
deca-	(da)	=	10	yocto	(y)	=	10^{-24}

Técnica de Colocação dos Cabos Localização de Defeitos em Redes Subterrâneas Acondicionamento de Cabos Eléctricos

Capítulo IV

4.1 - Técnica de Colocação dos Cabos

4.1.1 - Introdução

As páginas seguintes têm por objectivo fornecer indicações de ordem geral e chamar a atenção para particularidades relativas aos vários modos de colocação dos cabos geralmente usados, nomeadamente, para canalizações em baixa tensão, veiculando uma grande potência, e para canalizações em média e alta tensão. Iremos abordar os seguintes aspectos:

— a colocação no solo;

— a colocação ao ar livre ou em galeria;

— a colocação em tubos;

— a colocação dos condutores e cabos de baixa tensão em caminhos de cabos, atrás de tectos falsos ou encastrados, em calhas ou tabuleiros, em rodapés, nos vazios das construções, etc.

É conveniente atender, ainda, às indicações dadas nos textos de apresentação dos condutores e cabos correspondentes, assim como às prescrições regulamentares.

4.1.2 - Condições Gerais de Instalação

1 - Colocação no Solo

Disposições Gerais

a) Nos termos da regulamentação portuguesa

Os cabos que constituem as canalizações subterrâneas devem ser protegidos contra as deteriorações resultantes do abatimento de terras, do contacto com corpos duros, do choque das ferramentas metálicas manipuladas pelo homem e, se tal tiver lugar, da acção química causada pelos elementos do solo.

Os cabos que comportam uma armadura em aço colocada sobre uma bainha de estanquidade podem, por este facto, ser directamente enterrados. Uma protecção mecânica independente, constituída por caleira de betão, tubos, lajes, etc, é, em princípio, necessária no caso de cabos não armados. No entanto, estes podem ser directamente enterrados, sem protecção complementar, desde que eles próprios possam suportar o efeito de esmagamento da terra e o contacto com corpos duros e, além disso, comportem um écran metálico ligado à terra.

b) Profundidade de colocação

Deverá ser determinada em função das condições locais e da tensão de serviço da canalização. Considera-se uma profundidade mínima de colocação dos cabos no solo:

— 0,60 a 0,70 m, em terreno normal;

— 1 metro, sob vias de comunicação,

sendo geralmente suficiente para os cabos BT e MT.

Para os cabos de alta e muito alta tensão, colocados em caleira de betão pré-fabricada e cheia de areia, aconselha-se a colocação da parte inferior dos ternos nas profundidades mínimas seguintes:

— colocação fora das aglomerações ou nas subestações: 0,80 m;

— colocação em aglomerações :1,20 m.

Por vezes, podemos ser levados a usar profundidades de colocação inferiores aos valores anteriores (nomeadamente, em terreno rochoso, devido a obstáculos ou razões económicas). Convém, então, assegurar que os cabos não correm o risco de serem deteriorados, particularmente, durante o abatimento de terras ou do contacto com agentes exteriores. Uma protecção mecânica satisfatória deverá, então, ser prevista: chapa de aço, tubos, etc.

c) Dispositivo avisador

Tanto as canalizações enterradas como as caleiras ou tubos deverão possuir por cima, a uma altura mínima de 0,10 m (de preferência 0,20 m), um dispositivo avisador constituído por uma grelha metálica, protegida contra a corrosão, ou uma grelha plástica.

d) Raio de curvatura

É conveniente respeitar, em quaisquer circunstâncias, os valores mínimos indicados nos quadros 21 a 23.

e) Proximidade com outras canalizações

• Proximidade entre canalizações de energia:

Desaconselhamos a sobreposição de várias canalizações. Com efeito, além de ser uma solução desfavorável no aspecto térmico, torna delicada qualquer intervenção posterior nos cabos das camadas inferiores.

Recomenda-se, em cada caso, a definição da disposição relativa das canalizações colocadas lado a lado, no seguimento de um estudo que tenha em conta, nomeadamente, a redução das capacidades de transporte (ver ponto 3D da secção 2.2.2), o espaço disponível, o custo da obra civil, etc. Será previsto pelo menos um espaçamento de 0,20 m entre os bordos mais próximos de duas canalizações vizinhas, permitindo estabelecer um compromisso, a fim de minimizar a influência térmica entre as canalizações, a largura da vala e os riscos de deterioração durante a colocação ou em caso de incidente.

• Proximidade entre canalizações de energia e de telecomunicações:

— se as canalizações se cruzarem, deverá ser deixada uma distância mínima de 0,20m entre elas;

— se as canalizações seguirem o mesmo traçado, o afastamento mínimo a prever, ao longo do mesmo, é de 0,50m, a não ser que sejam tomadas medidas que assegurem uma protecção suficiente do cabo de telecomunicações, em caso de incidente que afecte a canalização de energia.

É importante notar que os valores anteriores constituem os valores das distâncias mínimas de segurança. Em cada caso e, em particular, se se tratar de uma linha de telecomunicações com um comprimento grande, é desejável proceder a um exame particular da questão, juntamente com o serviço de exploração do circuito de telecomunicações, a fim de definir as disposições a adoptar, nomeadamente, no que se refere aos riscos de perturbação por indução electromagnética.

• Proximidade dos suportes das linhas aéreas:

Os cabos devem ser, em princípio, colocados a mais de 0,50 m dos bordos extremos dos suportes ou dos seus maciços. Esta distância é aumentada para 1,50 m nos suportes submetidos a esforços que lhes provoquem oscilações importantes, as quais se transmitem às fundações.

• Proximidade de canalizações não eléctricas (condutas de água, de gás, de hidrocarbonetos, de vapor, etc.):

A distancia mínima a prever, quer no caso de cruzamento, quer no caso de percursos paralelos, é de 0,20 m.

Colocação Directamente no Solo

O fundo da vala deverá ser preparado, a fim de ser eliminada toda a rudeza do terreno susceptível de deteriorar a bainha exterior dos cabos. Estes são colocados no meio de duas camadas de terra fina (excluindo as pedras com mais de 2 mm) ou de areia isenta de qualquer sujidade (lama, produtos químicos, etc), com 10 a 15 cm de espessura cada . O enchimento da vala, pelo menos até 10 cm abaixo do dispositivo avisador, é efectuado com a terra retirada aquando da abertura da mesma. É conveniente limpá-la dos materiais que possam danificar os cabos, nomeadamente com a ajuda de um crivo. O enchimento é efectuado em várias camadas sucessivas, cuidadosamente calcadas. Teremos o cuidado, no caso de utilização de engenhos mecânicos de compactagem, de evitar o esmagamento e a sacudidela dos cabos.

Em certos casos, podemos ser levados a substituir toda ou parte da terra por materiais de características térmicas favoráveis (ver ponto 3C da secção 2.2.2).

O nível de protecção mecânica, conferida aos acessórios (junções e derivações), deverá ser equivalente ao do cabo.

Figura 3 - Esquema de colocação dos cabos directamente no solo

Colocação em Caleira

As caleiras podem ser realizadas no local, em alvenaria, ou serem constituídas por elementos pré-fabricados, em betão armado montados uns a seguir aos outros. Devem apresentar, principalmente, as seguintes características:

— possuir dimensões interiores tais que permitam a existência de um espaço livre, entre os cabos e a face interior das coberturas;

— serem de muita boa qualidade e possuírem um acabamento cuidado;

— apresentarem uma superfície interior perfeitamente lisa não comportando nenhuma aspereza;

— encastrarem-se uns nos outros por intermédio de encaixes suficientes, para que não haja o risco de se afastarem uns em relação aos outros.

O fundo da vala deverá ser cuidadosamente nivelado, a fim de permitir a ligação dos elementos da caleira. Se for de prever movimentos do terreno, os referidos elementos devem ser colocados sobre um tapete de betão, de modo que fiquem solidários uns com os outros.

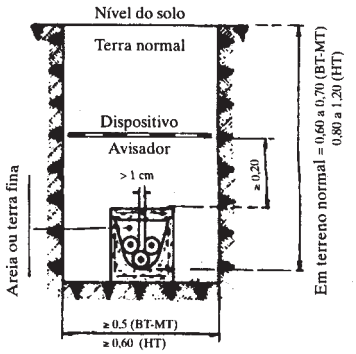
Nas curvas, a utilização de elementos rectilíneos, mesmo com um comprimento pequeno, ou de um elemento curvo é desaconselhável. É preferível a construção de uma curva ligada à base da caleira. Depois da colocação dos cabos, será construído um muro de cada lado da canalização, constituído por tijolos e cimento, sendo enchido o espaço interior, no qual estão os cabos, com areia ou terra fina, antes de ser coberto com lajes apropriadas de betão armado.

No caso de canalizações constituídas por três cabos unipolares, colocados em caleira de betão armado, é preferível colocar os três cabos dentro da mesma caleira. Escolheremos, por exemplo, uma caleira de fundo parabólico, permitindo a colocação dos cabos em triângulo. Será deixado pelo menos um espaço de 1 cm entre os dois cabos situados na parte superior.

Imediatamente após a colocação dos cabos, as caleiras são cheias com areia, sendo em seguida fechadas com tampas, eventualmente unidas com cimento.

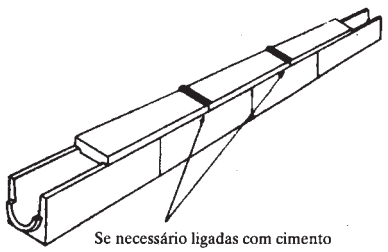
O enchimento da vala é feito de maneira semelhante à usada para canalizações directamente no solo.

Nas canalizações MT e AT, os acessórios de junção e de derivação deverão ser colocados em câmaras de dimensões apropriadas, construídas quer em alvenaria quer em elementos pré-fabricados em betão, cheias de areia e fechadas com lajes.



Colocação em caleira pré-fabricada cheia de areia

Figura 4 - Esquema de colocação dos cabos em caleira



2 - Colocação em Galeria ou ao Ar Livre

Só aos cabos munidos de uma bainha exterior de protecção é permitida uma colocação ao ar livre.

Os cabos sem bainha exterior de protecção deverão ser colocados no interior de condutas apropriadas.

As várias formas de colocação e fixação escolhidas devem, essencialmente:

— respeitar os raios de curvatura mínimos dos cabos (ver quadros 21 a 23);

— permitir uma dissipação satisfatória das perdas térmicas;

— evitar todo o efeito prejudicial dos deslocamentos, que podem resultar das dilatações térmicas em regime normal e das solicitações electrodinâmicas, no caso de curto-circuito (ver secção 3.3.1), por exemplo: deslocação dos cabos para fora dos suportes, formação de barrigas com um raio inferior ao raio de curvatura mínimo, ondulações proibitivas, escorregamento para o ponto mais baixo se a canalização for desnivelada, etc.

Colocação ao Longo das Paredes com a Ajuda de Abraçadeiras, Presilhas, Colocação em Consolas, etc.

Em percurso horizontal, esta disposição só é aceitável para cabos pouco sensíveis às solicitações mecânicas, devido a disposições especiais na sua constituição, e não deve comprometer o seu comportamento dieléctrico. Os processos de fixação

escolhidos devem, em particular, evitar todo o risco de ferimento ou quebra dos cabos nas arestas, devido aos movimentos atrás descritos. Os cabos devem ser fixos em pontos suficientemente próximos, para não curvarem sob o efeito do seu próprio peso. Indica-se, a este respeito, uma distância máxima entre duas fixações sucessivas de:

— 0,40 m para os cabos sem revestimento metálico;

— 0,75 m para os cabos com revestimento metálico.

Os cabos deverão ser fixados nos dois lados, aquando de uma mudança de direcção e na proximidade imediata das entradas nas aparelhagens.

Em percurso vertical, deve ser dada uma atenção especial à fixação dos cabos, cuja constituição não está especificamente concebida para resistir às solicitações mecânicas, nomeadamente, nos cabos MT e AT não armados, com dimensões importantes. Aconselhamos o uso de abraçadeiras, cujo diâmetro interior seja superior 5 a 10 mm ao diâmetro exterior do cabo, a fim de permitir uma folga elástica. A largura da abraçadeira deverá ser, no mínimo, igual ao diâmetro exterior do cabo e a distância entre duas abraçadeiras consecutivas deve ser apropriada às dimensões do cabo. Em caso de cabos unipolares, as abraçadeiras deverão ser em madeira ou material amagnético.

Colocação em Caminhos de Cabos ou em Tabuleiros

Esta disposição assegura uma repartição uniforme do peso, ao contrário dos modos de colocação anteriores. Os caminhos de cabos são, normalmente, construídos em cimento ou metal. Neste último caso, são de preferência perfurados, a fim de permitirem uma melhor circulação do ar à volta dos cabos. É aconselhável, no caso de canalizações que veiculem uma grande potência e que sejam realizadas com cabos unipolares, colocar estes de uma forma ondulada, utilizando dispositivos de fixação especialmente concebidos para esse efeito.

Os cabos podem, assim, efectuar movimentos de dilatação e de contracção sucessivos sem correr o risco de se encontrarem sob tensão mecânica, em caso de colocação fora de serviço a baixa temperatura.

Estas fixações deverão responder aos seguintes imperativos:

— dominar os movimentos provocados pelas dilatações e pelas solicitações electrodinâmicas;

— manter uma disposição em triângulo.

Preconizamos o emprego de abraçadeiras flexíveis, em material não degradável (fios de nylon, por exemplo), dispostas em intervalos regulares, em função da especificação dos cabos.

Desaconselhamos o emprego de fixações em metal, que são pouco elásticas e podem ferir os cabos, ou fixações formadas por uma única tira sintética que, com o tempo se pode partir ou soltar deixando os cabos fora do lugar.

Proximidade entre Canalizações

É aconselhável prever um intervalo livre entre canalizações vizinhas, colocadas num mesmo tabuleiro, a fim de limitar a influência térmica (ver página 80), de possibilitar às canalizações uma certa liberdade de movimentos e de favorecer a manipulação dos cabos. Desaconselhamos a colocação de várias canalizações, sobre um mesmo tabuleiro, em camadas sobrepostas. Pelo contrário, é possível prever vários tabuleiros sobrepostos, sendo guardada uma distância de 30 cm entre tabuleiros, o que tornará desprezável a influência térmica e permitirá também uma manipulação fácil dos cabos.

Além disso, será razoável, dentro do possível, nunca prever num mesmo tabuleiro canalizações pertencentes a redes de tensão diferentes.

3 - Colocação em Tubos

É, geralmente, desaconselhável colocar um cabo armado, com fitas, dentro de tubos.

Este modo de colocação adapta-se, particularmente, à realização de troços nos quais é necessário:

— limitar as agressões provocadas pelo desenrolar do cabo, realizado por meio de um carro apropriado, e as eventuais intervenções posteriores inerentes;

— conceder aos cabos uma protecção reforçada.

É por isso que é escolhido geralmente, para canalizações de telecomunicações e para certas passagens de canalizações de energia, particularmente nas travessias das vias de comunicação.

As seguintes indicações, que são completadas com os elementos de ordem térmica dados na página 83, destinam-se a guiar a escolha do tubo e a sua aplicação.

Natureza dos Tubos

É função das características desejadas em cada caso. Distinguem-se:

— os tubos em material termoplástico (PE ou PVC). Aconselhamos o seu emprego na maior parte dos casos, devido às suas inúmeras vantagens: leveza, boas características mecânicas, resistência à corrosão, fraco coeficiente de atrito, preço de revenda interessante, possibilidade de fornecimento em grandes comprimentos;

— os tubos em aço ou em ferro fundido são mais utilizados no caso de se preverem solicitações mecânicas elevadas, nomeadamente risco de esmagamento. Não necessitam de um encastramento de protecção. A sua natureza magnética impede, no entanto, que seja colocada uma fase por tubo.

Diâmetro de Tubos

Deverá permitir um enfiamento satisfatório dos cabos sem risco de os arranhar. A razão entre o diâmetro interno do tubo e o diâmetro exterior de um cabo, equipado para ser enfiado, deverá ser, na prática:

— compreendida entre 2,5 e 2,8 no caso de três cabos por tubo;

— superior a 1,5 no caso de um cabo por tubo.

Nota: os tubos em betão ou cimento não são aconselháveis. Estão menos adaptados que os anteriores ao enfiamento dos cabos, em virtude do seu coeficiente de atrito elevado e do risco de danificação das bainhas exteriores.

Traçado do Percurso em Tubos

As suas características (comprimento, mudança de direcção, raios de curvatura) não devem provocar um esforço de tracção prejudicial durante o enfiamento do cabo.

Os esforços de tracção admissíveis para os vários tipos de cabos estão indicados no quadro 24.

Disposição dos Tubos

• Ligação dos tubos entre si:

Deverá ser realizada com todo o cuidado, de modo a que não fiquem rebarbas ou rugosidades susceptíveis de danificar o cabo durante o enfiamento. Se os tubos forem encaixados uns nos outros, o sentido de enfiamento deverá coincidir com o dos encaixes.

• Maciço envolvente:

Desde que sejam susceptíveis de aparecer solicitações mecânicas (sob as vias de comunicação, por exemplo), será necessário dispor os tubos não metálicos dentro de um maciço de betão.

No caso de enfiamento de uma fase por tubo, teremos o cuidado para que as ferragens eventuais não se fechem à volta de uma única fase.

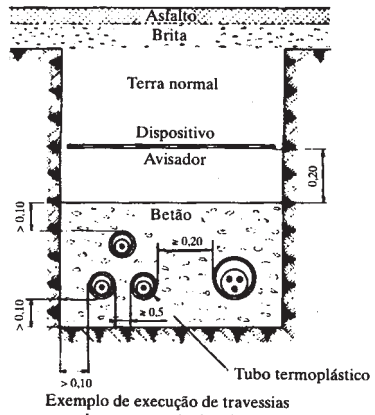
• Extremidades dos tubos:

— cabos colocados em caleira: os tubos são ligados às caleiras por construções em alvenaria, realizadas segundo o critério utilizado para as curvas (ver página 161). Esta construção deverá estar perfeitamente ligada ao fundo das caleiras e à geratriz inferior dos tubos;

— cabos colocados directamente na terra: construções em forma de trampolim deverão ser dispostas de cada lado dos tubos, para evitar que os cabos corram o risco de se partirem à saída dos tubos ou em caso de movimentos do terreno;

— por outro lado, as extremidades dos tubos são obturadas com gesso ou estuque, com interposição, no caso de cabos não armados, de uma camada elástica entre o cabo e o gesso.

Figura 5 - Disposição dos tubos



Exemplo de execução de travessias de rua por meio de tubos

4 - Colocação na Vertical

Perante a necessidade de instalar cabos AT ou MAT, em poços verticais, nomeadamente, nas centrais hidráulicas de bombagem, existem especificações de cabos adaptadas a estas condições de exploração.

As mudanças de especificação incidem, essencialmente, sobre:

— a bainha semi-condutora, estriada, sobre o isolante;

— a supressão da bainha de chumbo e a sua substituição por uma camada de fios de alumínio, recoberta por uma fita do mesmo material;

— a bainha de protecção, aderente à fita de alumínio é anelada, para assegurar um bloqueio nas abraçadeiras de fixação.

A colocação do cabo efectua-se segundo uma disposição sinusoidal, como a representada no esquema ao lado. A fixação do cabo é assegurada por abraçadeiras especiais.

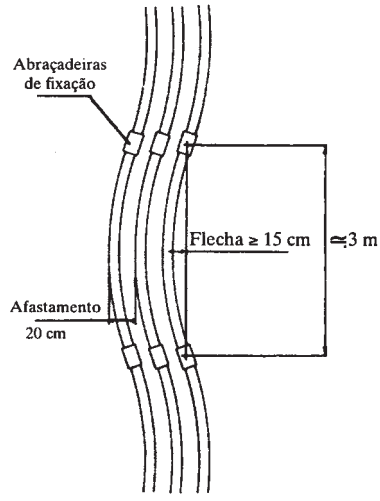


Figura 6 - Colocação na vertical

5 - Nota importante

É necessário velar, para que as condições de instalação dos cabos não provoquem um desequilíbrio entre as impedâncias dos vários condutores ou fases em funcionamento normal, podendo originar por exemplo:

— desequilíbrios na carga entre os condutores, susceptíveis de provocarem aquecimentos anormais;

— desequilíbrios entre as quedas de tensão das várias fases, podendo perturbar o funcionamento dos receptores.

Tais desequilíbrios provêm, geralmente, das resistências de contacto das extremidades e da colocação em paralelo de várias canalizações. É conveniente adoptar as seguintes precauções:

— resistências de contacto: assegurar uma execução e um aperto idênticos nas conexões dos vários condutores;

— canalizações em paralelo: prever a mesma secção para as várias canalizações e comprimentos de cabo idênticos. Além disso, se se tratarem de canalizações, veiculando uma potência elevada e constituídas por cabos unipolares com uma grande secção, os fenómenos de indução entre os vários cabos, afectos a uma mesma fase, podem originar desequilíbrios importantes. Nesse caso, é aconselhável:

  — agrupar num só conjunto, em esteira ou trevo, três cabos pertencendo a fases diferentes e espaçar os ternos assim formados;

  — transpor regularmente os cabos pertencentes ao mesmo terno;

  — ligar os écrans entre si somente numa extremidade, o que, geralmente é permitido devido aos comprimentos curtos que caracterizam este tipo de ligação.

4.1.3 - Montagem dos Cabos

As páginas seguintes não constituem instruções detalhadas de colocação, mas têm propósito de chamar a atenção para um dado número de pontos e indicar regras simples que devem estar presentes numa montagem cuidadosa e segura.

Transporte e Manutenção

Durante o transporte, as bobinas cheias devem ser colocadas na vertical, assentes nas duas faces e nunca deitadas.

Na chegada aos estaleiros, deverá ser efectuado um exame a cada bobina, particularmente, o estado das abas ou aduelas de protecção e o aspecto dos capacetes nas extremidades dos cabos.

O descarregamento poderá efectuar-se com a ajuda de uma rampa própria, tendo em conta a travagem da bobina ou, de preferência, com a ajuda de um braço

mecânico e por intermédio de uma barra colocada no orifício central da bobina. A linga deverá possuir um comprimento suficiente, para evitar um esforço perigoso sobre as abas. É estritamente desaconselhável colocar directamente a linga à volta da bobina, sobre a camada exterior do cabo, devido ao risco de deterioração que este corre. Nunca devemos deixar cair as bobinas ao chão.

O rebolar das bobinas é limitado a curtas distâncias e o sentido de rotação não deverá provocar o desenrolar das espiras de cabo. Em caso de armazenagem, as bobina deverão repousar em terreno plano, estável e convenientemente calçadas. Se um comprimento de cabo for retirado, a extremidade do cabo que fica na bobina é imediatamente tapada com uma carapuça estanque.

1 - Desenrolamento dos Cabos

Precauções Comuns aos Diferentes Processos de Desenrolamento

a) Antes do desenrolamento

— temperatura: o quadro 17 indica as temperaturas mínimas, às quais os cabos podem ser desenrolados em função dos seus materiais constituintes (considerar o material isolante ou bainha que autorize a temperatura mais baixa). Desde que as condições o imponham, deverá ser efectuado um aquecimento prévio dos cabos;

— limpar cuidadosamente o percurso, de maneira a retirar todas as pedras e objectos susceptíveis de danificar os cabos;

— colocar e fixar solidamente as roldanas;

— em linha recta: 1 roldana todos os 2 ou 5 m, em função da natureza do cabo;

— nas mudanças de direcção: roldanas de ângulo em número suficiente.

As roldanas utilizadas devem apresentar uma superfície lisa e rodar livremente;

— ter em atenção a ordem de desenrolamento dos vários troços de cabo, no caso dos cabos unipolares, que deverão ser permutados.

b) Durante o desenrolamento

— bobina: deverá rodar livremente em torno de um eixo introduzido no orifício central e montado sobre macacos. O desenrolamento é efectuado, de preferência, pelo lado superior da bobina. Deverá ser previsto um número suficiente de homens para assegurar, em permanência, o controlo e a travagem da rotação, evitando a formação de barrigas e a separação das várias espiras, assim como para vigiar a extremidade interior;

— raio de curvatura: a todo o momento e em qualquer ponto, convém respeitar os valores mínimos indicados nos quadros 21 a 23;

— esforço de tracção não deverá, nunca, ultrapassar os valores descritos no quadro 24, em função do tipo de cabo, sobretudo no caso de um arranque a seguir a uma paragem. Na medida do possível, o desenrolamento deverá processar-se de modo regular, sem sacões violentos nem choques;

— é de abolir qualquer formação de nós, torções e encaracolamentos no cabo, durante o desenrolamento. No caso de incidente, o desenrolamento deverá ser parado imediatamente, sendo para tal indispensável uma boa comunicação ao longo do percurso;

— desenrolamento provisório (em troços fora do traçado normal): se bem que possa ser necessário recorrer a ele em certas condições, trata-se de uma operação muito delicada, que só se fará excepcionalmente e com pessoal especializado, tomando precauções reforçadas (raios de curvatura, esforços, etc.);

— comprimento: convém prever, nas junções e nas extremidades, comprimentos suficientes, dependentes do tipo de cabo, para a montagem dos acessórios. Além disso, a fim de permitir uma eventual modificação posterior da disposição das extremidades, é aconselhável prever um comprimento superior e enrolá-lo próximo da extremidade.

c) Após o desenrolamento

— regulação: os cabos perdem a sua flexibilidade pouco a pouco, no entanto, no caso de troços ao ar livre, os cabos serão montados com ligeiras ondulações, a fim de permitirem os movimentos de dilatação. Todas as precauções são tomadas no momento da instalação definitiva, para que os cabos não sejam feridos. É de proibir, em particular, o uso de ferramentas mecânicas ou cortantes;

— cobertura: convém verificar que esta não foi danificada durante o desenrolar e, se for necessário, reconstitui-la;

Protecção dos cabos colocados no solo:

— cabos directamente no solo: devemos cobri-los, logo após desenrolados e instalados, com uma camada, de pelo menos 10 cm, de terra escolhida ou areia;

— cabos em caleira: verificar que os cabos estão na sua posição correcta e que não há pedras na caleira nem nas uniões entre os elementos que a constituem. Enchê-la com areia, colocar as tampas sem exercer esforços anormais e verificar o bom alinhamento dos vários elementos de protecção (cimentar, se for necessário).

2 - Precauções Particulares

Dependem do modo usado no desenrolamento do cabo, em função do traçado do terreno, do tipo de cabo, do pessoal e do material empregue, etc.

a) Desenrolamento a partir duma plataforma de camião ou vagão

Este método só é possível nos casos em que o traçado acompanha a via de comu-

nicação e não há obstáculos entre eles. O método é simples, necessita de uma mão de obra reduzida e traz poucos riscos para o cabo que é depositado no seu lugar definitivo, à medida que é desenrolado. Os pontos particulares a ter em atenção são a fixação dos suportes da bobina na plataforma, o controlo e a travagem da rotação da bobina.

b) Desenrolamento à mão

Além dos homens necessários para controlar a bobina e para as passagens difíceis (tubos, esquinas, obstáculos...), devemos dispor de homens em número suficiente, repartidos pelas dificuldades do percurso e pela posição das roldanas.

O espaço entre homens assim como a cadência com que o cabo é puxado dependem do peso do cabo. Convém velar, particularmente, pela manutenção de uma cadência regular e uniforme e evitar os choques do cabo com o solo ou outros obstáculos.

c) Desenrolamento com guincho

Não poderá ser empregue sozinho ou em complemento dos outros métodos de desenrolar, desde que o esforço de tracção aplicado corra o risco de ultrapassar os valores máximos, indicados no quadro 24, para cada tipo de cabo.

A regulação do guincho deverá ser flexível e progressiva, e o esforço de tracção deverá ser permanentemente controlado com um dinamómetro. Convém aplicar a tracção de maneira regular e directamente sobre a alma condutora, por intermédio de uma pinça de tracção apropriada, a não ser que o cabo disponha duma armadura em fios de aço. O uso de mangas extensíveis, constituídas por fios de aço entrançados e colocadas sobre a bainha exterior, só é, em princípio, aceitável em caso do esforço de tracção ser muito reduzido.

O cabo de tracção deverá ser ligado ao cabo eléctrico por intermédio de uma pinça própria, de maneira a evitar qualquer risco de torção exagerada.

d) Desenrolamento com a ajuda de máquinas ou de lagartas de tracção

Este método, desde que correctamente aplicado, permite, em comparação com os anteriores, desenrolar comprimentos mais importantes num intervalo de tempo e com um pessoal mais reduzido, em condições de segurança equivalentes e até mesmo superiores.

O esforço é aplicado, por atrito, por meio de roletes ou correias de borracha, sobre a bainha exterior do cabo, sendo comandado mecânica ou electricamente. Uma pinça complementar é normalmente colocada no extremo do cabo. As máquinas são distribuídas e solidamente fixas, em função das particularidades do percurso. Serão colocadas, nomeadamente, uma ou várias máquinas nas

passagens delicadas (curvas, entrada e saída dos tubos...). A passagem nesses últimos deverá ser permanentemente vigiada. O estado da superfície dos elementos que puxam o cabo assim como a sua força de pressão contra a bainha devem evitar toda e qualquer patinagem e o consequente desgaste. Uma boa transmissão de informações ao longo do percurso e uma sincronização cuidadosa das várias máquinas são elementos primordiais para um desenrolamento satisfatório.

e) Precauções particulares a tomar durante o enfiamento nos tubos

Além das precauções inerentes ao enfiamento do cabo, com a ajuda de pinça de tracção (ver atrás), é conveniente seguir as indicações seguintes:

— *Preparação do traçado:*

  — escolher os tubos e as características do traçado (comprimento, mudança de direcção, raios de curvatura...), de modo a que o esforço de tracção não tome um valor proibitivo (ver indicações gerais, na página 165, o método de cálculo do esforço de tracção teórico, na secção 3.3.3);

  — deixar, na medida do possível, aberturas e câmaras intermediárias, nomeadamente nas esquinas, que permitirão vigiar o enfiamento e colocar eventualmente roldanas ou máquinas de tracção nesses pontos.

— *Antes do desenrolamento:*

  — limpar cuidadosamente o interior dos tubos, a fim de retirar todas as pedras ou corpos estranhos (com ar comprimido, por exemplo) e assegurar que nenhuma rugosidade ou deformação possa entravar o processo de desenrolamento;

  — na entrada dos tubos, dispor guias para cabos, a fim de que a bainha dos mesmos não corra o risco de roçar nas arestas.

— *Durante o desenrolamento:*

  — se o percurso não é rectilíneo, escolher o sentido de tracção, de maneira a que as curvas fiquem o mais próximo possível do início do desenrolamento;

  — no caso de vários cabos num mesmo tubo, enfiar o conjunto dos cabos simultaneamente;

  — utilizar um cabo de tracção antigiratória, flexível, mas de pequena elasticidade;

  — verificar, permanentemente, com a ajuda de um dinamómetro, que o esforço de tracção não ultrapassa o valor admissível;

  — vigiar e guiar os cabos, na entrada dos tubos;

  — se for necessário, lubrificar a bainha dos cabos, na entrada dos tubos (sabão, azeite...), ou injectar água, a fim de diminuir o atrito;

  — assegurar uma tracção, o mais regular possível, e evitar paragens inúteis, já que o esforço de tracção poderá ser, com efeito, muito importante no arranque.

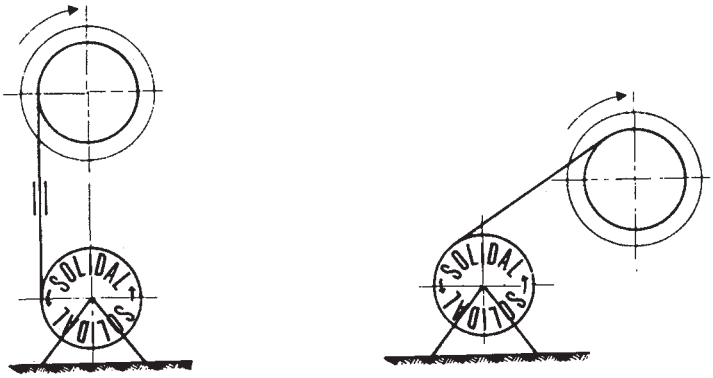
3 - Colocação dos Cabos Flexíveis nos Tambores de Enrolamento

A complexidade da arquitectura dos cabos flexíveis, que equipam os tambores e as máquinas móveis, implica que sejam tomadas precauções particulares, quer no momento da primeira montagem, quer ao longo da exploração, a fim de permitir aos cabos um melhor comportamento, em face das solicitações mecânicas a que são expostos durante o serviço.

Colocação dos Cabos

- Se pudermos desenrolar o cabo no solo antes de o colocarmos no tambor, devemos fazê-lo pelo lado de cima da bobina, depois de termos limpo o solo dos detritos, pedras, pontas aguçadas, etc. É aconselhável o uso de roldanas;
- Se não for possível desenrolar o cabo no solo (espaço reduzido), colocar a bobina o mais longe possível do tambor e efectuar a transferência segundo um dos dois esquemas da figura 7.

Figura 7 - Esquemas de Desenrolamento do cabo



Recomendações importantes:

— o cabo nunca deverá ser submetido a esforços;

— a sua extremidade livre deverá conservar a extensão necessária, a fim de poder rodar sobre ela própria. Não se deve submeter o cabo a deformações em forma de S;

— se o cabo não puder ser desenrolado rectilineamente no solo, é desaconselhável dispô-lo sob a forma de rolo;

— no caso das extremidades já terem sido aplicadas antes da montagem do cabo no tambor, é necessário ter o cuidado de não as danificar durante as várias operações de manuseamento;

— as abraçadeiras de fixação não devem esmagar o cabo e o seu diâmetro nunca deverá ser tal, que impeça os movimentos dos condutores, no interior da bainha de protecção;

— antes da montagem das extremidades e sua fixação definitiva, o cabo deverá ser enrolado e desenrolado 2 ou 3 vezes, a fim de o acomodar.

Manutenção em Serviço

Recomenda-se uma verificação periódica do estado do cabo. Em particular se forem constatados fenómenos de torção ou princípios de deformação anormal, o utilizador não deverá hesitar em desligar o cabo, a fim de o poder estender no solo e o libertar das solicitações ocasionais. O cabo será seguidamente enrolado como indicado atrás.

4.2 - Localização dos Defeitos em Redes Subterrâneas

4.2.1 - Introdução

O progressivo desenvolvimento das redes subterrâneas em meios urbanos e a sua crescente importância justificam a necessidade de dispor de técnicas e meios simples e eficazes para localização de defeitos nessas redes. As vantagens destas redes são inúmeras sendo mesmo em alguns casos a única solução técnica de que é possível lançar mão.

Como principais vantagens podemos referir:

— insensibilidade praticamente total às condições climáticas e, em particular às intempéries;

— atravancamento bastante reduzido;

— ausência de riscos eléctricos directos para os indivíduos.

A nível das desvantagens e, ignorando a questão económica, do ponto de vista da localização dos defeitos, devemos assinalar por um lado a sua invisibilidade e por outro o facto de a grande maioria dos defeitos ser do tipo permanente, sendo a estrutura do isolamento modificada de forma irreversível.

Os meios e técnicas de localização de um defeito em redes de cabos subterrâneos devem apresentar as seguintes características principais:

— a **simplicidade,** que se justifica pela necessidade de poderem os meios em causa ser implementados por pessoal sem grande especialização ou seja, apenas com uma formação mínima adequada;

— a **rapidez,** que está ligada com a possibilidade de se efectuar uma reposição do serviço tão breve quanto possível, nomeadamente dos troços de rede que não foram directamente afectados pelo defeito;

— a **precisão,** que pretende minimizar os custos da reparação a efectuar, em particular a parte referente a trabalhos de construção civil.

Devemos ainda lembrar a necessidade de preceder a aplicação de qualquer método de detecção de defeitos, de medidas de segurança básicas, de modo a assegurar que não existem riscos para os operadores. Em particular, deve ter-se em atenção o facto de a generalidade dos cabos das redes de baixa tensão serem do tipo multipolar, enquanto em redes de média, alta e muito alta tensão predominam ou são exclusivamente usados cabos unipolares.

4.2.2 - Tipos e Natureza dos Principais Defeitos

1 - Classificação dos Tipos de Defeitos

A origem e a natureza são critérios normalmente utilizados para classificar os diferentes defeitos encontrados nas redes subterrâneas.

Quanto à respectiva **origem** temos:

— defeitos de origem externa que se devem essencialmenle a problemas de agressão mecânica, a uma progressiva penetração de humidade, devido à deterioração da bainha exterior do cabo, ou ainda a um defeito de montagem a nível de um acessório;

— defeitos de origem interna que podem ter origem num defeito de fabrico do cabo (situação que tende a ser cada vez mais rara dado aos numerosos e rigorosos ensaios de qualificação a que o mesmo é submetido), num aquecimento local bastante forte (por exemplo, como consequência de uma elevada resistência térmica do terreno envolvente), no aparecimento de solicitações dieléctricas importantes (sobretensões) ou no progressivo envelhecimento do dieléctrico.

Quanto à respectiva **natureza** temos:

— defeitos não eléctricos, tais como fugas de óleo ou gás em cabos de constituição especial;

— defeitos eléctricos que podem ser de isolamento (os mais frequentes), de continuidade e defeitos ditos intermitentes, do tipo explosor, os quais são característicos dos cabos de tensões elevadas.

A frequência de defeitos em redes de cabos subterrâneos é bastante baixa e tende progressivamente a ser menor. Para este facto muito contribuiu a introdução dos cabos de isolamento sintético, podendo afirmar-se que, na generalidade das redes de distribuição actuais, a taxa de avarias é não superior a um defeito por cada 100 km de ligação trifásica e por ano.

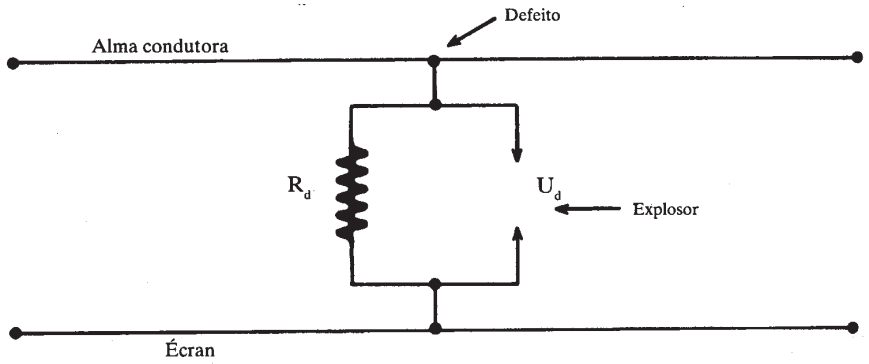
2 - Caracterização dos Defeitos Eléctricos

Apresentaremos de seguida uma breve caracterização dos diferentes defeitos eléctricos.

• Defeito de Isolamento

Trata-se do tipo de defeito mais frequente e que se pode caracterizar electricamente através do esquema da figura 8.

Figura 8 - Defeito de isolamento



Surge-nos assim o defeito representado por uma resistência «shunt» R_d colocada entre a alma condutora e o écran metálico (no caso de um defeito fase-terra) ou entre dois condutores (caso de um defeito fase-fase), em paralelo com um explosor de tensão de escorvamento U_d.

A resistência R_d, é constituída por um trajecto ou «Ponte» de carbono, mais ou menos contínuo, e o seu valor pode situar-se numa larga gama desde alguns Ω até vários M Ω . É habitual classificar o defeito de isolamento como sendo de baixa impedância sempre que $R_d \leq 5$ k Ω e como de alta impedância sempre que $R_d > 0{,}5$ M Ω.

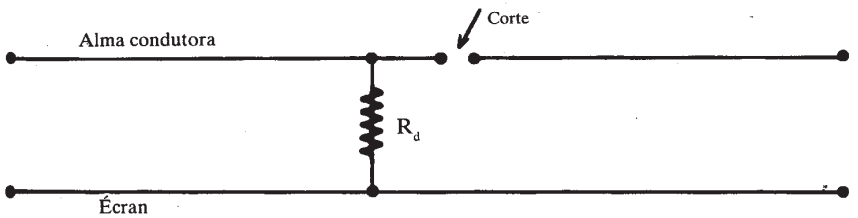
A caracterização deste tipo de defeito é feita a partir da medição de R_d e do valor da tensão de escorvamento do explosor. O defeito diz-se franco se a tensão de escorvamento em corrente contínua é nula ou extremamente baixa.

• Defeito de Continuidade

Este defeito corresponde à existência de um corte, num ou em vários condutores de fase, a que se encontra associado uma resistência de defeito «Shunt», mais ou menos elevada, em geral superior a 10 k Ω.

A figura 9 apresenta o esquema eléctrico deste tipo de defeito.

Figura 9 - Defeito de continuidade

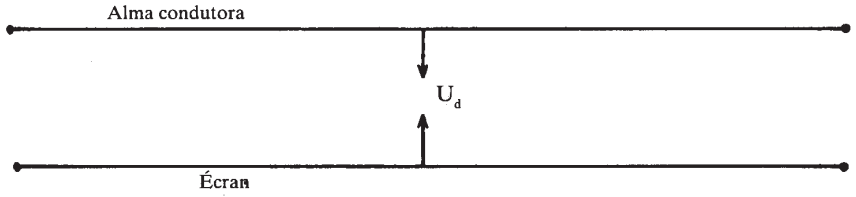


• Defeito Tipo Explosor

Trata-se de um defeito de isolamento em que a assistência R_d é muito elevada, mas que quando submetido a uma tensão progressivamente crescente se comporta como um explosor de tensão de escorvamento U_d. No escorvamento, toda a energia armazenada na capacidade do cabo vai descarregar-se no explosor. Se a fonte de tensão a que o cabo está ligado for suficientemente potente, o cabo volta a carregar-se de novo e o processo repete-se: é o conhecido fenómeno de relaxação.

A figura 10 apresenta o esquema eléctrico deste tipo de defeito.

Figura 10 - Defeito tipo explosor



Tendo em conta os valores habituais dos parâmetros em jogo, o tempo de carga do cabo até à tensão U_d pode variar entre alguns décimos de segundo e alguns segundos, enquanto a descarga é mais rápida, ocorrendo em alguns milisegundos.

4.2.3 - Técnicas de Localização de Defeitos Eléctricos

1 - Aspectos Gerais

A grande diversidade de defeitos e suas características implica não só a necessidade de adopção de métodos de localização adequados como eventualmente a tentativa de modificação das características do defeito. É necessário reunir condições mínimas, ao nível de pessoal, de material e de plantas da rede, para ser atingido o objectivo com eficácia e rapidez. A competência do pessoal, adquirida com a prática, é obtida com o conhecimento dos diversos métodos, sendo por isso necessária uma especialização mínima. O equipamento terá custos iniciais, com a aquisição de alguns aparelhos, que serão rapidamente rentabilizados pela redução do tempo necessário à execução dos trabalhos e da extensão das valas a abrir.

As várias etapas que compreendem a localização de um defeito são ordenadas da seguinte maneira:

— manobras da aparelhagem de corte;

— análise do defeito;

— modificação eventual das características do defeito;

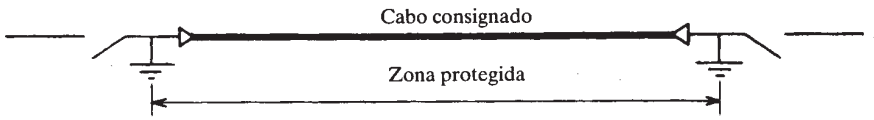
— localização à distancia;

— localização no terreno.

2 - Consignação do Cabo e Análise do Defeito

Será necessário efectuar as operações de consignação do cabo com defeito, antes que os trabalhos de localização se iniciem, a fim de garantir a segurança de pessoas e equipamentos. Estas operações consistem no isolamento da parte da rede com defeito (colocação dos aparelhos de corte na posição de abertura e desconexão das extremidades do cabo, com a finalidade de o separar electricamente da rede), na verificação da ausência total de tensão no cabo e na ligação dos extremos à terra como a figura 11 indica:

Figura 11 - Análise do defeito



Os métodos habitualmente utilizados para a determinação das características do defeito baseiam-se na medida de resistências de isolamento e de continuidade dos condutores, tendo sempre o máximo cuidado em evitar erros que poderiam falsear significativamente o diagnóstico de caracterização.

A medida da resistência de isolamento consiste na determinação da resistência aparente entre o condutor e o écran ligado à terra ou entre dois condutores, utilizando para o efeito uma tensão contínua cujo valor pode oscilar entre alguns volt e alguns kilovolt, em função do valor dessa resistência aparente. Para a generalidade dos cabos, um ohmímetro de três escalas é suficiente. Assim, para as **medidas de continuidade** é aconselhável uma escala de 0,1 a 100 k Ω sendo a fonte de tensão contínua da ordem do volt. Nas **medidas de isolamento, no caso de defeito de continuidade,** já se torna necessário recorrer a uma escala na gama do k Ω, nomeadamente entre 0,1 e 100 k Ω, sendo a fonte de tensão contínua da ordem de alguns volt. Finalmente, para as **medidas de isolamento** torna-se necessário dispor de uma escala na gama dos M Ω, nomeadamente de 0,1 a 100 M Ω, e a fonte de tensão contínua deve possuir uma amplitude no mínimo igual a 500 V, podendo ir até cerca de 5 000 V.

No caso dos defeitos de continuidade pode ser útil o recurso a **medidas de capacidade,** as quais são aplicáveis sempre que o valor de R_d seja elevado (superior a 10 k Ω). Para estas medidas utiliza-se uma clássica ponte de Sauty, a qual pode ser dotada de compensação série (ponte de Wien) para valores de R_d superiores a 1 M Ω ou de compensação paralela (ponte de Nerst) para valores de R_d a partir de 10 k Ω.

3 - Modificação das Características do Defeito

Como se referiu, trata-se de uma operação que nem sempre é necessária. O seu objectivo é proporcionar uma maior facilidade nas medições a efectuar, permitin-

do a utilização de certos métodos de localização que de outro modo não seriam aplicáveis.

Esta operação pode revestir essencialmente duas formas:

— queima do defeito;

— aumento da resistência de isolamento (re-isolamento).

No caso da queima pretende-se essencialmente uma redução do valor da resistência R_d do defeito de isolamento pela criação de uma ponte consistente de carbono ou ainda, no caso de um defeito do tipo explosor, tentar obter a partir dele um defeito de isolamento.

A operação de queima pode ser realizada em corrente contínua ou corrente alternada, tratando-se em geral de uma operação longa e cujo sucesso nem sempre está à partida assegurado, sobretudo no caso de cabos de isolamento sintético.

Quando é realizada em corrente alternada, utiliza-se para o efeito um transformador com indutância de fugas variável, de modo a estabelecer um circuito ressonante com a capacidade do cabo. A corrente máxima é assim obtida na situação de ressonância. É importante a realização de um controlo apertado da tensão na ressonância de modo a garantir que não se ultrapassem os valores máximos previstos pelo isolamento do cabo. Por outro lado, como o valor da potência fornecida na ressonância é elevado, importa efectuar verificações periódicas do valor da resistência do defeito, interrompendo a operação logo que o referido valor se apresenta abaixo do nível desejado.A operação de queima em corrente contínua tem lugar com o auxílio de um gerador de alta tensão contínua, limitada a cerca de três vezes o valor da tensão de serviço fase terra U_o do cabo em ensaio e com a potência da ordem dos 10 kW. Para que a queima não se efectue sob uma intensidade de corrente muito elevada, pode ser necessário incluir uma resistência série de limitação.

No que se refere à segunda operação, de aumento da resistência de isolamento de defeito ou re-isolamento do defeito, a sua realização apenas se pode concretizar na hipótese de defeitos que se apresentam já fortemente impedantes (vários k Ω). Consiste na injecção de uma ou mais ondas de choque entre a alma condutora e o écran tendo o cuidado de não ultrapassar uma amplitude de 3 U_o ou, excepcionalmente, em cabos novos de 4 U_o.

A terminar este ponto, convém sublinhar que a identificação tão perfeita quanto possível das características do defeito, desempenha um papel deveras fundamental para o bom êxito das operações de localização da avaria no cabo.

4 - Métodos de Localização à Distância

Entre os diversos métodos de localização à distancia encontramos duas grandes famílias, a saber:

— Métodos de ponte (ou de anel);

— Métodos ecométricos.

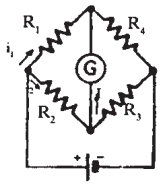
Na primeira família agrupam-se todos os métodos baseados em medições efectuadas com pontes resistivas (baseadas no princípio da ponte de Wheatstone) ou pontes capacitivas (baseadas no princípio da ponte de Sauty), enquanto na segunda família se encontram todos os métodos baseados na propagação e reflexão de impulsos e ondas electromagnéticas ao longo do cabo.

Métodos de Ponte

De um modo geral estes métodos têm como base o princípio da ponte de Wheatstone (para defeitos de isolamento) ou da ponte de Sauty (para defeitos de continuidade).

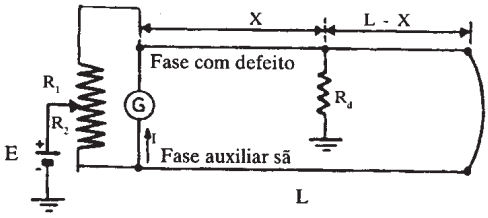
As figuras 12 e 13 apresentam o princípio de funcionamento da ponte de Wheatstone, assim como, o esquema eléctrico da sua aplicação a um defeito de isolamento, montagem conhecida com a designação de anel de Murray:

Figura 12 - Ponte de Wheatstone



QUANDO I = O
$R_2 . R_4 = R_1 . R_3$

Figura 13 - Anel de Murray



$R_4 = K X$
$R_3 = K (2 L - X)$

K = CONSTANTE
L = COMPRIMENTO TOTAL DO CABO
X = COMPRIMENTO ATÉ AO DEFEITO

EM EQUILÍBRIO:

$$X = 2L \frac{R_1}{R_1 + R_2}$$

Como observações fundamentais ao método convém referir:

— A resistência de defeito R_d não intervém directamente na precisão da medida, mas condiciona obviamente a respectiva sensibilidade, a qual é função do valor das correntes i_1 e i_2 no anel;

— Ligado com o ponto anterior está o valor da fonte de tensão contínua de alimentação **E**. Como indicações gerais podemos referir que, se R_d for da ordem do k Ω ou inferior, basta utilizar uma fonte da ordem da dezena de volt. Para valores de R_d entre 1 k Ω e algumas dezenas de k Ω, **E** terá necessidade de atingir algumas centenas de volt, entre 500 V a 1000 V. Para valores elevados de R_d (algumas dezenas de k Ω) impõe-se uma operação prévia de queima do defeito;

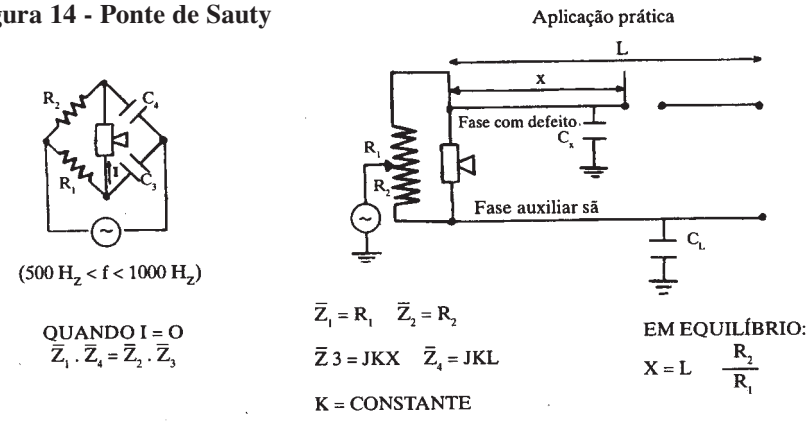
— O método é ainda aplicável na hipótese de secções diferentes ou condutores de natureza diferente, através de uma conveniente correcção dos comprimentos em função da razão das secções e da razão das resistividades, operação que não apresenta qualquer dificuldade especial;

— A presença de derivações obriga à utilização de uma técnica de aproximações sucessivas que vai permitindo o levantamento das várias indeterminações que se apresentam;

— Embora basicamente o princípio seja o mesmo, existem diversas montagens utilizáveis de acordo com a especificidade do defeito. Com essa finalidade são referidas na literatura especializada as montagens de Murray, Murray-Fisher, Hilhorn e Werren, entre outras.

No que se refere à ponte de Sauty, a figura 14 apresenta o princípio de funcionamento assim como a aplicação da ponte a um defeito de continuidade.

Figura 14 - Ponte de Sauty



Como observações principais ao método, importa referir as seguintes:

— As capacidades do cabo C_x e C_L não são perfeitas, isto é, apresentam perdas não nulas e, por outro lado, como o defeito pode estar mais ou menos isolado, o equilíbrio perfeito é inatingível. No sentido de ultrapassar parcialmente essa dificuldade podem usar-se duas variantes da ponte de Sauty designadas respectivamente por ponte de Wien e por ponte de Nernst (Figura 15 e Figura 16 respectivamente);

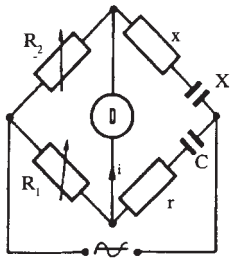


Figura 15 - Ponte de Wien

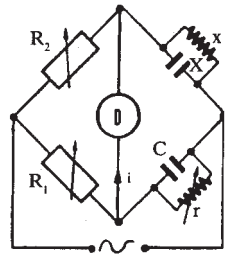


Figura 16 - Ponte de Nernst

— A ponte de Wien é dotada de uma resistência de compensação série sendo aplicável para cortes de condutor bem isolados (R_d superior a k Ω). A ponte de Nernst apresenta uma resistência de compensação colocada em paralelo com as capacidades e é aplicável para cortes do condutor com isolamento menor (R_d não inferior a 10 k Ω);

— De qualquer modo para se conseguir uma mais perfeita percepção do estado de equilíbrio é aconselhável o recurso a um detector do tipo visual e não do tipo acústico tradicionalmente utilizado;

— A dificuldade resultante da eventual inexistência de uma fase sã no cabo é ultrapassável através da realização de medições nas duas extremidades do cabo se R_d for aproximadamente igual a R'_d ou então através do conhecimento prévio da capacidade linear do cabo e recorrendo a uma capacidade padrão externa;

— A fonte alternada de frequência musical que alimenta a ponte deve apresentar uma onda sinusoidal tão pura quanto possível;

— Nos cabos de campo não radial, situação habitual dos cabos de baixa tensão, é necessário levar em linha de conta a influência das capacidades parciais na medição efectuada o que leva em geral a uma perda de precisão;

— Em qualquer situação a ponte utilizada deve ser insensível aos 50 Hz da frequência industrial.

A finalizar esta referência aos métodos de ponte apresentamos as seguintes conclusões:

• foram os primeiros métodos utilizados neste domínio e os serviços prestados ao longo de algumas décadas extremamente relevantes;

• na época actual os métodos de ponte podem considerar-se largamente suplantados pelos chamados métodos ecométricos, que abordaremos a seguir, principalmente por três tipos de razões:

— apresentam um espectro de utilização relativamente limitado,

— os tempos de intervenção correspondentes são em geral bastante longos,

— para se conseguir uma boa precisão as precauções exigídas são bastantes numerosas o que implica o recurso a verdadeiros especialistas;

• convém, no entanto, não esquecer que o seu custo em termos de equipamento é incomparavelmente mais baixo e que estes métodos podem ainda constituir um elemento de ajuda importante;

• as pontes resistivas de alta tensão, devido ao seu custo elevado, são economicamente injustificáveis.

Métodos Ecométricos

Tratam-se de métodos baseados na análise da resposta de um cabo ou de uma parte de uma rede de cabos a um impulso ou a uma onda electromagnética de alta frequência.

Para uma correcta aplicação destes métodos torna-se indispensável o conhecimento de noções básicas sobre a teoria da propagação de ondas móveis em circuitos de constantes repartidas, designadamente o comportamento dessas ondas em face das diversas descontinuidades de impedância característica presentes na rede (junção, derivação, extremidade aberta, extremidade em curto circuito, etc.)

Como observações de carácter geral a este tipo de métodos é de referir que:

— tratam-se de métodos que, em geral, fornecem excelentes resultados, mesmo em casos particularmente difíceis;

— o custo do equipamento é o principal factor limitativo na utilização destes métodos;

— um aspecto a ter em conta e que pode constituir uma limitação importante diz respeito ao fenómeno da atenuação, sobretudo em troços de cabo particularmente longos;

— o fenómeno da distorção cuja ocorrência fica a dever-se essencialmente ao facto da velocidade de propagação da onda não ser independente da frequência, deve ser tido em consideração; desta forma as leituras dos tempos de propagação devem ser sempre efectuadas entre as duas origens dos impulsos à partida e à chegada, (figuras 17 e 18);

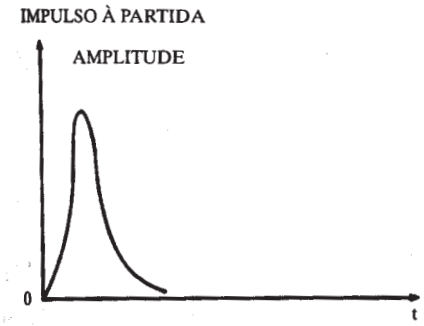


Figura 17

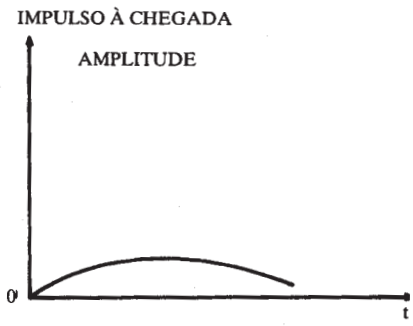


Figura 18

— a adaptação da impedância interna da fonte de emissão de impulsos à impedância característica do cabo é um factor essencial para evitar reflexões múltiplas que muito prejudicam a clareza dos registos gráficos (ecogramas).

No que segue indicaremos as características principais e os campos de aplicação dos principais métodos ecométricos habitualmente utilizados.

Embora se possam classificar os métodos de impulsos em várias categorias, optamos por dividir estes métodos em três grupos principais:

A) Ecometria em Baixa Tensão

O princípio de aplicação destes métodos exige a ligação ao cabo de um gerador de impulsos (ecómetro), sendo o registo efectuado por meio de um osciloscópio (figura 19).

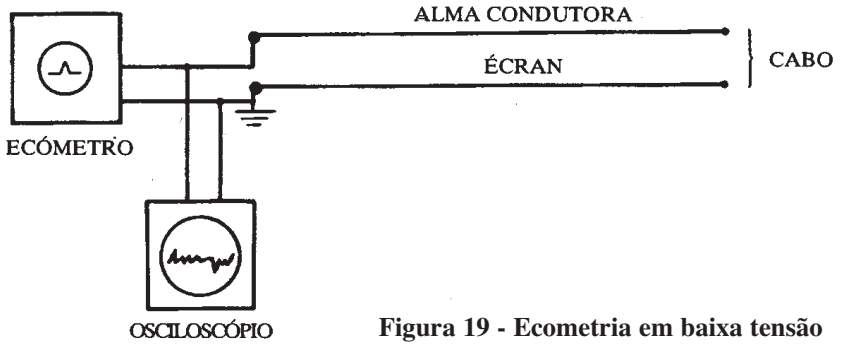


Figura 19 - Ecometria em baixa tensão

Para uma conveniente visualização do oscilograma, a frequência de emissão dos impulsos deve ser suficientemente elevada, mas não superior à frequência que corresponde ao tempo de ida e volta do impulso no cabo, de modo a não haver sobreposição de dois impulsos, convenientemente desfasados.

O valor do comprimento l_x pretendido pode ser obtido pela expressão seguinte:

$$l_x = \frac{1}{2} v t_x$$

em que t_x corresponde ao tempo de ida e volta da onda no cabo e que pode ser obtido a partir dos oscilogramas registados. V é a velocidade de propagação da onda no cabo.

Alguns dos oscilogramas típicos são apresentados a seguir na figura 20.

— Este ecograma refere-se a um defeito de continuidade em que R_d é de valor superior ao de Z_c (impedância característica). O factor de reflexão é positivo;

— Neste caso o defeito é de isolamento, sendo o factor de reflexão negativo;

— Finalmente temos o ecograma obtido com uma caixa de união, sem haver mudança nas características do cabo.

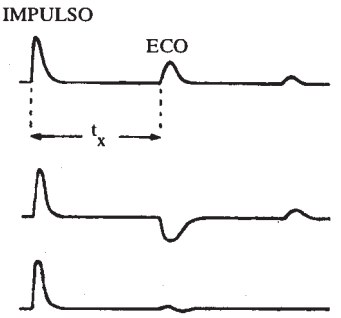


Figura 20 - Oscilogramas típicos

No que se refere à medição dos tempos t_x, habitualmente utiliza-se a base de tempo do osciloscópio eventualmente com recurso a um defasador.

O método que em linhas gerais foi apresentado é susceptível de algumas variantes que procuram corresponder a situações mais complexas e de interpretação mais exigente. Assim, podemos encontrar como variantes principais:

— **Método de comparação de fases**

Neste método pode-se fazer aparecer simultaneamente no écran do osciloscópio os ecogramas relativos a uma fase sã e a outra defeituosa.

— **Método diferencial**

Nesta variante, o ecómetro é ligado simultaneamente a duas fases do cabo, uma sã e outra avariada, sendo os impulsos recebidos por um transformador auxiliar que apenas transmite ao primário as diferenças de forma ou amplitude que se verifica entre os impulsos reflectidos. Dadas as características da montagem, no ecograma surgem apenas registadas as reflexões provocadas pelo defeito.

— **Método da reflexão sobre arco de queima**

Este método constitui uma tentativa de extensão do domínio de aplicação da ecometria clássica de baixa tensão a casos particulares de defeitos de continuidade e de isolamento (com valores de R_d inferiores a 200 Ω).

Trata-se de uma técnica que permite cobrir os defeitos de isolamento cuja queima, não se revela possível, através da associação do ecómetro de baixa tensão ao aparelho de queima de modo a conseguir que os impulsos se reflictam no arco. Exige uma precaução indispensável e que corresponde à utilização de um filtro para impedir que a tensão utilizada na queima seja aplicada ao ecómetro.

É um método de criação bastante recente e que veio permitir à técnica da ecometria em baixa tensão o tratamento de praticamente todos os tipos de defeitos, apenas com a excepção dos do tipo explosor.

B) Ecometria em Alta Tensão

Como ficou claro da exposição precedente sobre a ecometria de baixa tensão, tratam-se de métodos apenas aplicáveis no casos de defeitos que apresentam uma baixa impedância No caso de tal não se verificar impunha-se uma modificação da impedância do defeito.

Os métodos ecométricos de alta tensão são os que se adaptam às situações em que o defeito apresenta uma elevada impedância ou é do tipo explosor.

Classicamente eram utilizados dois métodos:

O **método da onda de choque** utilizado quando estamos perante um caso de defeito cujo escorvamento só tem lugar a uma tensão bastante elevada (entre alguns kV e algumas dezenas de kV). O valor de l_x é dado pela expressão clássica

$l_x = 1/2.v.t_x$ sendo no entanto necessário corrigir o tempo t_x, subtraindo-lhe o atraso Δt relativo ao escorvamento da onda de choque no local do defeito.

O método das oscilações de relaxação (alta tensão contínua) assenta no princípio de que um cabo previamente carregado e colocado em curto-circuito, entra em oscilação de um quarto de onda. O sistema de ondas de relaxação é registado no écran do ecómetro, sendo o (pseudo) período T correspondente a um percurso de quatro vezes o local do defeito e a extremidade de medida.

Modernamente outros métodos foram surgindo no domínio da ecometria de alta tensão, no sentido de ultrapassar as dificuldades registadas com os dois métodos anteriores. Dentre esses métodos é de referir a ecometria utilizando a reflexão dos impulsos sobre o arco de queima do defeito (método idêntico ao já referido para a baixa tensão) e a ecometria em impulsos de corrente. Dada a importância adquirida nos últimos anos por estes últimos métodos, justifica-se o seu tratamento com algum detalhe.

C) Ecometria utilizando Impulsos de Corrente

Os métodos ecométricos de alta tensão apresentam vários inconvenientes e limitações, tais como:

— falta de clareza dos ecogramas, em parte resultante da necessidade de utilizar um divisor capacitivo para detecção e registo de fenómenos;

— dificuldades na medida do tempo t_x devido ao atraso no escorvamento da onda de choque no local do defeito;

— domínio relativamente restrito de aplicação, nomeadamente redes sem derivações.

Pode dizer-se que a ecometria de impulsos de corrente surgiu no sentido de tentar contornar as dificuldades apontadas. O método tem como base o princípio que, quando uma corrente de intensidade **i** circula num condutor, a colocação na sua proximidade de um captador linear permite obter nos seus terminais um sinal proporcional a **di/dt.** O captador linear é constituído por uma espira de indutância **L** fechado sobre uma resistência **R** de aproximadamente 100 Ω. A espira desempenha o papel de uma antena «YAGI», captando preferencialmente a frequência cujo quarto de onda corresponde ao comprimento do quadro da espira. Nestas condições os ecogramas obtidos são particularmente selectivos facilitando a medida de t_x.

A figura seguinte apresenta um esquema do equipamento utilizado e das correspondentes ligações (21a) assim como um desenho esquemático dum oscilograma (21b).

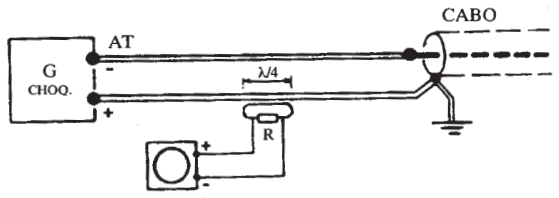


Figura 21a - Esquema de equipamento

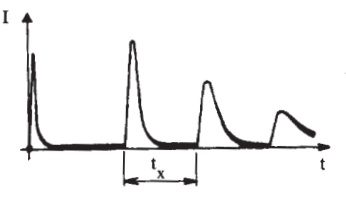


Figura 21b - Esquema de oscilograma

Esta técnica é aplicável habitualmente sob as três formas usuais da ecometria:

— método directo;

— método de comparação;

— método diferencial.

O método de comparação é utilizado quando não se conhecem as características de propagação do cabo, sendo então necessário o estudo comparativo de uma fase sã com a fase do defeito.

O método diferencial permite a sobreposição de dois ou mais registos o que permite detectar com precisão e sem ambiguidade o ponto de divergência dos ecogramas.

Existe ainda o método das ondas estacionárias, relativamente pouco divulgado, dado apresentar um domínio de aplicação bastante restrito, que consiste na criação de um regime de ondas estacionárias entre uma extremidade do cabo e o local do defeito.

Para aplicação deste método torna-se necessário dispor de um gerador de alta frequência, variável entre 30 KHz e 50 MHz, com possibilidade de uma tensão de saída e amplitude regulável. Além deste gerador é preciso dispor de um voltímetro para detecção dos máximos de tensão.

D) Conclusões

Da apresentação anterior sobre os métodos ecométricos podem retirar-se diversas conclusões que resumimos a seguir:

- Com a introdução da reflexão sobre o arco de queima e dos impulsos de corrente, os métodos ecométricos representam actualmente a técnica de ponta em matéria de detecção e localização de avarias em cabos;
- Estes métodos cobrem praticamente todo o conjunto possível de tipos de defeito e permitem o seu tratamento em tempos geralmente mais curtos que os conseguidos com os métodos de ponte, o que conduz a uma redução dos tempos de indisponibilidade das redes;
- Os métodos tradicionais de ecometria em alta tensão (onda de choque e relaxação) vêem o seu interesse bastante reduzido quando é possível dispor dos métodos de impulsos de corrente;
- Como nota negativa, é de assinalar que, o custo actual do equipamento necessário para a aplicação destes métodos constitui um travão apreciável, no que se refere ao desejo de várias entidades, exploradoras de redes de cabos subterrâneos, de se dotarem correctamente dos meios necessários a uma rápida e eficiente detecção e localização de avarias nessas redes.

5 - Método de Localização no Terreno

Após a etapa inicial em que se incluiu a determinação das características da avaria, passamos a dispor de uma estimativa do valor da distância entre a extremidade acessível do cabo e o local do defeito.

O erro global que é de esperar numa localização à distância encontra-se compreendido entre ± 0,5% e ± 5%, sendo habitual encontrar valores médios para esse erro entre ± 1% e ± 2%. Tendo em consideração este erro, seríamos conduzidos à abertura de valas de grande comprimento, da ordem da dezena de metros, o que é economicamente desaconselhável. Como tal impõe-se uma localização da avaria feita directamente no terreno, de modo a que o erro final não ultrapasse um metro.

Por outro lado, quando não se dispõe de uma planta de implantação da rede de cabos suficientemente clara e actualizada pode ser necessário seguir o traçado do cabo em causa e, eventualmente, poder distingui-lo de outros colocados na sua vizinhança directa. No que se refere a este último ponto, são utilizados métodos do tipo electromagnético. Quanto ao primeiro aspecto focado, pode dizer-se que são correctamente utilizados dois tipos de métodos:

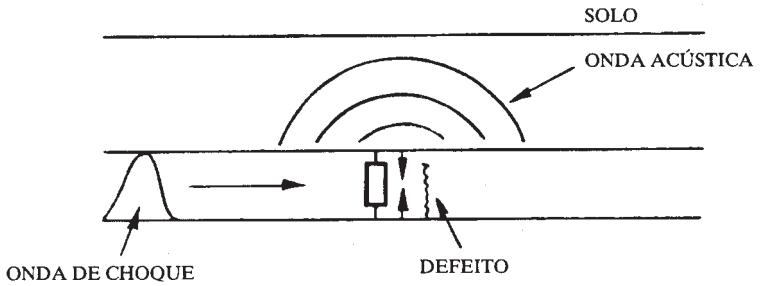
O **método da detecção do campo magnético ao longo do cabo** serve para a determinação do traçado dos cabos e assenta na detecção, ao longo do percurso do cabo, do campo magnético criado por uma corrente de frequência musical (em geral entre 400 e 1200 Hz). Esse campo magnético é detectado com o auxílio de uma pequena bobina com núcleo de ferrite, ligado a um receptor adequado (auscultador telefónico).

Este método é utilizável em cabos multipolares apenas quando se trata de um defeito de isolamento de resistência muito baixa (inferior a 10 Ω).

O **método de detecção de vibrações do solo,** cujo princípio assenta na detecção acústica, à superfície do solo do ruído produzido por descargas eléctricas no local do defeito (ondas de choque).

O arco produzido no local do defeito dá origem a um sinal acústico, o qual se propaga no solo em ondas esféricas constituindo uma espécie de mini tremor de terra cujo epicentro se localiza no local do defeito.

Figura 22 - Método de detecção de vibrações do solo



Os detectores utilizados integram geralmente como equipamento essencial, um geofone (microfone direccional), um amplificador e um par de auscultadores telefónicos.

A intensidade do ruído produzido pelas descargas no local do defeito depende, em grande parte, da energia de cada onda de choque enviada para o cabo. Para que a localização ocorra em boas condições, é necessário garantir níveis mínimos de energia da ordem dos 1000 J em baixa tensão e dos 2500 J em média e alta tensões.

Este problema é particularmente crítico nos meios urbanos devido à existência de inúmeros ruídos parasitas. Uma solução prática actualmente usada consiste em utilizar uma bobina que detecte o campo magnético produzido pela onda de choque à sua passagem e, em seguida, fornece um sinal que determina a colocação em funcionamento do sistema de captação do ruído de descarga.

Apresentamos de uma forma esquemática os vários meios de detecção mais utilizados na localização no terreno.

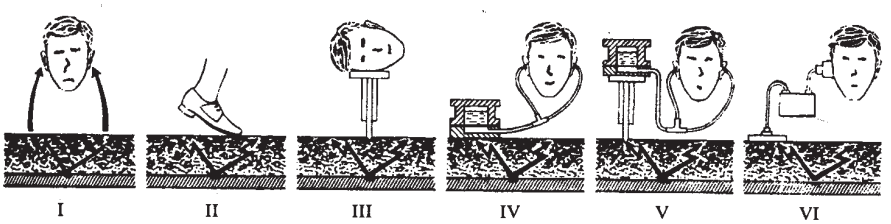


Figura 23 - Esquema dos vários meios de detecção mais utilizados na localização no terreno

I - audição de um ruído surdo como «Pouf»;

II - sentir as vibrações do terreno com a ponta do pé;

III - uso de vara metálica para aumentar a sensibilidade;

IV - sismofone de mercúrio;

V - sismofone de mercúrio e vara metálica;

VI- geofone.

4.3 - Ensaios Após Colocação

Os ensaios efectuados sobre os cabos, após colocação, têm por finalidade a constatação de que os cabos não foram danificados durante a sua instalação, que a montagem dos acessórios foi efectuada de maneira satisfatória, assim como, em certos casos, a medição das características eléctricas da canalização instalada.

Distinguem-se:

— os ensaios efectuados sobre comprimentos individuais, após o desenrolamento, consistindo numa medição da resistência de isolamento. Mas para os cabos de AT limitamo-nos, geralmente, a um ensaio da rigidez dieléctrica da bainha exterior, efectuada em corrente contínua;

— os ensaios sobre a canalização instalada, após a montagem dos acessórios, consistem em:

  • medição da resistência de isolamento das isolações,

  • verificação da concordância de fases,

  • nos cabos AT: medição de resistência de isolamento das bainhas exteriores.

Além disso, quando acordado com o cliente, um ensaio de tensão alternada poderá ser efectuado entre condutores e o écran ou a terra. Esta verificação é geralmente prevista sob uma tensão de U_o durante 24 horas, nos cabos MT e de AT. Outras condições de tensão de ensaio e duração de ensaio podem ser utilizadas, após mútuo acordo.

4.4 - Acondicionamento de Cabos Eléctricos

Para o acondicionamento armazenamento e transporte dos cabos nus e isolados, são utilizados vários tipos de bobinas tanto a nível dimensional como construtivo.

Com algumas excepções nos cabos de alta tensão onde são utilizadas bobinas metálicas, normalmente são utilizadas bobinas fabricadas em madeira. Estas são construídas em conformidade com as normas e especificações existentes para o efeito, garantindo a protecção necessária dos cabos nelas acondicionados.

4.4.1 - Cálculo do comprimento máximo de condutor numa bobina

a) Base de Cálculo

O volume útil V_{dr} de uma bobina é dado pela equação (1).

Esse volume é descrito na figura 24.

$$V_{dr} = (\pi d_1^2 - \pi d_2^2)\ B/4 \qquad (1)$$

Sendo:

V_{dr} o volume útil da bobina (m^3)
d_1, d_2 os diâmetros exterior e do tambor (m)
B a largura interior útil (distância entre abas) (m)

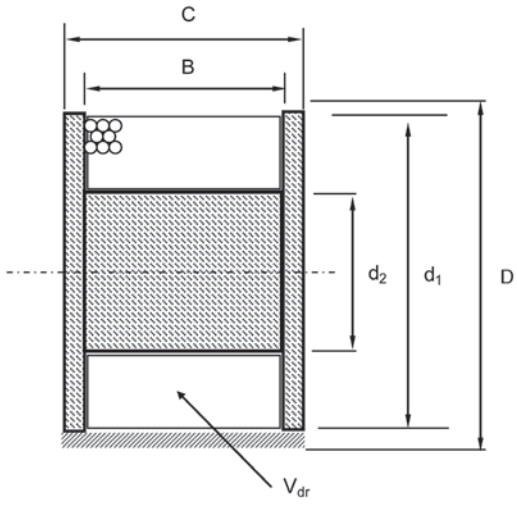


Figura 24 - Volume útil numa bobina

b) Factor de Acondicionamento

A quantidade de condutor que pode ser enrolado numa bobina depende do espaço livre entre as diversas espiras (forma de enrolamento) de cabo.

Se o factor de acondicionamento é definido através da razão entre o volume utilizado e o volume total, dois casos extremos há a considerar, cada um correspondendo a um factor indicado nas figuras 25 e 26.

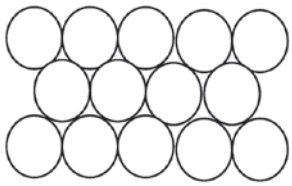


Figura 25 - Espaço livre mínimo

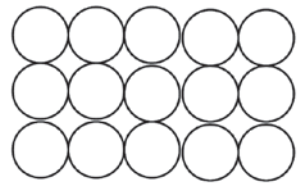


Figura 26 - Espaço livre máximo

O factor de acondicionamento k_p aplicado à figura 26 (espaço máximo entre espiras do condutor) é dado por:

$K_p = \pi/4 = 0{,}785$

No caso da figura 25 os espaços livres entres espiras são minimizados, sendo neste caso k_p dado por:

$K_p = \pi/2 \times 1.732 = 0{,}907$

Normalmente, $k_p = 0{,}87$ é considerado como suficiente para a prática corrente.

c) Espaço livre da última camada de condutor

É prática corrente considerar um espaço mínimo de protecção entre a última camada de condutor e o fecho da bobina (final da aba da bobina) de 2 vezes o diâmetro do condutor. Considerando que para condutores de pequena secção o acondicionamento é normalmente efectuado em bobinas pequenas e para condutores de secção mais elevada em bobinas maiores, os valores apresentados na tabela seguintes são os mais recomendados.

Quadro 61 - Espaço livre na bobina

Diâmetro exterior d_1 (m)	Espaço médio entre o fecho e o condutor cm
1,2	5
1,4	5
1,6	7
1,8	8
2,0	8
2,2	10
2,5	10

O espaço indicado na tabela 1 corresponde a um factor de redução de aproximadamente $k_s = 0,8$ aplicado ao volume V_{dr}.

Utilizando a equação $_{(1)}$, o comprimento máximo de condutor numa bobina pode ser calculado:

$$V_{dr}\, k_s\, k_p = D^2\, L\, \pi/4$$

Ou seja:

$$L = 0,886\, V_{dr} / D^2 \quad = 0,89\, V_{dr} / D^2$$

Sendo:

k_s	o factor de redução = 0,8
k_p	o factor de acondicionamento = 0,87
V_{dr}	o volume da bobina (m^3)
D	o diâmetro do condutor (m)
L	o comprimento máximo de condutor (m)

4.4.2 - Diâmetro mínimo do núcleo da bobina

Uma das preocupações fundamentais no acondicionamento dos cabos é a utilização de bobinas de forma que o núcleo (tambor) das mesmas nunca seja inferior ao raio mínimo de curvatura dos cabos nelas acondicionados.

Desta forma, os diâmetros dos núcleos das bobinas são os indicados no Quadro 62.

Quadro 62- Diâmetro mínimo do núcleo da bobina

Tipo de cabo	Nus	Isolados			
		Não armado		Armado	
		Sólido	Multifilar	Sólido	Multifilar
Monocondutor	25 x D	25 x D	20 x D	25 x D	20 x D
Multicondutor	-	20 x D	15 x D	20 x D	20 x D
D = diâmetro exterior do cabo					

4.4.3 - Capacidade de acondicionamento

Nos quadros 63 ao 66, são apresentadas as capacidades de acondicionamento para os diversos tipos de bobinas normalmente utilizadas tanto para cabos nus como para cabos isolados.

Quadro 63 - Capacidade das bobinas para cabos isolados (metros)

CABOS NÃO ARMADOS MULTICONDUTORES (MULTIFILARES)

	Bobinas tipo BM 002											Bobinas tipo BM 004				
Tipo de Bobina	06	08	10	12	14	16	18	20	22	25	27	18S	20S	22S	22E	25S
d_1 (mm)	630	800	1000	1250	1400	1600	1800	2000	2240	2500	2700	1800	2000	2240	2240	2500
d_2 (mm)	315	400	500	630	710	900	1120	1250	1400	1500	1500	1000	1000	1000	1250	1000
B (mm)	370	520	610	710	810	980	960	960	1210	1190	1190	960	960	1210	940	1190
e (mm)	40	40	50	50	60	60	70	70	80	80	80	70	70	80	80	80
C (mm)	470	620	730	830	950	1100	1120	1120	1390	1370	1370	1120	1120	1390	1120	1370
Tara s/ ripas (kg)	30	50	85	130	185	250	345	415	595	715	810	340	400	555	555	665
Tara c/ ripas (kg)	48	81	130	194	266	360	468	552	786	924	1036	463	537	746	708	874
Cubicagem (m^3)	0,22	0,46	0,82	1,42	2,03	3,03	3,87	4,75	7,35	8,98	10,44	3,87	4,75	7,35	5,92	8,98
10,0	700	1700	3100													
12,0	500	1200	2200	4000												
14,0		800	1600	2900	4200											
16,0		600	1200	2200	3200	4600										
18,0		500	900	1700	2500	3600	4100	5000				4600				
20,0			700	1400	2000	2900	3300	4000				3700	5000			
22,0			600	1100	1700	2400	2700	3300				3100	4100		4600	
24,0			500	1000	1400	2000	2300	2800	4400			2600	3400		3900	
26,0				800	1200	1700	1900	2400	3800	4900		2200	2900	5000	3300	
28,0				700	1000	1500	1600	2000	3200	4200		1900	2500	4300	2800	
30,0				600	900	1300	1400	1800	2800	3600	4600	1600	2200	3700	2500	4800
32,0				500	800	1100	1300	1500	2500	3200	4000	1400	1900	3300	2200	4200
34,0				500	700	1000	1100	1400	2200	2800	3600	1300	1700	2900	1900	3700
36,0					600	900	1000	1200	1900	2500	3200	1100	1500	2600	1700	3300
38,0					500	800	900	1100	1700	2300	2900	1000	1300	2300	1500	3000
40,0					500	700	800	1000	1600	2000	2600	900	1200	2100	1400	2700
42,0						600	700	900	1400	1800	2300	800	1100	1900	1200	2400
44,0						600	600	800	1300	1700	2100	700	1000	1700	1100	2200
46,0						500	600	700	1200	1500	1900	700	900	1600	1000	2000
48,0						500	500	700	1100	1400	1800	600	800	1400	900	1800
50,0							500	600	1000	1300	1600	600	800	1300	900	1700
52,0								600	900	1200	1500	500	700	1200	800	1600
54,0								500	800	1100	1400	500	600	1100	700	1400
56,0								500	800	1000	1300		600	1000	700	1300
58,0									700	900	1200		500	1000	600	1200
60,0									700	900	1100		500	900	600	1200

Nota: Para diâmetros intermédios considerar o valor imediatamente acima.

Quadro 64 - Capacidade das bobinas para cabos isolados (metros)

CABOS NÃO ARMADOS MONOCONDUTORES (MULTIFILARES) / MULTICONDUTORES (SOLIDOS)
CABOS ARMADOS MONOCONDUTORES (MULTIFILARES) / MULTICONDUTORES

	Bobinas tipo BM 002											Bobinas tipo BM 004				
Tipo de Bobina	06	08	10	12	14	16	18	20	22	25	27	18S	20S	22S	22E	25S
d_1 (mm)	630	800	1000	1250	1400	1600	1800	2000	2240	2500	2700	1800	2000	2240	2240	2500
d_2 (mm)	315	400	500	630	710	900	1120	1250	1400	1500	1500	1000	1000	1000	1250	1000
B (mm)	370	520	610	710	810	980	960	960	1210	1190	1190	960	960	1210	940	1190
e (mm)	40	40	50	50	60	60	70	70	80	80	80	70	70	80	80	80
C (mm)	470	620	730	830	950	1100	1120	1120	1390	1370	1370	1120	1120	1390	1120	1370
Tara s/ ripas (kg)	30	50	85	130	185	250	345	415	595	715	810	340	400	555	555	665
Tara c/ ripas (kg)	48	81	130	194	266	360	468	552	786	924	1036	463	537	746	708	874
Cubicagem (m^3)	0,22	0,46	0,82	1,42	2,03	3,03	3,87	4,75	7,35	8,98	10,44	3,87	4,75	7,35	5,92	8,98
10,0	700	1700	3100													
12,0	500	1200	2200	4000												
14,0		800	1600	2900	4200											
16,0		600	1200	2200	3200	4600										
18,0		500	900	1700	2500	3600	4100	5000				4600				
20,0			700	1400	2000	2900	3300	4000				3700	5000			
22,0			600	1100	1700	2400	2700	3300				3100	4100		4600	
24,0			500	1000	1400	2000	2300	2800	4400			2600	3400		3900	
26,0				800	1200	1700	1900	2400	3800	4900		2200	2900	5000	3300	
28,0				700	1000	1500	1600	2000	3200	4200		1900	2500	4300	2800	
30,0				600	900	1300	1400	1800	2800	3600	4600	1600	2200	3700	2500	4800
32,0					800	1100	1300	1500	2500	3200	4000	1400	1900	3300	2200	4200
34,0					700	1000	1100	1400	2200	2800	3600	1300	1700	2900	1900	3700
36,0						900	1000	1200	1900	2500	3200	1100	1500	2600	1700	3300
38,0						800	900	1100	1700	2300	2900	1000	1300	2300	1500	3000
40,0						700	800	1000	1600	2000	2600	900	1200	2100	1400	2700
42,0						600	700	900	1400	1800	2300	800	1100	1900	1200	2400
44,0						600	600	800	1300	1700	2100	700	1000	1700	1100	2200
46,0							600	700	1200	1500	1900	700	900	1600	1000	2000
48,0							500	700	1100	1400	1800	600	800	1400	900	1800
50,0							500	600	1000	1300	1600	600	800	1300	900	1700
52,0								600	900	1200	1500				800	
54,0								500	800	1100	1400				700	
56,0								500	800	1000	1300				700	
58,0									700	900	1200				600	
60,0									700	900	1100				600	

Nota: Para diâmetros intermédios considerar o valor imediatamente acima.

Quadro 65 - Capacidade das bobinas para cabos isolados (metros)

CABOS NÃO ARMADOS MONOCONDUTORES (SOLIDOS)
CABOS ARMADOS MONOCONDUTORES (SOLIDOS)

	Bobinas tipo BM 002											Bobinas tipo BM 004				
	06	08	10	12	14	16	18	20	22	25	27	18S	20S	22S	22E	25S
d_1 (mm)	630	800	1000	1250	1400	1600	1800	2000	2240	2500	2700	1800	2000	2240	2240	2500
d_2 (mm)	315	400	500	630	710	900	1120	1250	1400	1500	1500	1000	1000	1000	1250	1000
B (mm)	370	520	610	710	810	980	960	960	1210	1190	1190	960	960	1210	940	1190
e (mm)	40	40	50	50	60	60	70	70	80	80	80	70	70	80	80	80
C (mm)	470	620	730	830	950	1100	1120	1120	1390	1370	1370	1120	1120	1390	1120	1370
Tara s/ ripas (kg)	30	50	85	130	185	250	345	415	595	715	810	340	400	555	555	665
Tara c/ ripas (kg)	48	81	130	194	266	360	468	552	786	924	1036	463	537	746	708	874
Cubicagem (m^3)	0,22	0,46	0,82	1,42	2,03	3,03	3,87	4,75	7,35	8,98	10,44	3,87	4,75	7,35	5,92	8,98
10,0	700	1700	3100													
12,0	500	1200	2200	4000												
14,0		800	1600	2900	4200											
16,0		600	1200	2200	3200	4600										
18,0			900	1700	2500	3600	4100	5000				4600				
20,0			700	1400	2000	2900	3300	4000				3700	5000			
22,0				1100	1700	2400	2700	3300				3100	4100		4600	
24,0				1000	1400	2000	2300	2800	4400			2600	3400		3900	
26,0					1200	1700	1900	2400	3800	4900		2200	2900	5000	3300	
28,0					1000	1500	1600	2000	3200	4200		1900	2500	4300	2800	
30,0						1300	1400	1800	2800	3600	4600	1600	2200	3700	2500	4800
32,0						1100	1300	1500	2500	3200	4000	1400	1900	3300	2200	4200
34,0						1000	1100	1400	2200	2800	3600	1300	1700	2900	1900	3700
36,0						900	1000	1200	1900	2500	3200	1100	1500	2600	1700	3300
38,0							900	1100	1700	2300	2900	1000	1300	2300	1500	3000
40,0							800	1000	1600	2000	2600	900	1200	2100	1400	2700
42,0							700	900	1400	1800	2300				1200	
44,0							600	800	1300	1700	2100				1100	
46,0								700	1200	1500	1900				1000	
48,0								700	1100	1400	1800				900	
50,0								600	1000	1300	1600				900	
52,0									900	1200	1500					
54,0									800	1100	1400					
56,0									800	1000	1300					
58,0										900	1200					
60,0										900	1100					

Nota: Para diâmetros intermédios considerar o valor imediatamente acima.

Quadro 66 - Capacidade das bobinas para cabos nus (metros)

	Bobinas tipo BM 001															Bobinas tipo BM 003						
	060	070	080	090	100	110	120	130	140	141	160	180	200	210	220	93/62	114/66	138/76	138/101	186/86	186/117	206/112
d_1 (mm)	600	750	800	950	1000	1100	1200	1300	1400	1400	1600	1800	2000	2100	2200	870	1080	1320	1320	1800	1800	2000
d_2 (mm)	270	400	400	400	500	600	600	600	600	600	700	700	900	900	900	450	450	550	550	700	700	800
B (mm)	280	540	400	540	500	700	700	700	800	800	900	900	900	900	900	460	460	560	810	660	970	900
e (mm)	50	60	60	60	60	60	70	70	70	90	90	90	90	90	100	70	90	90	90	90	90	100
C (mm)	380	660	520	660	620	820	840	840	960	1000	1100	1100	1100	1100	1120	620	660	760	1010	860	1170	1120
Tara s/ ripas (kg)	30	60	60	80	90	120	150	170	195	240	315	385	475	520	615	80	140	205	215	370	390	515
Tara c/ ripas (kg)	45	92	86	120	129	177	213	238	277	326	423	506	609	661	765	113	184	266	297	464	519	652
Cubicagem (m^3)	0,17	0,43	0,38	0,67	0,70	1,10	1,33	1,55	2,05	2,13	3,03	3,81	4,67	5,13	5,72	0,54	0,86	1,45	1,92	2,98	4,05	4,75
10,0	500	1500	1300	2800	2600	4100	5200	6500	8900	8900	13000					1700	3000	5600	8100	12600		
11,0		1200	1100	2300	2100	3400	4300	5300	7300	7300	10700	14200				1400	2500	4600	6700	10400		
12,0		1000	900	1900	1800	2800	3600	4500	6200	6200	9000	12000	13900			1200	2100	3900	5600	8800	12900	14600
13,0		800	700	1600	1500	2400	3100	3800	5200	5200	7700	10200	11800	13400	15000	1000	1800	3300	4800	7500	11000	12500
14,0		700	600	1400	1300	2100	2600	3300	4500	4500	6600	8800	10200	11500	12900	900	1500	2800	4100	6400	9500	10700
15,0		600	500	1200	1100	1800	2300	2800	3900	3900	5700	7600	8900	10000	11200	700	1300	2500	3600	5600	8200	9300
16,0		500	500	1000	1000	1600	2000	2500	3400	3400	5000	6700	7800	8800	9900	600	1200	2200	3100	4900	7200	8200
17,0					900	1400	1800	2200	3000	3000	4500	5900	6900	7800	8700	600	1000	1900	2800	4300	6400	7300
18,0					800	1200	1600	2000	2700	2700	4000	5300	6100	6900	7800	500	900	1700	2500	3900	5700	6500
19,0					700	1100	1400	1800	2400	2400	3600	4700	5500	6200	7000			1500	2200	3500	5100	5800
20,0					600	1000	1300	1600	2200	2200	3200	4300	5000	5600	6300			1400	2000	3100	4600	5200
21,0						900	1100	1400	2000	2000	2900	3900	4500	5100	5700			1200	1800	2800	4200	4700
22,0						800	1000	1300	1800	1800	2600	3500	4100	4600	5200			1100	1600	2600	3800	4300
23,0						700	900	1200	1600	1600	2400	3200	3700	4200	4700					2300	3500	3900
24,0						700	900	1100	1500	1500	2200	3000	3400	3900	4400					2200	3200	3600
25,0											2000	2700	3200	3600	4000					2000	2900	3300
26,0											1900	2500	2900	3300	3700					1800	2700	3100
27,0											1700	2300	2700	3100	3400					1700	2500	2800
28,0											1600	2200	2500	2800	3200					1600	2300	2600
29,0													2300	2600	3000							2500
30,0													2200	2500	2800							2300
31,0													2000	2300	2600							2100
32,0													1900	2200	2400							2000
33,0													1800	2000	2300							
34,0													1700	1900	2100							
35,0													1600	1800	2000							

Nota: Para diâmetros intermédios considerar o valor imediatamente acima.

Quadro 66A - Capacidade das bobinas especiais para cabos nus (m)

	Bobinas tipo BM 001							
	203	210	220	222	224	225	226	227
d_1 (mm)	2000	2100	2200	2200	2240	2200	2200	2240
d_2 (mm)	1000	900	900	1000	1000	1000	900	1000
B (mm)	1000	900	900	1000	1100	1100	1000	1200
e (mm)	90	90	100	100	100	100	100	100
C (mm)	1200	1100	1120	1220	1320	1320	1220	1420
Tara s/ ripas (kg)	490	520	615	635	660	640	625	670
Tara c/ ripas (kg)	637	661	765	799	841	818	789	865
Cubicagem (m^3)	5,09	5,13	5,72	6,23	6,98	6,74	6,23	7,51
15,0	9300	10000	11200	11900	13700	13100	12500	14900
16,0	8100	8800	9900	10400	12000	11500	11000	13100
17,0	7200	7800	8700	9200	10600	10200	9700	11600
18,0	6400	6900	7800	8200	9500	9100	8600	10400
19,0	5800	6200	7000	7400	8500	8100	7800	9300
20,0	5200	5600	6300	6700	7700	7300	7000	8400
21,0	4700	5100	5700	6000	7000	6600	6300	7600
22,0	4300	4600	5200	5500	6300	6100	5800	6900
23,0	3900	4200	4700	5000	5800	5500	5300	6300
24,0	3600	3900	4400	4600	5300	5100	4800	5800
25,0	3300	3600	4000	4200	4900	4700	4500	5300
26,0	3100	3300	3700	3900	4500	4300	4100	4900
27,0	2800	3100	3400	3600	4200	4000	3800	4600
28,0	2600	2800	3200	3400	3900	3700	3500	4200
29,0	2400	2600	3000	3100	3600	3500	3300	4000
30,0	2300	2500	2800	2900	3400	3200	3100	3700
31,0	2100	2300	2600	2700	3200	3000	2900	3500
32,0	2000	2200	2400	2600	3000	2800	2700	3200
33,0	1900	2000	2300	2400	2800	2700	2500	3000
34,0	1800	1900	2100	2300	2600	2500	2400	2900
35,0	1700	1800	2000	2100	2500	2400	2200	2700
36,0	1600	1700	1900	2000	2300	2200	2100	2600
37,0	1500			1900	2200	2100		2400
38,0	1400			1800	2100	2000		2300
39,0	1300			1700	2000	1900		2200
40,0	1300			1600	1900	1800		2100

4.4.4 - Identificação das Bobinas

A identificação de uma bobina é efectuada através das marcações existentes na face exterior da cada aba, designadamente:

— matrícula;

— Logótipo da empresa;

— sentido de rolamento da bobina no pavimento.

4.4.5 - Transporte e Manutenção

Durante o transporte, as bobinas cheias devem ser colocadas na vertical, assentes nas duas faces e nunca deitadas.

Na chegada aos estaleiros, deverá ser efectuado um exame a cada bobina, particularmente, o estado das abas ou aduelas de protecção e o aspecto dos capacetes nas extremidades dos cabos.

O descarregamento poderá efectuar-se com a ajuda de uma rampa própria, tendo em conta a travagem da bobina ou, de preferência, com a ajuda de um braço mecânico e por intermédio de uma barra colocada no orifício central da bobina. A linga deverá possuir um comprimento suficiente, para evitar um esforço perigoso sobre as abas. É estritamente desaconselhável colocar directamente a linga à volta da bobina, sobre a camada exterior do cabo, devido ao risco de deterioração que este corre. Nunca devemos deixar cair as bobinas ao chão.

O rebolar das bobinas é limitado a curtas distâncias e o sentido de rotação não deverá provocar o desenrolar das espiras de cabo. Em caso de armazenagem, as bobina deverão repousar em terreno plano, estável e convenientemente calçadas. Se um comprimento de cabo for retirado, a extremidade do cabo que fica na bobina é imediatamente tapada com uma carapuça estanque.

Características Técnicas dos Condutores de Energia e Cabos Eléctricos

Capítulo V

Cabos nus para Transporte de Energia Eléctrica

Capítulo V.I

5.1- Cabos nus para Transporte de Energia Eléctrica

5.1.1 - Introdução

A Solidal e Quintas Condutores fabricam actualmente condutores nus de cobre e alumínio associado ou não a outros metais tais como liga de alumínio, aço galvanizado e aço coberto a alumínio do tipo ACS (aluminium clad steel), cuja aplicação está hoje generalizada, e quase em exclusivo, nas linhas aéreas de transporte de energia.

Da nossa gama de fabrico salientam-se as seguintes construções:

- Condutores de cobre
- Condutores de alumínio AAC (all aluminium conductors) – designados por AL1
- Condutores de liga de alumínio AAAC (all aluminium alloy conductors) - designados por AL2, AL3, AL4 e AL5.
- Condutores de alumínio com alma de aço ACSR (aluminium conductors steel reinforced) – designados por AL1/ST1A, AL1/ST2B, AL1/ST3D, AL1/ST4A e AL1/ST5E
- Condutores de liga de alumínio com alma de aço AACSR (aluminium alloy conductors steel reinforced) – designados por AL2/ST1A, AL3/ST1A, AL4/ST1A, AL5/ST1A.
- Condutores de alumínio com alma de liga ACAR (aluminium conductors alloy reinforced) designados por AL1/AL2, AL1/AL3, AL1/AL4 e AL1/AL5

A preferência do alumínio, ou suas ligas, em detrimento do cobre, deve-se às vantagens que o primeiro oferece, quer do ponto de vista técnico quer económico, quando utilizado nos condutores das linhas aéreas nuas.

Salientamos as seguintes considerações:

— Relação condutividade eléctrica / peso: da análise do quadro abaixo podemos concluir que, para um condutor de alumínio apresentar uma resistência eléctrica (ou condutividade) idêntica a outro de cobre, a razão entre as suas secções será igual a 1,6 e como consequência dos seus pesos específicos o condutor de alumínio terá 48% do peso do condutor de cobre;

— Relação resistência mecânica / peso: o quadro 67 contém os valores da tensão limite de ruptura para os condutores de alumínio trefilado duro e cobre trefilado duro. Como a secção do condutor de alumínio tem um valor 1,6 vezes superior à do condutor de cobre, com igual resistência eléctrica, obtemos uma tensão limite de ruptura idêntica para ambos os condutores nesta situação. Desde que seja necessária uma resistência à ruptura elevada são incluídos fios de aço na composição do cabo, proporcionando-lhe assim uma relação resistência mecânica / peso com valores superiores. Este facto conduz a uma instalação mais económica, dado que são reduzidos o número de apoios e de materiais acessórios necessários à montagem, além de permitir menores flechas para os condutores.

— Economia: o baixo preço associado à sua estabilidade no tempo fazem com que o alumínio seja o metal eleito por excelência para a aplicação nas linhas aéreas.

Quadro 67 - Características físicas, eléctricas e mecânicas

Características	Unidades	Cobre	Alumínio	Liga	ACS	Aço
Massa específica	Kg/dm3	8,89	2,703	2,703	6,59	7,78
Coeficiente dilatação linear	$°C^{-1}$	$17,0x10^{-6}$	$23,0x10^{-6}$	$23,0x10^{-6}$	$13,0x10^{-6}$	$11,5x10^{-6}$
Modulo de elasticidade	Kg/mm^2	12700	7000	7000	16200	20700
Resistividade a 20°C	$\Omega.mm^2/m$	0,017774	0,028264	0,0305 a 0,0325	0.0848	0,1916
Condutividade a 20°C (%)	I.A.C.S.	97,0	61,0	52,5	20,3	9,0
Coef. Temp. a 20°C	$°C^{-1}$	0,00381	0,00403	0,00360	0,00360	-
Calor específico a 20°C	Kcal/Kg°C	0,092	0,215	0,215	0,136	0,110

5.1.2 - Protecção dos condutores contra a corrosão

Quando sujeitos a ambientes desfavoráveis e quando solicitado, os condutores poderão ser protegidos contra a corrosão através da aplicação de uma massa neutra protectora.

A aplicação da massa protectora pode ser efectuada através de quatro casos distintos, de acordo com o indicado no quadro 68.

No quadro 68 são descritos os quatro casos.

Quadro 68 - Aplicação de Massa Protectora nos cabos

Caso 1

O núcleo de aço é totalmente preenchido com massa neutra do tipo solicitado pelo cliente, de acordo com a figura 1 (apenas se destina a cabos do tipo ACSR e AACSR).

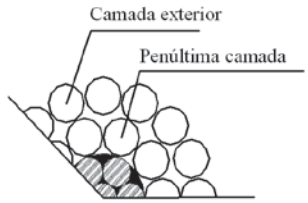


Fig. 1

Caso 2

O condutor será preenchido na suas camadas excepto na última, com massa neutro do tipo solicitado pelo cliente, de acordo com a figura 2.

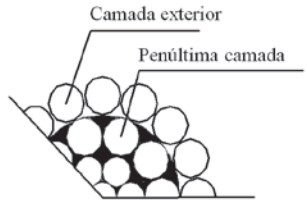


Fig. 2

Caso 3

O condutor será totalmente preenchido em todas as suas camadas, com massa neutra do tipo solicitado pelo cliente, de acordo com a figura 3.

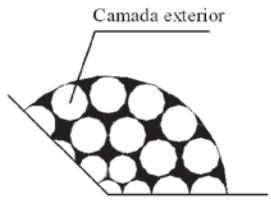


Fig. 3

Caso 4

O condutor será preenchido em todas as suas camadas, excluindo a parte exterior da última, com massa neutra do tipo solicitado pelo cliente, de acordo com a figura 4.

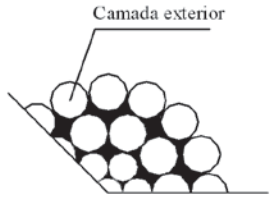


Fig. 4

Cálculo da quantidade de Massa Protectora

Assumindo que a massa protectora preenche na totalidade os espaços entre os fios do condutor, o volume de massa para cada caso atrás referido é dado pelas seguintes equações:

Caso 1: $V_g = 0{,}25\ \pi\ (D_s^2 - n_s d_s^2)$

Caso 2: $V_g = 0{,}25\ \pi\ (D_0 - 2d_a^2) - (n_a - n_0)\ d_a^2 - n_s\ d_s^2\ )$

Caso 3: $V_g = 0{,}25\ \pi\ (D_0^2 - n_a d_a^2 - n_s\ d_s^2\ )$

Caso 4: $V_g = 0{,}125\ n_0\ (D_0 - d_a\ )^2 \sin\ (360/n_0) - 0{,}125\ \pi\ (2n_a - n_0 - 2) d_a^2 - 0{,}25\ \pi\ n_s d_s^2$

Sendo:

V_g o volume de massa no condutor, por unidade de comprimento.

D_o o diâmetro externo do condutor.

D_s o diâmetro do núcleo de aço.

d_a o diâmetro dos fios de alumínio da última camada.

d_s o diâmetro dos fios de aço.

n_a o número de fios de alumínio no condutor.

n_0 o número de fios da última camada do condutor.

n_s o número de fios de aço no condutor.

Dado que existe uma relação geométrica entre os parâmetros destas equações, é possível expressar a quantidade total de massa protectora num condutor através da relação seguinte:

$$M_g = k d_a^2$$

Sendo:

M_g a quantidade de massa protectora (kg/km).

K o factor que depende do tipo de condutor, da densidade da massa protectora e do preenchimento (relação de volume teórico).

Quadro 69 - Coeficientes k para quantidade de massa protectora nos cabos

Composição		K_1	K_2	K_3	K_4
Alumínio	Aço	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
7	-	-	-	1,09	0,17
19	-	-	1,09	3,28	1,79
37	-	-	3,28	6,56	4,52
61	-	-	6,56	10,93	8,35
91	-	-	10,93	16,40	13,27
127	-	-	16,40	22,96	19,28
6	1	-	-	1,09	0,17
8	1	-	-	1,46	0,34
18	1	-	1,09	3,28	1,79
9	3	0,90	-	2,88	1,46
6	7	0,12	-	1,21	0,29
10	7	0,66	-	2,48	1,18
12	7	1,09	-	3,28	1,79
14	7	1,63	-	4,18	2,51
18	7	0,12	1,21	3,40	1,91
22	7	0,34	1,80	4,35	2,67
24	7	0,49	2,13	4,86	3,10
26	7	0,66	2,48	5,40	3,54
28	7	0,86	2,87	5,97	4,02
30	7	1,09	3,28	6,56	4,52
32	7	1,35	3,72	7,18	5,08
36	7	1,94	4,68	8,50	6,19
42	7	0,34	4,35	7,99	5,77
45	7	0,49	4,86	8,69	6,37
48	7	0,66	5,40	9,41	7,01
54	7	1,09	6,56	10,93	8,35
72	7	0,49	8,69	13,61	10,75
84	7	1,09	10,93	16,40	13,27
14	19	1,76	-	4,31	2,64
15	19	2,10	-	4,83	3,07
16	19	2,46	-	5,38	3,52
18	19	3,28	–	6,56	4,52
30	19	1,18	3,37	6,65	4,61
32	19	1,46	3,83	7,29	5,16
36	19	2,10	4,83	8,66	6,35
42	19	3,28	6,56	10,93	8,35
54	19	1,18	6,65	11,02	8,44

Nota: os valores de k indicados na tabela para os 4 casos de aplicação de massa protectora baseiam-se numa densidade de 0,87 g/cm^3 e um factor de preenchimento de 0,8.

5.1.3 - Cabos de Alumínio do tipo AAC

Aplicações:

Os cabos de alumínio são normalmente usados em linhas aéreas.

Normas de referência:

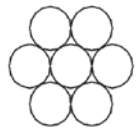
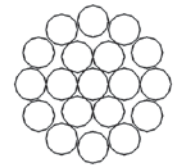
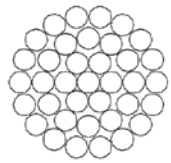
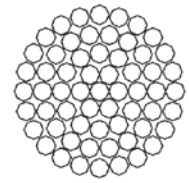
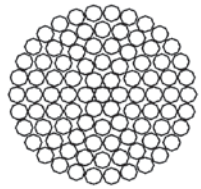
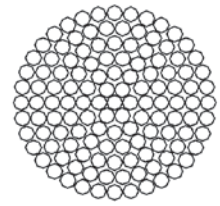
EN 50889

EN 50182

Construção:

Os cabos de alumínio são condutores cableados concêntricos, compostos de uma ou mais camadas de fios de alumínio do tipo AL1.

Quadro 70 - Composições dos condutores de alumínio

Composição	Secção Transversal do Cabo	Composição	Secção Transversal do Cabo
7 fios 1+6		19 fios 1+6+12	
37 fios 1+6+12+18		61 fios 1+6+12+18+24	
91 fios 1+6+12+18+24+30		127 fios 1+6+12+18+24+30+36	

Quadro 71 - Características Técnicas dos Cabos de Alumínio usados em Inglaterra - AL1

Designação		Area (mm2)	Nº de fios	Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω /km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal (1)	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) (2)			
Nova	Antiga		Al	fios	Cond.				N/mm^2	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
23-AL1	MIDGE	23,3	7	2,06	6,18	63,8	4,20	1,2249	60.000	23,0E-6	**135**			4,6	0,7
27-AL1	GNAT	26,9	7	2,21	6,63	73,4	4,83	1,0643	60.000	23,0E-6	**150**			5,3	0,8
37-AL1	MOSQUITO	36,9	7	2,59	7,77	100,8	6,27	0,7749	60.000	23,0E-6	**185**			7,3	1,1
43-AL1	LADYBIRD	42,8	7	2,79	8,37	117,0	7,28	0,6678	60.000	23,0E-6	**205**			8,5	1,3
53-AL1	ANT	52,8	7	3,10	9,30	144,4	8,72	0,5409	60.000	23,0E-6	**230**			10,5	1,6
64-AL1	FLY	63,6	7	3,40	10,2	173,7	10,49	0,4497	60.000	23,0E-6	**260**			12,6	2,0
74-AL1	BLUEBOTTLE	73,6	7	3,66	11,0	201,3	11,78	0,3880	60.000	23,0E-6	**290**			14,6	2,3
79-AL1	EARWIG	78,6	7	3,78	11,3	214,7	12,57	0,3638	60.000	23,0E-6	**300**			15,6	2,4
84-AL1	GRASSHOPPER	84,1	7	3,91	11,7	229,7	13,45	0,3400	60.000	23,0E-6	**315**			16,7	2,6
96-AL1	CLEGG	95,6	7	4,17	12,5	261,3	15,30	0,2989	60.000	23,0E-6	**340**			19,0	3,0
106-AL1	WASP	106,0	7	4,39	13,2	289,6	16,95	0,2697	60.000	23,0E-6	**365**			21,0	3,3
106-AL1	BEETLE	106,4	19	2,67	13,4	292,4	18,08	0,2701	57.000	23,0E-6	**365**		7,8	23,4	12,8
132-AL1	BEE	132,0	7	4,90	14,7	360,8	21,12	0,2165	60.000	23,0E-6	**420**			26,2	4,1
158-AL1	HORNET	157,6	19	3,25	16,3	433,2	26,01	0,1823	57.000	23,0E-6	**470**		11,5	34,6	18,9
186-AL1	CATERPILLAR	185,9	19	3,53	17,7	511,1	29,75	0,1546	57.000	23,0E-6	**525**		13,6	40,9	22,3
213-AL1	CHAFER	213,2	19	3,78	18,9	586,0	34,12	0,1348	57.000	23,0E-6	**575**		15,6	46,9	25,6
238-AL1	SPIDER	237,6	19	3,99	20,0	652,9	38,01	0,1210	57.000	23,0E-6	**615**		17,4	52,2	28,5
266-AL1	COCKROACH	265,7	19	4,22	21,1	730,4	42,52	0,1081	57.000	23,0E-6	**660**		19,4	58,4	31,9
323-AL1	BUTTERFLY	322,7	19	4,65	23,3	886,8	51,63	0,0891	57.000	23,0E-6	**750**		23,6	70,9	38,7
373-AL1	MOTH	373,1	19	5,00	25,0	1025,3	59,69	0,0770	57.000	23,0E-6	**825**		27,3	82,0	44,8
372-AL1	DRONE	372,4	37	3,58	25,1	1027,1	59,59	0,0774	57.000	23,0E-6	**820**		42,0	84,1	57,9
415-AL1	CENTIPEDE	415,2	37	3,78	26,5	1145,1	66,43	0,0695	57.000	23,0E-6	**880**		46,9	93,7	64,6
486-AL1	MAYBUG	486,1	37	4,09	28,6	1340,6	77,78	0,0593	57.000	23,0E-6	**975**		54,9	109,7	75,6
530-AL1	SCORPION	529,8	37	4,27	29,9	1461,2	84,77	0,0544	57.000	23,0E-6	**1035**		59,8	119,6	82,4
628-AL1	CICADA	628,3	37	4,65	32,6	1732,9	100,54	0,0459	57.000	23,0E-6	**1155**		70,9	141,8	97,7

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

Quadro 72 - Características Técnicas dos Cabos de Alumínio usados em Espanha - AL1

Designação		Area (mm2)	Nº de fios	Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal (1)	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) (2)			
Nova	Antiga			fios	Cond.				N/mm²	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
28-AL1	L 28	27,8	7	2,25	6,75	76,1	5,01	1,0268	60.000	23,0E-6	**155**			5,5	0,9
43-AL1	L 40	43,1	7	2,80	8,40	117,8	7,33	0,6630	60.000	23,0E-6	**205**			8,5	1,3
55-AL1	L 56	54,6	7	3,15	9,45	149,1	9,00	0,5239	60.000	23,0E-6	**235**			10,8	1,7
76-AL1	L 80	75,5	19	2,25	11,25	207,6	13,60	0,3804	57.000	23,0E-6	**295**		5,5	16,6	9,1
117-AL1	L 110	117,0	19	2,80	14,00	321,5	19,89	0,2456	57.000	23,0E-6	**390**		8,5	25,7	14,0
148-AL1	L 145	148,1	19	3,15	15,8	407,0	24,43	0,1941	57.000	23,0E-6	**450**		10,8	32,5	17,8
188-AL1	L 180	188,1	19	3,55	17,8	516,9	30,09	0,1528	57.000	23,0E-6	**530**		13,7	41,3	22,6
279-AL1	L 280	279,3	37	3,10	21,7	770,2	46,08	0,1033	57.000	23,0E-6	**680**		31,5	63,0	43,4
381-AL1	L 400	381,0	61	2,82	25,4	1054,1	64,77	0,0759	55.000	23,0E-6	**835**		52,2	86,9	66,4
454-AL1	L 450	454,5	61	3,08	27,7	1257,5	74,99	0,0637	55.000	23,0E-6	**935**		62,2	103,7	79,2
547-AL1	L 550	547,3	61	3,38	30,4	1514,4	90,31	0,0529	55.000	23,0E-6	**1055**		74,9	124,9	95,4
638-AL1	L 630	638,3	61	3,65	32,9	1766,0	102,12	0,0453	55.000	23,0E-6	**1165**		87,4	145,6	111,2

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

Quadro 73 - Características Técnicas dos Cabos de Alumínio usados em Alemanha - AL1

Designação		Area (mm2)	Nº de fios	Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal [1]	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga			fios	Cond.				N/mm^2	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
16-AL1	16	15,9	7	1,70	5,10	43,4	3,02	1,7986	60.000	23,0E-6	**105**			3,2	0,5
24-AL1	25	24,2	7	2,10	6,30	66,3	4,36	1,1787	60.000	23,0E-6	**140**			4,8	0,7
34-AL1	35	34,4	7	2,50	7,50	93,9	6,01	0,8317	60.000	23,0E-6	**175**			6,8	1,1
49-AL1	50	49,5	7	3,00	9,00	135,2	8,41	0,5776	60.000	23,0E-6	**225**			9,8	1,5
48-AL1	50	48,3	19	1,80	9,00	132,9	8,94	0,5944	57.000	23,0E-6	**220**		3,5	10,6	5,8
66-AL1	70	65,8	19	2,10	10,5	180,9	11,85	0,4367	57.000	23,0E-6	**270**		4,8	14,5	7,9
93-AL1	95	93,3	19	2,50	12,5	256,3	16,32	0,3081	57.000	23,0E-6	**335**		6,8	20,5	11,2
117-AL1	120	117,0	19	2,80	14,0	321,5	19,89	0,2456	57.000	23,0E-6	**390**		8,5	25,7	14,0
147-AL1	150	147,1	37	2,25	15,8	405,7	26,48	0,1960	57.000	23,0E-6	**450**		16,6	33,2	22,9
182-AL1	185	181,6	37	2,50	17,5	500,9	31,78	0,1588	57.000	23,0E-6	**515**		20,5	41,0	28,3
243-AL1	240	242,5	61	2,25	20,3	671,1	43,66	0,1193	55.000	23,0E-6	**620**		33,2	55,3	42,3
299-AL1	300	299,4	61	2,50	22,5	828,5	52,40	0,0966	55.000	23,0E-6	**710**		41,0	68,3	52,2
400-AL1	400	400,1	61	2,89	26,0	1107,1	68,02	0,0723	55.000	23,0E-6	**860**		54,8	91,3	69,7
500-AL1	500	499,8	61	3,23	29,1	1382,9	82,47	0,0579	55.000	23,0E-6	**995**		68,4	114,0	87,1
626-AL1	625	626,2	91	2,96	32,6	1739,7	106,45	0,0464	55.000	23,0E-6	**1150**		95,8	143,7	116,3
802-AL1	800	802,1	91	3,35	36,9	2228,3	132,34	0,0362	55.000	23,0E-6	**1350**		122,7	184,0	148,9
1000-AL1	1000	999,7	91	3,74	41,1	2777,3	159,95	0,0291	55.000	23,0E-6	**1560**		152,9	229,4	185,6

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

5.1.4 - Cabos de Liga de Alumínio do tipo AAAC

Aplicações:

Os cabos de liga de alumínio são normalmente usados em linhas aéreas.

São usados normalmente em substituição dos cabos AAC quando se pretende uma maior resistência mecânica, e dos cabos ACSR quando se pretende igualmente uma maior resistência à corrosão.

Normas de referência:

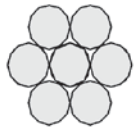
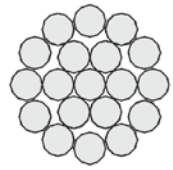
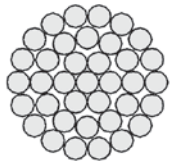
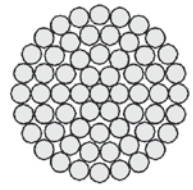
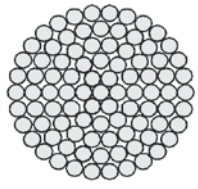
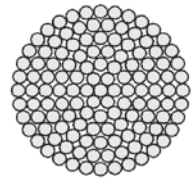
EN 50183

EN 50182

Construção:

Os cabos de liga de alumínio são condutores cableados concêntricos, compostos de uma ou mais camadas de fios de liga de alumínio do tipo AL2, AL3, AL4 ou AL5.

Quadro 74 - Composições dos cabos de liga de alumínio

Composição	Secção Transversal do Cabo	Composição	Secção Transversal do Cabo
7 fios 1+6		19 fios 1+6+12	
37 fios 1+6+12+18		61 fios 1+6+12+18+24	
91 fios 1+6+12+18+24+30		127 fios 1+6+12+18+24+30+36	

Quadro 75 - Características Técnicas dos Cabos de Liga de Alumínio usados em Inglaterra - AL3

Designação		Area (mm2)	Nº de fios	Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal [1]	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga			fios	Cond.				N/mm^2	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
19-AL3	BOX	18,8	7	1,85	5,55	51,4	5,55	1,7480	60.000	23,0E-6	**110**			3,7	0,6
24-AL3	ACACIA	23,8	7	2,08	6,24	64,9	7,02	1,3828	60.000	23,0E-6	**130**			4,7	0,7
30-AL3	ALMOND	30,1	7	2,34	7,02	82,2	8,88	1,0926	60.000	23,0E-6	**150**			6,0	0,9
35-AL3	CEDAR	35,5	7	2,54	7,62	96,8	10,46	0,9273	60.000	23,0E-6	**170**			7,0	1,1
42-AL3	DEODAR	42,2	7	2,77	8,31	115,2	12,44	0,7797	60.000	23,0E-6	**190**			8,4	1,3
48-AL3	FIR	47,8	7	2,95	8,9	130,6	14,11	0,6875	60.000	23,0E-6	**205**			9,5	1,5
60-AL3	HAZEL	59,9	7	3,30	9,9	163,4	17,66	0,5494	60.000	23,0E-6	**235**			11,9	1,9
72-AL3	PINE	71,6	7	3,61	10,8	195,6	21,14	0,4591	60.000	23,0E-6	**265**			14,2	2,2
84-AL3	HOLLY	84,1	7	3,91	11,7	229,5	24,79	0,3913	60.000	23,0E-6	**295**			16,7	2,6
90-AL3	WILLOW	89,7	7	4,04	12,1	245,0	26,47	0,3665	60.000	23,0E-6	**310**			17,8	2,8
119-AL3	OAK	118,9	7	4,65	14,0	324,5	35,07	0,2767	60.000	23,0E-6	**370**			23,6	3,7
151-AL3	MULBERRY	150,9	19	3,18	15,9	414,3	44,52	0,2192	57.000	23,0E-6	**430**		11,0	33,2	18,1
181-AL3	ASH	180,7	19	3,48	17,4	496,1	53,31	0,1830	57.000	23,0E-6	**485**		13,2	39,7	21,7
211-AL3	ELM	211,0	19	3,76	18,8	579,2	62,24	0,1568	57.000	23,0E-6	**535**		15,4	46,4	25,3
239-AL3	POPLAR	239,4	37	2,87	20,1	659,4	70,61	0,1387	57.000	23,0E-6	**580**		27,0	54,0	37,2
303-AL3	SYCAMORE	303,2	37	3,23	22,6	835,2	89,44	0,1095	57.000	23,0E-6	**675**		34,2	68,4	47,2
362-AL3	UPAS	362,1	37	3,53	24,7	997,5	106,82	0,0917	57.000	23,0E-6	**760**		40,9	81,7	56,3
479-AL3	YEW	479,0	37	4,06	28,4	1319,6	141,31	0,0693	57.000	23,0E-6	**910**		54,1	108,1	74,5
498-AL3	TOTARA	498,1	37	4,14	29,0	1372,1	146,93	0,0666	57.000	23,0E-6	**935**		56,2	112,4	77,5
587-AL3	RUBUS	586,9	61	3,50	31,5	1622,0	173,13	0,0567	55.000	23,0E-6	**1040**		80,4	133,9	102,3
659-AL3	SORBUS	659,4	61	3,71	33,4	1822,5	194,53	0,0505	55.000	23,0E-6	**1120**		90,3	150,4	114,9
821-AL3	ARAUCARIA	821,1	61	4,14	37,3	2269,4	242,24	0,0406	55.000	23,0E-6	**1295**		112,4	187,3	143,1
996-AL3	REDWOOD	996,2	61	4,56	41,0	2753,2	293,88	0,0334	55.000	23,0E-6	**1465**		136,4	227,3	173,6

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

Quadro 76 - Características Técnicas dos Cabos de Liga de Alumínio usados em Inglaterra - AL5

Designação		Area (mm2)	Nº de fios	Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal [1]	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga			fios	Cond.				N/mm^2	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
239-AL5	POPLAR	239,4	37	2,87	20,09	659,4	70,61	0,1330	57.000	23,0E-6	**595**		27,0	54,0	37,2
303-AL5	SYCAMORE	303,2	37	3,23	22,61	835,2	89,44	0,1050	57.000	23,0E-6	**690**		34,2	68,4	47,2
362-AL5	UPAS	362,1	37	3,53	24,71	997,5	106,82	0,0879	57.000	23,0E-6	**775**		40,9	81,7	56,3
479-AL5	YEW	479,0	37	4,06	28,42	1319,6	141,31	0,0665	57.000	23,0E-6	**930**		54,1	108,1	74,5
498-AL5	TOTARA	498,1	37	4,14	28,98	1372,1	146,93	0,0639	57.000	23,0E-6	**955**		56,2	112,4	77,5
587-AL5	RUBUS	586,9	61	3,50	31,5	1622,0	173,13	0,0544	55.000	23,0E-6	**1060**		80,4	133,9	102,3
659-AL5	SORBUS	659,4	61	3,71	33,4	1822,5	194,53	0,0484	55.000	23,0E-6	**1145**		90,3	150,4	114,9
821-AL5	ARAUCARIA	821,1	61	4,14	37,3	2269,4	242,24	0,0389	55.000	23,0E-6	**1320**		112,4	187,3	143,1
996-AL5	REDWOOD	996,2	61	4,56	41,0	2753,2	293,88	0,0321	55.000	23,0E-6	**1500**		136,4	227,3	173,6

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

Quadro 77 - Características Técnicas dos Cabos de Liga de Alumínio usados em Espanha - AL2

Designação		Area (mm2)	Nº de fios	Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal (1)	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) (2)			
Nova	Antiga			fios	Cond.				N/mm²	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
28-AL2	D 28	27,8	7	2,25	6,75	76,0	9,05	1,1930	60.000	23,0E-6	**145**			5,5	0,9
43-AL2	D 40	43,1	7	2,80	8,40	117,7	14,01	0,7704	60.000	23,0E-6	**190**			8,5	1,3
55-AL2	D 56	54,6	7	3,15	9,45	148,9	17,73	0,6087	60.000	23,0E-6	**220**			10,8	1,7
76-AL2	D 80	75,5	19	2,25	11,25	207,4	24,55	0,4420	57.000	23,0E-6	**275**		5,5	16,6	9,1
117-AL2	D 110	117,0	19	2,80	14,00	321,2	38,02	0,2854	57.000	23,0E-6	**365**		8,5	25,7	14,0
148-AL2	D 145	148,1	19	3,15	15,8	406,5	48,12	0,2255	57.000	23,0E-6	**425**		10,8	32,5	17,8
188-AL2	D 180	188,1	19	3,55	17,8	516,3	59,24	0,1776	57.000	23,0E-6	**495**		13,7	41,3	22,6
279-AL2	D 280	279,3	37	3,10	21,7	769,3	90,76	0,1200	57.000	23,0E-6	**640**		31,5	63,0	43,4
381-AL2	D 400	381,0	61	2,82	25,4	1053,0	123,82	0,0882	55.000	23,0E-6	**780**		52,2	86,9	66,4
454-AL2	D 450	454,5	61	3,08	27,7	1256,1	147,71	0,0740	55.000	23,0E-6	**875**		62,2	103,7	79,2
547-AL2	D 550	547,3	61	3,38	30,4	1512,7	177,88	0,0614	55.000	23,0E-6	**990**		74,9	124,9	95,4
638-AL2	D 630	638,3	61	3,65	32,9	1764,0	201,06	0,0527	55.000	23,0E-6	**1090**		87,4	145,6	111,2

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

Quadro 78 - Características Técnicas dos Cabos de Liga de Alumínio usados na Alemanha - AL3

Designação		Area (mm2)	Nº de fios	Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal [1]	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga			fios	Cond.				N/mm^2	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
16-AL3	16	15,9	7	1,70	5,10	43,4	4,69	2,0701	60.000	23,0E-6	**100**			3,2	0,5
24-AL3	25	24,2	7	2,10	6,30	66,2	7,15	1,3566	60.000	23,0E-6	**130**			4,8	0,7
34-AL3	35	34,4	7	2,50	7,50	93,8	10,14	0,9572	60.000	23,0E-6	**165**			6,8	1,1
49-AL3	50	49,5	7	3,00	9,00	135,1	14,60	0,6647	60.000	23,0E-6	**210**			9,8	1,5
48-AL3	50	48,3	19	1,80	9,00	132,7	14,26	0,6841	57.000	23,0E-6	**205**		3,5	10,6	5,8
66-AL3	70	65,8	19	2,10	10,5	180,7	19,41	0,5026	57.000	23,0E-6	**250**		4,8	14,5	7,9
93-AL3	95	93,3	19	2,50	12,5	256,0	27,51	0,3546	57.000	23,0E-6	**315**		6,8	20,5	11,2
117-AL3	120	117,0	19	2,80	14,0	321,2	34,51	0,2827	57.000	23,0E-6	**365**		8,5	25,7	14,0
147-AL3	150	147,1	37	2,25	15,8	405,3	43,40	0,2256	57.000	23,0E-6	**425**		16,6	33,2	22,9
182-AL3	185	181,6	37	2,50	17,5	500,3	53,58	0,1827	57.000	23,0E-6	**485**		20,5	41,0	28,3
243-AL3	240	242,5	61	2,25	20,3	670,3	71,55	0,1373	55.000	23,0E-6	**585**		33,2	55,3	42,3
299-AL3	300	299,4	61	2,50	22,5	827,5	88,33	0,1112	55.000	23,0E-6	**670**		41,0	68,3	52,2
400-AL3	400	400,1	61	2,89	26,0	1105,9	118,04	0,0832	55.000	23,0E-6	**810**		54,8	91,3	69,7
500-AL3	500	499,8	61	3,23	29,1	1381,4	147,45	0,0666	55.000	23,0E-6	**935**		68,4	114,0	87,1
626-AL3	625	626,2	91	2,96	32,6	1737,7	184,73	0,0534	55.000	23,0E-6	**1080**		95,8	143,7	116,3
802-AL3	800	802,1	91	3,35	36,9	2225,8	236,62	0,0417	55.000	23,0E-6	**1270**		122,7	184,0	148,9
1000-AL3	1000	999,7	91	3,74	41,1	2774,3	294,91	0,0334	55.000	23,0E-6	**1465**		152,9	229,4	185,6

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

Quadro 79 - Características Técnicas dos Cabos de Liga de Alumínio usados em Portugal - AL4

Designação		Area (mm2)	Nº de fios	Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal [1]	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga			fios	Cond.				N/mm²	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
34-AL4	ASTER 34,4	34,4	7	2,50	7,50	93,8	11,17	0,9593	62.000	23,0E-6	**165**			6,8	1,1
55-AL4	ASTER 54,6	54,6	7	3,15	9,45	148,9	17,73	0,6042	62.000	23,0E-6	**225**			10,8	1,7
76-AL4	ASTER 75,5	75,5	19	2,25	11,25	207,4	24,55	0,4388	60.000	23,0E-6	**275**		5,5	16,6	9,1
117-AL4	ASTER 117	117,0	19	2,80	14,00	321,2	38,02	0,2833	60.000	23,0E-6	**365**		8,5	25,7	14,0
148-AL4	ASTER 148	148,1	19	3,15	15,8	406,5	48,12	0,2239	60.000	23,0E-6	**425**		10,8	32,5	17,8
570-AL4	ASTER 570	570,2	61	3,45	31,1	1576,0	185,33	0,0585	54.000	23,0E-6	**1020**		78,1	130,1	99,4
851-AL4	ASTER 851	850,7	91	3,45	38,0	2360,7	276,47	0,0394	52.500	23,0E-6	**1320**		130,1	195,2	157,9
1144-AL4	ASTER 1144	1143,5	91	4,00	44,0	3173,4	360,22	0,0293	52.500	23,0E-6	**1600**		174,9	262,4	212,3

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

Quadro 80 - Características Técnicas dos Cabos de Liga de Alumínio usados em França - AL4

Designação		Area (mm2)	Nº de fios	Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal [1]	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga			fios	Cond.				N/mm²	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
22-AL4	ASTER 22	22,0	7	2,00	6,00	60,0	7,15	1,4989	62.000	23,0E-6	**125**			4,4	0,7
34-AL4	ASTER 34,4	34,4	7	2,50	7,50	93,8	11,17	0,9593	62.000	23,0E-6	**165**			6,8	1,1
55-AL4	ASTER 54,6	54,6	7	3,15	9,45	148,9	17,73	0,6042	62.000	23,0E-6	**225**			10,8	1,7
76-AL4	ASTER 75,5	75,5	19	2,25	11,25	207,4	24,55	0,4388	60.000	23,0E-6	**275**		5,5	16,6	9,1
117-AL4	ASTER 117	117,0	19	2,80	14,00	321,2	38,02	0,2833	60.000	23,0E-6	**365**		8,5	25,7	14,0
148-AL4	ASTER 148	148,1	19	3,15	15,8	406,5	48,12	0,2239	60.000	23,0E-6	**425**		10,8	32,5	17,8
182-AL4	ASTER 181,6	181,6	37	2,50	17,5	500,3	59,03	0,1831	57.000	23,0E-6	**485**		20,5	41,0	28,3
228-AL4	ASTER 228	227,8	37	2,80	19,6	627,6	74,04	0,1460	57.000	23,0E-6	**560**		25,7	51,4	35,4
288-AL4	ASTER 288	288,3	37	3,15	22,1	794,3	93,71	0,1154	57.000	23,0E-6	**655**		32,5	65,1	44,8
366-AL4	ASTER 366	366,2	37	3,55	24,9	1008,9	115,36	0,0908	57.000	23,0E-6	**765**		41,3	82,7	57,0
570-AL4	ASTER 570	570,2	61	3,45	31,1	1576,0	185,33	0,0585	54.000	23,0E-6	**1020**		78,1	130,1	99,4
851-AL4	ASTER 851	850,7	91	3,45	38,0	2360,7	276,47	0,0394	52.500	23,0E-6	**1320**		130,1	195,2	157,9
1144-AL4	ASTER 1144	1143,5	91	4,00	44,0	3173,4	360,22	0,0293	52.500	23,0E-6	**1600**		174,9	262,4	212,3
1596-AL4	ASTER 1600	1595,9	127	4,00	52,0	4427,5	502,72	0,0210	50.500	23,0E-6	**1990**		262,4	367,4	308,5

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à esquerda (S).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

5.1.5 - Cabos de Alumínio com Alma de Aço do tipo ACSR
Cabos de Alumínio com Alma de ACS do tipo ACSR/AW

Aplicações:

Os cabos de alumínio com alma de aço são normalmente usados em linhas aéreas.

Normas de referência:

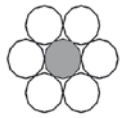
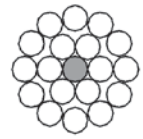
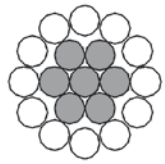
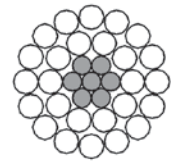
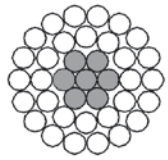
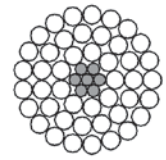
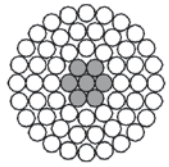
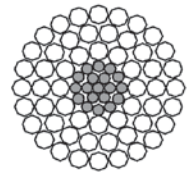
EN 50189; EN 50889; EN 61232; EN 50182

Construção:

Os cabos de alumínio com alma de aço ou ACS são condutores cableados concêntricos, compostos de uma ou mais camadas de fios de alumínio do tipo AL1, e um núcleo (alma) de aço galvanizado de alta resistência do tipo ST1A, ST2B, ST3D, ST4A, ST5E ou de ACS (aço coberto a alumínio) do tipo 20 SA.

Devido às numerosas combinações possíveis de fios de alumínio e aço, pode-se variar a proporção dos mesmos, a fim de se obter a melhor relação entre capacidade de transporte de corrente e resistência mecânica para cada aplicação.

Quadro 81 - Composições dos cabos de alumínio com alma de aço ou ACS

Composição	Secção Transversal do Cabo	Composição	Secção Transversal do Cabo
6/1 fios (1)+6		18/1 fios (1)+6+12	
12/7 fios (1+6)+12		26/7 fios (1+6)+10+16	
30/7 fios (1+6)+12+18		45/7 fios (1+6)+9+15+21	
54/7 fios (1+6)+12+18+24		54/19 fios (1+6+12)+12+18+24	

Quadro 82 - Características Técnicas dos Cabos de Alumínio com Alma de Aço usados em Portugal - AL1/ST1A

Designação		Area (mm2)			Nº de fios		Diametro fios (mm)		Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal [1]	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga	Alumínio	Aço	Total	Al	Aço	alumínio	Aço	alma	cabo				N/mm^2	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
26-AL1/4-ST1A	30	26,2	4,4	30,6	6	1	2,36	2,36	7,08	7,08	106,7	9,34	1,0932	76000	18,6E-6	**150**			6,1	0,9
42-AL1/7-ST1A	50	42,4	7,1	49,5	6	1	3,00	3,00	9,00	9,00	172,4	14,93	0,6765	76000	18,6E-6	**205**			9,8	1,5
80-AL1/13-ST1A	90	75,4	12,6	88,0	6	1	4,00	4,00	12,00	12,00	306,4	25,28	0,3806	76000	18,6E-6	**300**			17,4	2,7
80-AL1/47-ST1A	Guinea 130	80,4	46,9	127,2	12	7	2,92	2,92	8,76	14,60	588,4	66,46	0,3598	104000	15,3E-6	**325**	9,3		28,0	15,3
96-AL1/56-ST1A	Dorking 153	96,5	56,3	152,8	12	7	3,20	3,20	9,60	16,00	706,7	77,08	0,2992	104000	15,3E-6	**365**	11,2		33,6	18,3
94-AL1/22-ST1A	Canna 116	94,2	22,0	116,2	30	7	2,00	2,00	6,00	14,00	432,2	42,41	0,3065	80000	17,9E-6	**345**	4,4	13,1	26,2	18,1
203-AL1/33-ST1A	235	202,6	32,5	235,1	26	7	3,15	2,43	7,29	19,89	813,3	68,82	0,1425	73000	18,9E-6	**565**	6,5	24,6	53,6	35,1
136-AL1/22-ST1A	Partridge 160	135,9	22,0	157,9	26	7	2,58	2,00	6,00	16,32	547,3	47,75	0,2124	73000	18,9E-6	**435**	4,4	16,5	35,9	23,6
212-AL1/49-ST1A	Panther 260	212,1	49,5	261,5	30	7	3,00	3,00	9,00	21,00	972,4	90,76	0,1362	80000	17,9E-6	**585**	9,8	29,5	59,0	40,7
264-AL1/62-ST1A	Bear 325	264,4	61,7	326,1	30	7	3,35	3,35	10,05	23,45	1212,6	109,38	0,1093	80000	17,9E-6	**680**	12,2	36,8	73,6	50,7
429-AL1/56-ST1A	Zebra 485	428,9	55,6	484,5	54	7	3,18	3,18	9,54	28,62	1618,9	128,49	0,0674	70000	19,4E-6	**915**	11,0	66,3	110,5	84,4
565-AL1/30-ST1A	Zambeze 595	565,4	29,6	595,0	42	7	4,14	2,32	6,96	31,80	1792,4	119,67	0,0511	62000	21,2E-6	**1085**	5,8	74,6	136,9	98,9

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

Quadro 83 - Características Técnicas dos Cabos de Alumínio com Alma de ACS usados em Portugal - AL1/20SA

Designação		Area (mm2)			Nº de fios		Diametro fios (mm)		Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal [1]	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga	Alumínio	ACS	Total	Al	ACS	alumínio	ACS	alma	cabo				N/mm^2	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
484-AL1/34-20SA	RAIL/AW	483,8	33,5	517,4	45	7	3,70	2,47	7,41	29,61	1557,7	117,90	0,0584	63000	20,8E-6	**995**	6,7	66,5	119,0	87,2

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

Quadro 84 - Características Técnicas dos Cabos de Alumínio com Alma de Aço usados em Inglaterra - AL1/ST1A

Designação		Area (mm2)			Nº de fios		Diametro fios (mm)		Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal (1)	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) (2)			
Nova	Antiga	Alumínio	Aço	Total	Al	Aço	alumínio	Aço	alma	cabo				N/mm^2	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
11-AL1/2-ST1A	MOLE	10,6	1,8	12,4	6	1	1,50	1,50	1,50	4,50	42,8	4,14	2,7027	76000	18,6E-6	**85**			2,5	0,4
21-AL1/3-ST1A	SQUIRREL	21,0	3,5	24,5	6	1	2,11	2,11	2,11	6,33	84,7	7,87	1,3659	76000	18,6E-6	**130**			4,9	0,8
26-AL1/4-ST1A	GOPHER	26,2	4,4	30,6	6	1	2,36	2,36	2,36	7,08	106,0	9,58	1,0919	76000	18,6E-6	**150**			6,1	0,9
32-AL1/5-ST1A	WEASEL	31,6	5,3	36,9	6	1	2,59	2,59	2,59	7,77	127,6	11,38	0,9065	76000	18,6E-6	**170**			7,3	1,1
37-AL1/6-ST1A	FOX	36,7	6,1	42,8	6	1	2,79	2,79	2,79	8,37	148,1	13,21	0,7812	76000	18,6E-6	**185**			8,5	1,3
42-AL1/7-ST1A	FERRET	42,4	7,1	49,5	6	1	3,00	3,00	3,00	9,00	171,2	15,27	0,6757	76000	18,6E-6	**205**			9,8	1,5
53-AL1/9-ST1A	RABBIT	52,9	8,8	61,7	6	1	3,35	3,35	3,35	10,1	213,5	18,42	0,5419	76000	18,6E-6	**240**			12,2	1,9
63-AL1/11-ST1A	MINK	63,1	10,5	73,6	6	1	3,66	3,66	3,66	11,0	254,9	21,67	0,4540	76000	18,6E-6	**265**			14,6	2,3
63-AL1/37-ST1A	SKUNK	63,2	36,9	100,1	12	7	2,59	2,59	7,77	13,0	463,0	52,79	0,4568	104000	15,3E-6	**280**	7,3		22,0	12,0
75-AL1/13-ST1A	BEAVER	75,0	12,5	87,5	6	1	3,99	3,99	3,99	12,0	302,9	25,76	0,3820	76000	18,6E-6	**300**			17,4	2,7
73-AL1/43-ST1A	HORSE	73,4	42,8	116,2	12	7	2,79	2,79	8,37	14,0	537,3	61,26	0,3936	104000	15,3E-6	**305**	8,5		25,5	13,9
79-AL1/13-ST1A	RACOON	78,8	13,1	92,0	6	1	4,09	4,09	4,09	12,3	318,3	27,06	0,3635	76000	18,6E-6	**305**			18,2	2,8
84-AL1/14-ST1A	OTTER	83,9	14,0	97,9	6	1	4,22	4,22	4,22	12,7	338,8	28,81	0,3415	76000	18,6E-6	**320**			19,4	3,0
95-AL1/16-ST1A	CAT	95,4	15,9	111,3	6	1	4,50	4,50	4,50	13,5	385,3	32,76	0,3003	76000	18,6E-6	**345**			22,1	3,4
105-AL1/17-ST1A	HARE	105,0	17,5	122,5	6	1	4,72	4,72	4,72	14,2	423,8	36,04	0,2730	76000	18,6E-6	**370**			24,3	3,8
105-AL1/14-ST1A	DOG	105,0	13,6	118,6	6	7	4,72	1,57	4,71	14,2	394,0	32,65	0,2733	57000	22,3E-6	**370**			24,3	3,8
132-AL1/20-ST1A	COYOTE	131,7	20,1	151,8	26	7	2,54	1,91	5,73	15,9	520,7	45,86	0,2192	72000	19,0E-6	**425**	4,3	16,0	34,8	22,8
132-AL1/7-ST1A	COUGAR	131,5	7,3	138,8	18	1	3,05	3,05	3,05	15,3	418,8	29,74	0,2188	63000	21,0E-6	**420**		10,1	30,5	16,7
131-AL1/31-ST1A	TIGER	131,2	30,6	161,9	30	7	2,36	2,36	7,08	16,5	602,2	57,87	0,2202	80000	17,9E-6	**430**	6,1	18,3	36,5	25,2
158-AL1/37-ST1A	WOLF	158,1	36,9	194,9	30	7	2,59	2,59	7,77	18,1	725,3	68,91	0,1829	80000	17,9E-6	**485**	7,3	22,0	44,0	30,3
159-AL1/9-ST1A	DINGO	158,7	8,8	167,5	18	1	3,35	3,35	3,35	16,8	505,2	35,87	0,1814	63000	21,0E-6	**475**		12,2	36,8	20,1
183-AL1/43-ST1A	LYNX	183,4	42,8	226,2	30	7	2,79	2,79	8,37	19,5	841,6	79,97	0,1576	80000	17,9E-6	**535**	8,5	25,5	51,1	35,2
184-AL1/10-ST1A	CARACAL	184,2	10,2	194,5	18	1	3,61	3,61	3,61	18,1	586,7	40,74	0,1562	63000	21,0E-6	**525**		14,2	42,7	23,3
212-AL1/49-ST1A	PANTHER	212,1	49,5	261,5	30	7	3,00	3,00	9,00	21,0	973,1	92,46	0,1363	80000	17,9E-6	**585**	9,8	29,5	59,0	40,7
211-AL1/12-ST1A	JAGUAR	210,6	11,7	222,3	18	1	3,86	3,86	3,86	19,3	670,8	46,57	0,1366	63000	21,0E-6	**570**		16,2	48,9	26,7
238-AL1/56-ST1A	LION	238,3	55,6	293,9	30	7	3,18	3,18	9,54	22,3	1093,4	100,47	0,1213	80000	17,9E-6	**635**	11,0	33,2	66,3	45,7
264-AL1/62-ST1A	BEAR	264,4	61,7	326,1	30	7	3,35	3,35	10,05	23,5	1231,4	111,50	0,1093	80000	17,9E-6	**680**	12,2	36,8	73,6	50,7
324-AL1/76-ST1A	GOAT	324,3	75,7	400,0	30	7	3,71	3,71	11,13	26,0	1488,2	135,13	0,0891	80000	17,9E-6	**775**	15,0	45,1	90,3	62,2
375-AL1/88-ST1A	SHEEP	375,1	87,5	462,6	30	7	3,99	3,99	11,97	27,9	1721,3	156,30	0,0771	80000	17,9E-6	**850**	17,4	52,2	104,4	72,0
374-AL1/48-ST1A	ANTELOPE	374,1	48,5	422,6	54	7	2,97	2,97	8,91	26,7	1413,8	118,88	0,0773	70000	19,4E-6	**840**	9,6	57,9	96,4	73,7
382-AL1/49-ST1A	BISON	381,7	49,5	431,2	54	7	3,00	3,00	9,00	27,0	1442,5	121,30	0,0758	70000	19,4E-6	**850**	9,8	59,0	98,4	75,2
430-AL1/100-ST1A	DEER	429,6	100,2	529,8	30	7	4,27	4,27	12,81	29,9	1971,4	179,00	0,0673	80000	17,9E-6	**930**	19,9	59,8	119,6	82,4
429-AL1/56-ST1A	ZEBRA	428,9	55,6	484,5	54	7	3,18	3,18	9,54	28,6	1620,8	131,92	0,0674	70000	19,4E-6	**915**	11,0	66,3	110,5	84,4
477-AL1/111-ST1A	ELK	477,1	111,3	588,5	30	7	4,50	4,50	13,50	31,5	2189,5	198,80	0,0606	80000	17,9E-6	**995**	22,1	66,4	132,8	91,5
476-AL1/62-ST1A	CAMEL	476,0	61,7	537,7	54	7	3,35	3,35	10,05	30,2	1798,8	146,40	0,0608	70000	19,4E-6	**980**	12,2	73,6	122,7	93,7
528-AL1/69-ST1A	MOOSE	528,5	68,5	597,0	54	7	3,53	3,53	10,59	31,8	1997,3	159,92	0,0547	70000	19,4E-6	**1050**	13,6	81,7	136,2	104,0

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

Quadro 85 - Características Técnicas dos Cabos de Alumínio com Alma de Aço usados em Espanha - AL1/ST1A

Designação		Area (mm2)			Nº de fios		Diametro fios (mm)		Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal [1]	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga	Alumínio	Aço	Total	Al	Aço	aluminio	Aço	alma	cabo				N/mm^2	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
27-AL1/4-ST1A	LA 30	26,7	4,4	31,1	6	1	2,38	2,38	2,38	7,14	107,8	9,74	1,0736	76000	18,6E-6	**155**			6,2	1,0
47-AL1/8-ST1A	LA 56	46,8	7,8	54,6	6	1	3,15	3,15	3,15	9,45	188,8	16,29	0,6129	76000	18,6E-6	**220**			10,8	1,7
67-AL1/11-ST1A	LA 78	67,3	11,2	78,6	6	1	3,78	3,78	3,78	11,3	271,8	23,12	0,4256	76000	18,6E-6	**275**			15,6	2,4
94-AL1/22-ST1A	LA 110	94,2	22,0	116,2	30	7	2,00	2,00	6,00	14,0	432,5	43,17	0,3067	80000	17,9E-6	**345**	4,4	13,1	26,2	18,1
119-AL1/28-ST1A	LA 145	119,3	27,8	147,1	30	7	2,25	2,25	6,75	15,8	547,4	54,03	0,2423	80000	17,9E-6	**405**	5,5	16,6	33,2	22,9
147-AL1/34-ST1A	LA 180	147,3	34,4	181,6	30	7	2,50	2,50	7,50	17,5	675,8	64,94	0,1963	80000	17,9E-6	**465**	6,8	20,5	41,0	28,3
242-AL1/39-ST1A	LA 280 HAWK	241,6	39,5	281,1	26	7	3,44	2,68	8,04	21,8	976,2	84,89	0,1195	73000	18,9E-6	**635**	7,8	29,3	63,9	41,9
337-AL1/44-ST1A	LA 380 GULL	337,3	43,7	381,0	54	7	2,82	2,82	8,46	25,4	1274,6	107,18	0,0857	70000	19,4E-6	**785**	8,7	52,2	86,9	66,4
402-AL1/52-ST1A	LA 455 CONDOR	402,3	52,2	454,5	54	7	3,08	3,08	9,24	27,7	1520,5	123,75	0,0719	70000	19,4E-6	**880**	10,3	62,2	103,7	79,2
485-AL1/63-ST1A	LA 545 CARDINAL	484,5	62,8	547,3	54	7	3,38	3,38	10,1	30,4	1831,1	149,04	0,0597	70000	19,4E-6	**990**	12,5	74,9	124,9	95,4
565-AL1/72-ST1A	LA 635 FINCH	565,0	71,6	636,6	54	19	3,65	2,19	11,0	32,9	2123,0	174,14	0,0512	70000	19,5E-6	**1095**	15,7	88,6	146,8	112,4

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

Quadro 86 - Características Técnicas dos Cabos de Alumínio com Alma de Aço usados na Alemanha - AL1/ST1A

Designação		Area (mm2)			Nº de fios		Diametro fios (mm)		Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal [1]	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga	Alumínio	Aço	Total	Al	Aço	alumínio	Aço	alma	cabo				N/mm^2	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
15-AL1/3-ST1A	16/2,5	15,3	2,5	17,8	6	1	1,80	1,80	1,80	5,40	61,6	5,80	1,8769	81000	18,6E-6	**105**			3,5	0,6
24-AL1/4-ST1A	25/4	23,9	4,0	27,8	6	1	2,25	2,25	2,25	6,75	96,3	8,95	1,2012	81000	18,6E-6	**140**			5,5	0,9
34-AL1/6-ST1A	35/6	34,4	5,7	40,1	6	1	2,70	2,70	2,70	8,10	138,7	12,37	0,8342	81000	18,6E-6	**180**			7,9	1,2
44-AL1/32-ST1A	44/32	44,0	31,7	75,6	14	7	2,00	2,40	7,20	11,2	369,3	44,24	0,6574	110000	14,8E-6	**220**	6,5		16,7	10,0
48-AL1/8-ST1A	50/8	48,3	8,0	56,3	6	1	3,20	3,20	3,20	9,60	194,8	16,81	0,5939	81000	18,6E-6	**225**			11,2	1,7
51-AL1/30-ST1A	50/30	51,2	29,8	81,0	12	7	2,33	2,33	6,99	11,7	374,7	42,98	0,5644	107000	15,3E-6	**245**	5,9		17,8	9,7
70-AL1/11-ST1A	70/12	69,9	11,4	81,3	26	7	1,85	1,44	4,32	11,7	282,2	26,27	0,4132	77000	18,9E-6	**285**	2,3	8,5	18,5	12,1
94-AL1/15-ST1A	95/15	94,4	15,3	109,7	26	7	2,15	1,67	5,01	13,6	380,6	34,93	0,3060	77000	18,9E-6	**345**	3,1	11,5	25,0	16,4
97-AL1/56-ST1A	95/55	96,5	56,3	152,8	12	7	3,20	3,20	9,60	16,0	706,8	77,85	0,2992	107000	15,3E-6	**365**	11,2		33,6	18,3
106-AL1/76-ST1A	105/75	105,7	75,5	181,2	14	19	3,10	2,25	11,3	17,5	885,3	105,82	0,2742	110000	14,8E-6	**390**	16,9		41,4	25,4
122-AL1/20-ST1A	120/20	121,6	19,8	141,4	26	7	2,44	1,90	5,70	15,5	491,0	44,50	0,2376	77000	18,9E-6	**405**	3,9	14,8	32,1	21,1
122-AL1/71-ST1A	120/70	122,1	71,3	193,4	12	7	3,60	3,60	10,8	18,0	894,5	97,92	0,2364	107000	15,3E-6	**425**	14,1		42,5	23,2
128-AL1/30-ST1A	125/30	127,9	29,8	157,8	30	7	2,33	2,33	6,99	16,3	587,0	56,41	0,2260	82000	17,9E-6	**425**	5,9	17,8	35,6	24,5
149-AL1/24-ST1A	150/25	148,9	24,2	173,1	26	7	2,70	2,10	6,30	17,1	600,8	53,67	0,1940	77000	18,9E-6	**465**	4,8	18,1	39,4	25,8
172-AL1/40-ST1A	170/40	171,8	40,1	211,8	30	7	2,70	2,70	8,10	18,9	788,2	74,89	0,1683	82000	17,9E-6	**510**	7,9	23,9	47,8	33,0
184-AL1/30-ST1A	185/30	183,8	29,8	213,6	26	7	3,00	2,33	6,99	19,0	741,0	65,27	0,1571	77000	18,9E-6	**530**	5,9	22,3	48,6	31,9
209-AL1/34-ST1A	210/35	209,1	34,1	243,2	26	7	3,20	2,49	7,47	20,3	844,1	73,36	0,1381	77000	18,9E-6	**580**	6,8	25,4	55,3	36,2
212-AL1/49-ST1A	210/50	212,1	49,5	261,5	30	7	3,00	3,00	9,00	21,0	973,1	92,46	0,1363	82000	17,9E-6	**585**	9,8	29,5	59,0	40,7
231-AL1/30-ST1A	230/30	230,9	29,8	260,8	24	7	3,50	2,33	6,99	21,0	870,9	72,13	0,1250	74000	19,5E-6	**615**	6,0	26,1	59,5	38,0
243-AL1/39-ST1A	240/40	243,1	39,5	282,5	26	7	3,45	2,68	8,04	21,8	980,1	85,12	0,1188	77000	18,9E-6	**635**	7,9	29,5	64,3	42,1
264-AL1/34-ST1A	265/35	263,7	34,1	297,7	24	7	3,74	2,49	7,47	22,4	994,1	81,04	0,1095	74000	19,4E-6	**670**	6,9	29,8	68,0	43,4
304-AL1/49-ST1A	300/50	304,3	49,5	353,7	26	7	3,86	3,00	9,00	24,4	1227,3	105,09	0,0949	77000	18,9E-6	**735**	9,8	37,0	80,5	52,7
305-AL1/39-ST1A	305/40	304,6	39,5	344,1	54	7	2,68	2,68	8,04	24,1	1151,2	96,80	0,0949	70000	19,4E-6	**735**	7,8	47,1	78,5	60,0
339-AL1/30-ST1A	340/30	339,3	29,8	369,1	48	7	3,00	2,33	6,99	25,0	1171,2	91,71	0,0852	62000	20,3E-6	**780**	6,1	48,6	84,7	63,1
382-AL1/49-ST1A	380/50	381,7	49,5	431,2	54	7	3,00	3,00	9,00	27,0	1442,5	121,30	0,0758	70000	19,4E-6	**850**	9,8	59,0	98,4	75,2
386-AL1/34-ST1A	385/35	386,0	34,1	420,1	48	7	3,20	2,49	7,47	26,7	1333,6	102,56	0,0749	62000	20,3E-6	**850**	7,0	55,3	96,4	71,8
434-AL1/56-ST1A	435/55	434,3	56,3	490,6	54	7	3,20	3,20	9,60	28,8	1641,3	133,59	0,0666	70000	19,4E-6	**925**	11,2	67,2	111,9	85,5
449-AL1/39-ST1A	450/40	448,7	39,5	488,2	48	7	3,45	2,68	8,04	28,7	1549,1	119,05	0,0644	62000	20,3E-6	**940**	8,1	64,3	112,0	83,4
490-AL1/64-ST1A	490/65	490,3	63,6	553,8	54	7	3,40	3,40	10,2	30,6	1852,9	150,81	0,0590	70000	19,4E-6	**1000**	12,6	75,8	126,4	96,5
494-AL1/34-ST1A	495/35	494,4	34,1	528,4	45	7	3,74	2,49	7,47	29,9	1632,6	117,96	0,0584	61000	20,8E-6	**995**	6,9	68,0	121,6	89,1
511-AL1/45-ST1A	510/45	510,5	45,3	555,8	48	7	3,68	2,87	8,61	30,7	1765,3	133,31	0,0566	62000	20,3E-6	**1020**	9,2	73,1	127,4	94,9
550-AL1/71-ST1A	550/70	549,7	71,3	620,9	54	7	3,60	3,60	10,8	32,4	2077,2	166,32	0,0526	70000	19,4E-6	**1075**	14,1	85,0	141,7	108,2
562-AL1/49-ST1A	560/50	561,7	49,5	611,2	48	7	3,86	3,00	9,00	32,2	1939,5	146,28	0,0515	62000	20,3E-6	**1085**	10,1	80,5	140,2	104,4
571-AL1/39-ST1A	570/40	571,2	39,5	610,6	45	7	4,02	2,68	8,04	32,2	1887,1	136,40	0,0506	61000	20,8E-6	**1095**	7,9	78,5	140,4	102,9
653-AL1/45-ST1A	650/45	653,5	45,3	698,8	45	7	4,30	2,87	8,61	34,4	2159,9	156,18	0,0442	61000	20,8E-6	**1195**	9,1	89,9	160,7	117,8
679-AL1/86-ST1A	680/85	678,6	86,0	764,5	54	19	4,00	2,40	12,0	36,0	2549,7	206,56	0,0426	68000	19,5E-6	**1235**	18,9	106,4	176,3	135,0
1046-AL1/45-ST1A	1045/45	1045,6	45,3	1090,9	72	7	4,30	2,87	8,61	43,0	3248,2	218,92	0,0277	60000	21,5E-6	**1615**	9,1	160,7	251,6	198,8

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

Quadro 87 - Características Técnicas dos Cabos de Alumínio com Alma de Aço usados em França - AL1/ST1A

Designação		Area (mm2)			Nº de fios		Diametro fios (mm)		Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal (1)	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) (2)			
Nova	Antiga	Alumínio	Aço	Total	Al	Aço	alumínio	Aço	alma	cabo				N/mm²	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
28-AL1/9-ST1A	CANNA 37,7	28,3	9,4	37,7	9	3	2,00	2,00	4,30	8,30	151,5	16,26	1,0187	88000	16,8E-6	**165**	3,6		11,5	5,8
38-AL1/22-ST1A	CANNA 59,7	37,7	22,0	59,7	12	7	2,00	2,00	6,00	10,00	276,1	32,70	0,7660	103500	15,3E-6	**200**	4,4		13,1	7,2
48-AL1/28-ST1A	CANNA 75,5	47,7	27,8	75,5	12	7	2,25	2,25	6,75	11,3	349,4	41,15	0,6052	103500	15,3E-6	**230**	5,5		16,6	9,1
59-AL1/34-ST1A	CANNA 93,3	58,9	34,4	93,3	12	7	2,50	2,50	7,50	12,5	431,4	49,48	0,4902	103500	15,3E-6	**265**	6,8		20,5	11,2
94-AL1/22-ST1A	CANNA 116,2	94,2	22,0	116,2	30	7	2,00	2,00	6,00	14,0	432,5	43,17	0,3067	75500	17,9E-6	**345**	4,4	13,1	26,2	18,1
119-AL1/28-ST1A	CANNA 147,1	119,3	27,8	147,1	30	7	2,25	2,25	6,75	15,8	547,4	54,03	0,2423	75500	17,9E-6	**405**	5,5	16,6	33,2	22,9
147-AL1/34-ST1A	CANNA 181,6	147,3	34,4	181,6	30	7	2,50	2,50	7,50	17,5	675,8	64,94	0,1963	75500	17,9E-6	**465**	6,8	20,5	41,0	28,3
185-AL1/43-ST1A	CANNA 228	184,7	43,1	227,8	30	7	2,80	2,80	8,40	19,6	847,7	80,54	0,1565	75500	17,9E-6	**535**	8,5	25,7	51,4	35,4
234-AL1/55-ST1A	CANNA 288	233,8	54,6	288,3	30	7	3,15	3,15	9,45	22,1	1072,8	98,58	0,1236	75500	17,9E-6	**625**	10,8	32,5	65,1	44,8

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à esquerda (S), com excepção do cabo Canna 93,3 que será à direita (Z).

Quadro 88 - Características Técnicas dos Cabos de Alumínio com Alma de Aço usados em França - AL1/ST6C

Designação		Area (mm2)			Nº de fios		Diametro fios (mm)		Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal (1)	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) (2)			
Nova	Antiga	Alumínio	Aço	Total	Al	Aço	alumínio	Aço	alma	cabo				N/mm²	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
94-AL1/22-ST6C	CROCUS 116,2	94,2	22,0	116,2	30	7	2,00	2,00	6,00	14,0	432,5	49,32	0,3067	75500	17,9E-6	**345**	4,4	13,1	26,2	18,1
119-AL1/28-ST6C	CROCUS 147,1	119,3	27,8	147,1	30	7	2,25	2,25	6,75	15,8	547,4	61,83	0,2423	75500	17,9E-6	**405**	5,5	16,6	33,2	22,9
147-AL1/34-ST6C	CROCUS 181,6	147,3	34,4	181,6	30	7	2,50	2,50	7,50	17,5	675,8	74,22	0,1963	75500	17,9E-6	**465**	6,8	20,5	41,0	28,3
185-AL1/43-ST6C	CROCUS 228	184,7	43,1	227,8	30	7	2,80	2,80	8,40	19,6	847,7	92,18	0,1565	75500	17,9E-6	**535**	8,5	25,7	51,4	35,4
234-AL1/55-ST6C	CROCUS 288	233,8	54,6	288,3	30	7	3,15	3,15	9,45	22,1	1072,8	113,86	0,1236	75500	17,9E-6	**625**	10,8	32,5	65,1	44,8
222-AL1/76-ST6C	CROCUS 297	221,7	75,5	297,2	36	19	2,80	2,25	11,3	22,5	1206,8	147,22	0,1307	79000	16,8E-6	**610**	16,5	37,9	67,9	49,8
326-AL1/86-ST6C	CROCUS 412	325,7	86,0	411,7	32	19	3,60	2,40	12,0	26,4	1576,1	173,31	0,0889	72000	17,5E-6	**780**	18,9	49,6	94,5	66,9
508-AL1/105-ST6C	CROCUS 612	507,8	104,8	612,6	66	19	3,13	2,65	13,3	32,0	2226,5	231,55	0,0570	66500	18,2E-6	**1030**	24,1	92,0	142,0	113,1

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à esquerda (S), com excepção dos cabos Crocus 297 e 412 que será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

5.1.6 - Cabos de Liga de Alumínio com Alma de Aço do tipo AACSR

Aplicações:

Os cabos de alumínio com alma de aço são normalmente usados em linhas aéreas.

São cabos semelhantes aos ACSR, com a substituição dos fios de alumínio AL1 por fios de liga de alumínio AL2, AL3, AL4 ou AL5.

São normalmente indicados para grandes vãos onde é impraticável a utilização de torres intermediárias, existindo por isso a necessidade de utilização de cabos com maior resistência mecânica.

Normas de referência:

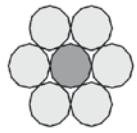
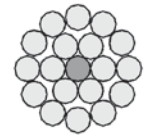
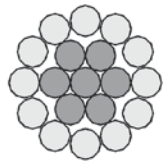
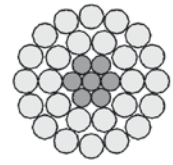
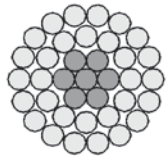
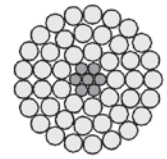
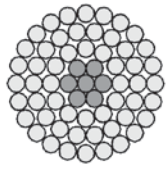
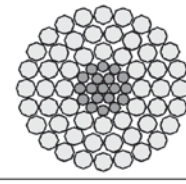
EN 50183; EN 50189; EN 50182

Construção:

Os cabos de liga de alumínio com alma de aço são condutores cableados concêntricos, compostos de uma ou mais camadas de fios de liga de alumínio do tipo AL2, AL3, AL4 ou AL5, e um núcleo (alma) de aço galvanizado de alta resistência do tipo ST1A, ST2B, ST3D, ST4A ou ST5E.

Devido às numerosas combinações possíveis de fios de liga de alumínio e aço, pode-se variar a proporção dos mesmos, a fim de se obter a melhor relação entre capacidade de transporte de corrente e resistência mecânica para cada aplicação.

Quadro 89 - Composições dos cabos de liga de alumínio com alma de aço

Composição	Secção Transversal do Cabo	Composição	Secção Transversal do Cabo
6/1 fios (1)+6		18/1 fios (1)+6+12	
12/7 fios (1+6)+12		26/7 fios (1+6)+10+16	
30/7 fios (1+6)+12+18		45/7 fios (1+6)+9+15+21	
54/7 fios (1+6)+12+18+24		54/19 fios (1+6+12)+12+18+24	

Quadro 90 - Características Técnicas dos Cabos de Liga Alumínio com Alma de Aço usados em Inglaterra - AL5/ST1A

Designação		Area (mm2)			Nº de fios		Diametro fios (mm)		Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal [1]	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga	Liga	Aço	Total	Liga	Aço	Liga	Aço	alma	cabo				N/mm²	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
183-AL5/43-ST1A	KEZIAH	183,4	42,8	226,2	30	7	2,79	2,79	8,37	19,5	841,6	102,89	0,1740	80000	17,9E-6	**515**	8,5	25,5	51,1	35,2

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

Quadro 91 - Características Técnicas dos Cabos de Liga Alumínio com Alma de Aço usados em Espanha - AL2/ST1A

Designação		Area (mm2)			Nº de fios		Diametro fios (mm)		Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal [1]	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga	Liga	Aço	Total	Liga	Aço	Liga	Aço	alma	cabo				N/mm²	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
27-AL2/4-ST1A	DA 30	26,7	4,4	31,1	6	1	2,38	2,38	2,38	7,1	107,7	13,75	1,2474	76000	18,6E-6	**145**			6,2	1,0
47-AL2/8-ST1A	DA 56	46,8	7,8	54,6	6	1	3,15	3,15	3,15	9,5	188,6	23,77	0,7121	76000	18,6E-6	**205**			10,8	1,7
67-AL2/11-ST1A	DA 78	67,3	11,2	78,6	6	1	3,78	3,78	3,78	11,3	271,6	33,55	0,4945	76000	18,6E-6	**260**			15,6	2,4
94-AL2/22-ST1A	DA 110	94,2	22,0	116,2	30	7	2,00	2,00	6,00	14,0	432,2	56,36	0,3563	80000	17,9E-6	**325**	4,4	13,1	26,2	18,1
119-AL2/28-ST1A	DA 145	119,3	27,8	147,1	30	7	2,25	2,25	6,75	15,8	547,0	71,33	0,2815	80000	17,9E-6	**380**	5,5	16,6	33,2	22,9
147-AL2/34-ST1A	DA 180	147,3	34,4	181,6	30	7	2,50	2,50	7,50	17,5	675,3	87,03	0,2280	80000	17,9E-6	**435**	6,8	20,5	41,0	28,3
226-AL2/53-ST1A	DA 280	226,4	52,8	279,3	30	7	3,10	3,10	9,30	21,7	1038,4	131,71	0,1483	80000	17,9E-6	**575**	10,5	31,5	63,0	43,4

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

Quadro 92 - Características Técnicas dos Cabos de Liga Alumínio com Alma de Aço usados na Alemanha - AL3/ST1A

Designação		Area (mm2)			Nº de fios		Diametro fios (mm)		Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final	Coeficiente linear de expansão	Capacidade Nominal (1)	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) (2)			
Nova	Antiga	Liga	Aço	Total	Liga	Aço	Liga	Aço	alma	cabo				N/mm²	1/K	A	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
15-AL3/3-ST1A	16/2,5	15,3	2,5	17,8	6	1	1,80	1,80	1,80	5,40	61,6	7,48	2,1602	81000	18,6E-6	**100**			3,5	0,6
24-AL3/4-ST1A	25/4	23,9	4,0	27,8	6	1	2,25	2,25	2,25	6,75	96,2	11,69	1,3825	81000	18,6E-6	**135**			5,5	0,9
34-AL3/6-ST1A	35/6	34,4	5,7	40,1	6	1	2,70	2,70	2,70	8,10	138,6	16,66	0,9601	81000	18,6E-6	**170**			7,9	1,2
44-AL3/32-ST1A	44/32	44,0	31,7	75,6	14	7	2,00	2,40	7,20	11,2	369,1	49,08	0,7566	110000	14,8E-6	**210**	6,5		16,7	10,0
48-AL3/8-ST1A	50/8	48,3	8,0	56,3	6	1	3,20	3,20	3,20	9,60	194,7	23,08	0,6835	81000	18,6E-6	**210**			11,2	1,7
51-AL3/30-ST1A	50/30	51,2	29,8	81,0	12	7	2,33	2,33	6,99	11,7	374,6	49,12	0,6496	107000	15,3E-6	**230**	5,9		17,8	9,7
70-AL3/11-ST1A	70/12	69,9	11,4	81,3	26	7	1,85	1,44	4,32	11,7	282,0	33,96	0,4756	77000	18,9E-6	**265**	2,3	8,5	18,5	12,1
94-AL3/15-ST1A	95/15	94,4	15,3	109,7	26	7	2,15	1,67	5,01	13,6	380,3	45,79	0,3521	77000	18,9E-6	**325**	3,1	11,5	25,0	16,4
97-AL3/56-ST1A	95/55	96,5	56,3	152,8	12	7	3,20	3,20	9,60	16,0	706,5	90,40	0,3444	107000	15,3E-6	**345**	11,2		33,6	18,3
106-AL3/76-ST1A	105/75	105,7	75,5	181,2	14	19	3,10	2,25	11,3	17,5	885,0	119,56	0,3155	110000	14,8E-6	**370**	16,9		41,4	25,4
122-AL3/20-ST1A	120/20	121,6	19,8	141,4	26	7	2,44	1,90	5,70	15,5	490,6	59,09	0,2734	77000	18,9E-6	**385**	3,9	14,8	32,1	21,1
122-AL3/71-ST1A	120/70	122,1	71,3	193,4	12	7	3,60	3,60	10,8	18,0	894,2	114,41	0,2721	107000	15,3E-6	**400**	14,1		42,5	23,2
128-AL3/30-ST1A	125/30	127,9	29,8	157,8	30	7	2,33	2,33	6,99	16,3	586,6	71,76	0,2601	82000	17,9E-6	**400**	5,9	17,8	35,6	24,5
149-AL3/24-ST1A	150/25	148,9	24,2	173,1	26	7	2,70	2,10	6,30	17,1	600,3	72,28	0,2233	77000	18,9E-6	**435**	4,8	18,1	39,4	25,8
172-AL3/40-ST1A	170/40	171,8	40,1	211,8	30	7	2,70	2,70	8,10	18,9	787,7	96,36	0,1937	82000	17,9E-6	**480**	7,9	23,9	47,8	33,0
184-AL3/30-ST1A	185/30	183,8	29,8	213,6	26	7	3,00	2,33	6,99	19,0	740,4	88,24	0,1809	77000	18,9E-6	**500**	5,9	22,3	48,6	31,9
209-AL3/34-ST1A	210/35	209,1	34,1	243,2	26	7	3,20	2,49	7,47	20,3	843,5	100,54	0,1590	77000	18,9E-6	**545**	6,8	25,4	55,3	36,2
212-AL3/49-ST1A	210/50	212,1	49,5	261,5	30	7	3,00	3,00	9,00	21,0	972,5	118,96	0,1569	82000	17,9E-6	**555**	9,8	29,5	59,0	40,7
231-AL3/30-ST1A	230/30	230,9	29,8	260,8	24	7	3,50	2,33	6,99	21,0	870,1	102,14	0,1439	74000	19,5E-6	**575**	6,0	26,1	59,5	38,0
243-AL3/39-ST1A	240/40	243,1	39,5	282,5	26	7	3,45	2,68	8,04	21,8	979,4	116,72	0,1368	77000	18,9E-6	**600**	7,9	29,5	64,3	42,1
264-AL3/34-ST1A	265/35	263,7	34,1	297,7	24	7	3,74	2,49	7,47	22,4	993,6	116,64	0,1260	74000	19,4E-6	**630**	6,9	29,8	68,0	43,4
304-AL3/49-ST1A	300/50	304,3	49,5	353,7	26	7	3,86	3,00	9,00	24,4	1226,4	146,16	0,1092	77000	18,9E-6	**695**	9,8	37,0	80,5	52,7
305-AL3/39-ST1A	305/40	304,6	39,5	344,1	54	7	2,68	2,68	8,04	24,1	1150,3	134,88	0,1093	70000	19,4E-6	**690**	7,8	47,1	78,5	60,0
339-AL3/30-ST1A	340/30	339,3	29,8	369,1	48	7	3,00	2,33	6,99	25,0	1170,2	134,12	0,0980	62000	20,3E-6	**735**	6,1	48,6	84,7	63,1
382-AL3/49-ST1A	380/50	381,7	49,5	431,2	54	7	3,00	3,00	9,00	27,0	1441,4	169,01	0,0872	70000	19,4E-6	**800**	9,8	59,0	98,4	75,2
386-AL3/34-ST1A	385/35	386,0	34,1	420,1	48	7	3,20	2,49	7,47	26,7	1332,4	152,74	0,0862	62000	20,3E-6	**800**	7,0	55,3	96,4	71,8
434-AL3/56-ST1A	435/55	434,3	56,3	490,6	54	7	3,20	3,20	9,60	28,8	1640,0	190,04	0,0766	70000	19,4E-6	**870**	11,2	67,2	111,9	85,5
449-AL3/39-ST1A	450/40	448,7	39,5	488,2	48	7	3,45	2,68	8,04	28,7	1547,7	177,39	0,0741	62000	20,3E-6	**885**	8,1	64,3	112,0	83,4
490-AL3/64-ST1A	490/65	490,3	63,6	553,8	54	7	3,40	3,40	10,2	30,6	1851,4	214,54	0,0679	70000	19,4E-6	**940**	12,6	75,8	126,4	96,5
550-AL3/71-ST1A	550/70	549,7	71,3	620,9	54	7	3,60	3,60	10,8	32,4	2075,6	240,52	0,0605	70000	19,4E-6	**1015**	14,1	85,0	141,7	108,2
562-AL3/49-ST1A	560/50	561,7	49,5	611,2	48	7	3,86	3,00	9,00	32,2	1937,8	222,11	0,0592	62000	20,3E-6	**1025**	10,1	80,5	140,2	104,4
679-AL3/86-ST1A	680/85	678,6	86,0	764,5	54	19	4,00	2,40	12,0	36,0	2547,6	298,17	0,0490	68000	19,5E-6	**1165**	18,9	106,4	176,3	135,0

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

Quadro 93 - Características Técnicas dos Cabos de Liga Alumínio com Alma de Aço usados em França - AL4/ST6C

Designação		Area (mm2)			Nº de fios		Diametro fios (mm)		Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final N/mm²	Coeficiente linear de expansão 1/K	Capacidade Nominal [1] A	Peso de massa Protectora de acordo com EN 50182 (kg/km) [2]			
Nova	Antiga	Liga	Aço	Total	Liga	Aço	Liga	Aço	alma	cabo							Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4
28-AL4/9-ST6C	PHLOX 37,7	28,3	9,4	37,7	9	3	2,00	2,00	4,30	8,30	151,4	22,86	1,1750	93000	16,8E-6	**155**	3,6		11,5	5,8
38-AL4/22-ST6C	PHLOX 59,7	37,7	22,0	59,7	12	7	2,00	2,00	6,00	10,0	276,0	44,14	0,8835	108000	15,3E-6	**185**	4,4		13,1	7,2
48-AL4/28-ST6C	PHLOX 75,5	47,7	27,8	75,5	12	7	2,25	2,25	6,75	11,3	349,3	55,86	0,6981	108000	15,3E-6	**220**	5,5		16,6	9,1
52-AL4/42-ST6C	PHLOX 94,1	52,0	42,1	94,1	15	19	2,10	1,68	8,40	12,6	474,2	77,96	0,6435	112000	14,5E-6	**235**	9,3		21,3	13,5
57-AL4/60-ST6C	PHLOX 116,2	56,5	59,7	116,2	18	19	2,00	2,00	10,0	14,0	625,0	104,93	0,5921	124000	14,0E-6	**250**	13,1		26,2	18,1
72-AL4/76-ST6C	PHLOX 147,1	71,6	75,5	147,1	18	19	2,25	2,25	11,3	15,8	791,0	132,80	0,4678	124000	14,0E-6	**295**	16,6		33,2	22,9
119-AL4/28-ST6C	PASTEL 147,1	119,3	27,8	147,1	30	7	2,25	2,25	6,75	15,8	547,0	79,12	0,2795	84000	17,9E-6	**380**	5,5	16,6	33,2	22,9
88-AL4/93-ST6C	PHLOX 181,6	88,4	93,3	181,6	18	19	2,50	2,50	12,5	17,5	976,6	160,22	0,3789	124000	14,0E-6	**335**	20,5		41,0	28,3
147-AL4/34-ST6C	PASTEL 181,6	147,3	34,4	181,6	30	7	2,50	2,50	7,50	17,5	675,3	96,31	0,2264	84000	17,9E-6	**435**	6,8	20,5	41,0	28,3
111-AL4/117-ST6C	PHLOX 228	110,8	117,0	227,8	18	19	2,80	2,80	14,0	19,6	1225,0	200,98	0,3021	124000	14,0E-6	**390**	25,7		51,4	35,4
185-AL4/43-ST6C	PASTEL 228	184,7	43,1	227,8	30	7	2,80	2,80	8,40	19,6	847,1	120,81	0,1805	84000	17,9E-6	**505**	8,5	25,7	51,4	35,4
140-AL4/148-ST6C	PHLOX 288	140,3	148,1	288,3	18	19	3,15	3,15	15,8	22,1	1550,4	249,93	0,2387	124000	14,0E-6	**455**	32,5		65,1	44,8
234-AL4/55-ST6C	PASTEL 288	233,8	54,6	288,3	30	7	3,15	3,15	9,45	22,1	1072,1	151,26	0,1426	84000	17,9E-6	**590**	10,8	32,5	65,1	44,8
206-AL4/93-ST6C	PASTEL 299	206,2	93,3	299,4	42	19	2,50	2,50	12,5	22,5	1302,8	198,51	0,1622	96500	16,0E-6	**555**	20,5	41,0	68,3	52,2
148-AL4/228-ST6C	PHLOX 376	147,8	227,8	375,6	24	37	2,80	2,80	19,6	25,2	2202,4	369,27	0,2270	130000	13,3E-6	**485**	51,4		85,7	65,5
326-AL4/86-ST6C	PASTEL 412	325,7	86,0	411,7	32	19	3,60	2,40	12,0	26,4	1575,1	223,80	0,1025	82000	17,5E-6	**730**	18,9	49,6	94,5	66,9
508-AL4/105-ST6C	PETUNIA 612	507,8	104,8	612,6	66	19	3,13	2,65	13,3	32,0	2225,0	312,81	0,0657	77500	18,2E-6	**970**	24,1	92,0	142,0	113,1
717-AL4/148-ST6C	PASTEL 865	717,3	148,1	865,4	66	19	3,72	3,15	15,8	38,1	3143,2	430,29	0,0465	77500	18,2E-6	**1215**	34,0	129,9	200,5	159,7

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à esquerda (S), com excepção do cabo PHLOX 37,7 que será à direita (Z).

(1) - Os valores da capacidade nominal de corrente são meramente indicativos e foram calculados nas seguintes condições de funcionamento do cabo: velocidade do vento de 0,6 m/s; temperatura ambiente de 35°C; temperatura máxima do cabo de 80°C (regime permanente).

(2) - De acordo com a norma EN 50 182, o peso de massa protectora nos condutores poderá ter uma variação de ± 20% relativamente ao valor nominal indicado.

5.1.7 - Curvas de Elevação da Temperatura

A intensidade de corrente máxima admissível num cabo aéreo nu está limitada pela elevação da temperatura desse cabo (até ao valor máximo permitido pelo metal constituinte) provocada pela passagem dessa corrente. A temperatura máxima admissível num condutor nu não deve provocar alterações das propriedades mecânicas exigíveis para os metais constituintes, nomeadamente a resistência à tracção e o alongamento.

Nenhuma acção de recozimento é notada nos fios de alumínio até uma temperatura de 75 °C, mesmo ao fim de um tempo em serviço prolongado, e até 100 °C o recozimento produzido é fraco. Um cabo **AAC** em serviço permanente e a uma temperatura de 100 °C sofrerá, ao fim de alguns meses, uma redução até 10% do seu limite de ruptura provocada pelo recozimento. Já num cabo **ACSR** essa redução não será superior a 5% devido à presença do aço na composição do mesmo.

As curvas de elevação da temperatura que apresentamos nos gráficos 19 a 21, fornecem a intensidade de corrente admissível nos cabos **AAC** e **ACSR** em função da elevação da temperatura desses acima de 40 °C (temperatura ambiente), considerando o vento a incidir transversalmente sobre o cabo e com uma velocidade de 0,61 m/s.

Gráfico 19- Curvas de Elevação da Temperatura dos Cabos AAC

(Velocidade do vento 0,61 m/s perpendicularmente ao cabo)

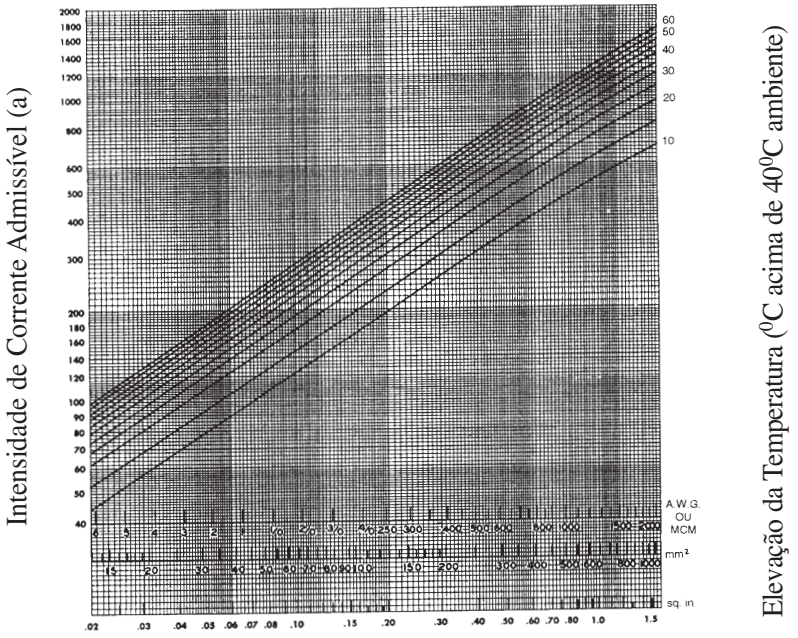
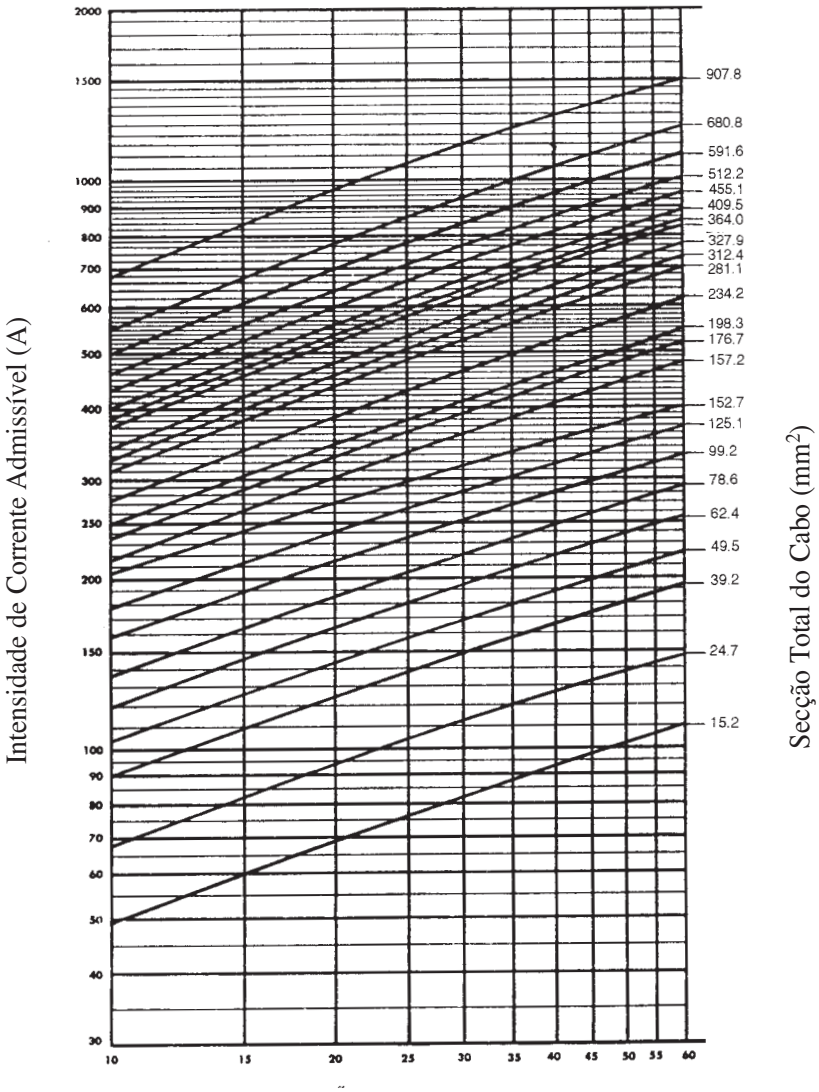


Gráfico 20 - Curvas de Elevação da Temperatura dos Cabos ACSR

(Medidas Canadianas)

(Velocidade do vento 0,61 m/s perpendicularmente ao cabo)

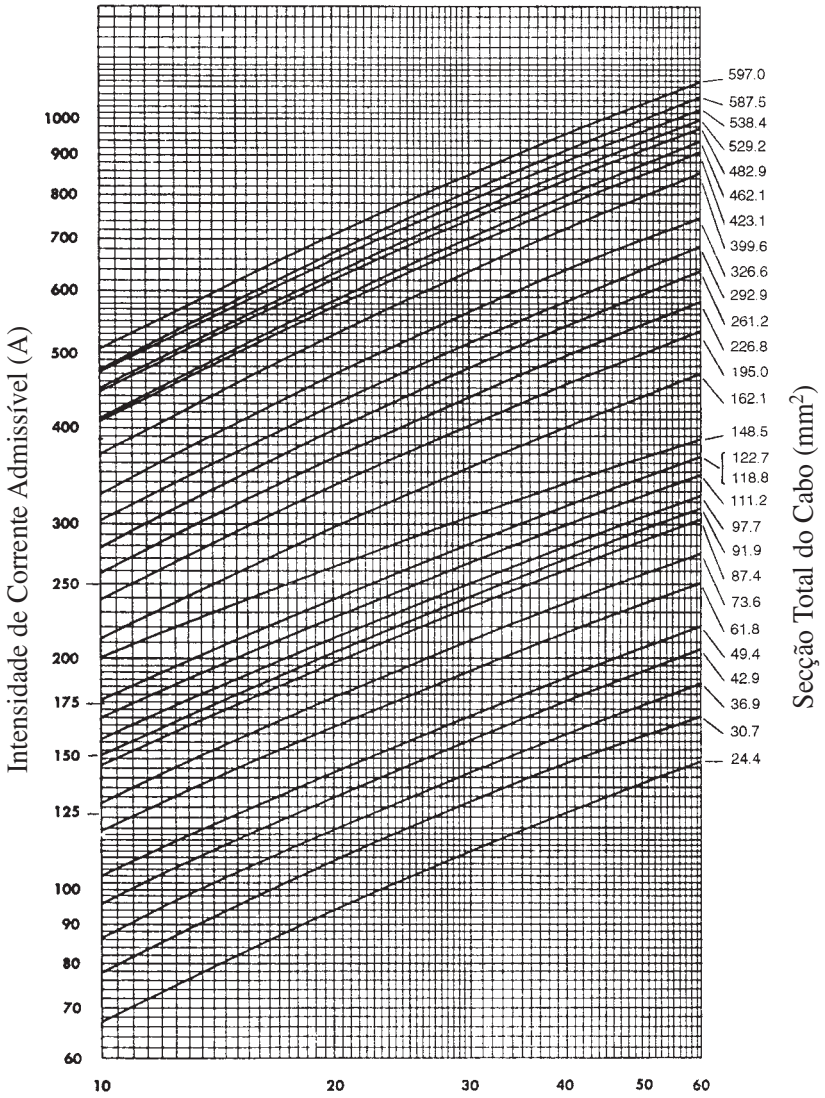


Elevação da Temperatura
(ºC acima de 40ºC ambiente)

Gráfico 21 - Curvas de Elevação da Temperatura dos Cabos ACSR

(Medidas Inglesas)

(Velocidade do vento 0,61 m/s perpendicularmente ao cabo)



Cabos de Guarda com Fibra Óptica Incorporada

Capítulo V.II

5.2- Cabos de Guarda com Fibra Óptica Incorporada*

5.2.1 - Fibra óptica: Conceitos básicos e perspectivas de evolução

5.2.1.1 - Introdução

A crescente procura de serviços multimédia verificada na última década, estimulou o desenvolvimento de infraestruturas suportadas por fibra óptica. Em paralelo, o desenvolvimento de equipamentos activos (amplificadores em fibra, multiplexadores, lasers DFB,...) associado a uma evolução da própria fibra óptica, optimizaram a exploração das capacidades intrínsecas a esta tecnologia: largura de banda, transparência protocolar e fiabilidade.

5.2.1.2 - Conceitos básicos

5.2.1.2.1 - Propagação do raio luminoso – análise geométrica

A transmissão de luz nas fibras ópticas, resulta de grosso modo de um processo de confinamento da mesma ao longo de guia de onda constituído por um cilindro de vidro central (núcleo – índice de refracção n_1), rodeado por um tubo do mesmo material base (bainha –índice de refracção n_2) mas com um índice de refracção ligeiramente inferior - Figura 27.

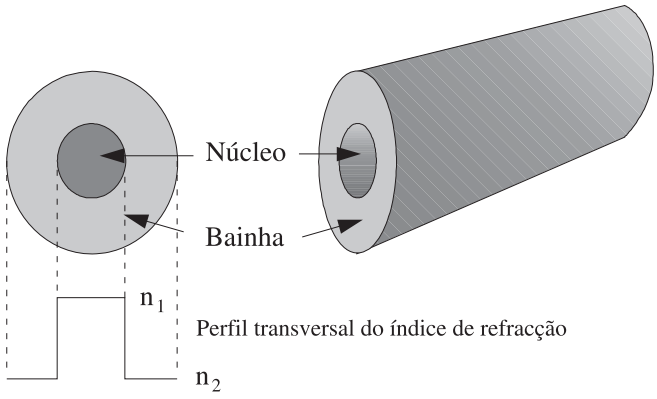


Figura 27 - Estrutura base de uma fibra óptica com um perfil de índice de refracção em degrau.

O confinamento é assegurado por um processo de reflexões internas totais na interface do núcleo com a baínha da fibra óptica (Figura 28).

* Também designado por O.P.G.W. (optical power ground wire).

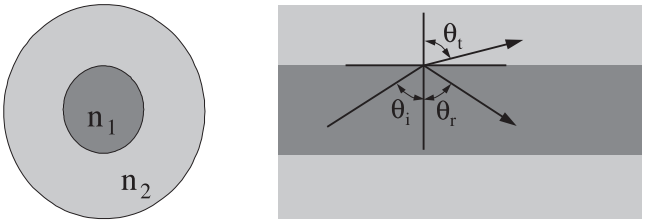


Figura 28 - Reflexão interna na interface núcleo/bainha.

Para um raio luminoso que se propaga de uma região de índice de refracção n_1 para uma outra região com um menor índice de refracção (n_2), a relação entre os ângulos apresentados na Figura 28 é dada pela Lei de Snell:

$$n_1 \sin(\theta_i) = n_2 \sin(\theta_t) \quad (1)$$

onde θ_i: ângulo de incidência

θ_t: ângulo de transmissão.

O limite da reflexão interna total ocorre quando θ_t=90º:

$$\sin(\theta_i) = \frac{n_2}{n_1} \quad (2)$$

Para esta situação limite o ângulo de incidência é designado por ângulo crítico θ_c. Assim a condição de propagação de um raio luminoso que incide na interface núcleo/bainha com um angulo θ é:

$$\sin(\theta) > \sin(\theta_c) \Rightarrow \theta > \theta_c \quad (3)$$

5.2.1.2.2 - Atenuação

Os mecanismos físicos básicos que contribuem para a atenuação da potência óptica transmitida ao longo da fibra são de grosso modo:

(i) Absorção intrínseca;

(ii) Absorção pelas impurezas;

(iii) Espalhamento (“Scattering”)

Quer a absorção devida aos materiais intrínsecos à própria fibra, quer a absorção associada à presença de água (iões OH^-) e de outras impurezas

inerentes ao processo de fabricação das fibras ópticas (tais como metais de transição – Fe, Cu, Ni,...), têm um comportamento espectral definido quer pela vibração atómica quer pela condição de ressonância electrónica associada a esse elemento.

O fenómeno de espalhamento de Rayleigh resulta de variações microscópicas (numa escala muito inferior ao comprimento de onda da luz) da densidade dos vários compostos utilizados na fabricação da fibra óptica. O comportamento espectral do coeficiente de atenuação associado a este fenómeno é dado por:

$$\alpha_{\text{Rayleigh}} = \frac{C}{\lambda^4} \tag{4}$$

onde C: constante intrínseca à fibra

λ: comprimento de onda

O coeficiente de atenuação total (α) para uma determinada fibra óptica é definido como:

$$P = P_0 \exp\left[-\alpha L\right] \tag{5}$$

onde P_0: potência óptica injectada na fibra

P: potência óptica no final de um percurso óptico de comprimento L

O comportamento espectral de uma fibra óptica é apresentado na Figura 29.

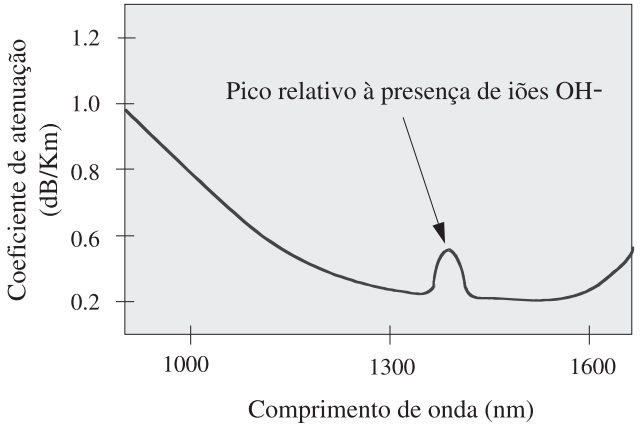


Figura 29. Comportamento espectral do coeficiente de atenuação de uma fibra óptica standard.

5.2.1.2.3 - Dispersão cromática

As várias componentes espectrais de um sinal óptico percorrem a mesma distância ao longo de uma fibra óptica em intervalos de tempo distintos. Numa fibra óptica multimodo este fenómeno é explicado pela propagação em diferentes modos com geometria de propagação distinta: dispersão inter-modal. No caso particular da propagação de um único modo – fibras monomodo, a dispersão do sinal resulta de aspectos intra-modais: Dispersão material e dispersão do guia de onda.

A dispersão material está associada à natureza multi-cromática de um determinado sinal óptico que se propaga ao longo de uma fibra. Como cada componente espectral deste sinal "vê" a fibra com um índice de refracção específico, a velocidade de propagação não é constante para a gama de comprimentos de onda em questão. Assim cada componente espectral deste sinal demora um determinado tempo a percorrer a via óptica, provocando o alargamento temporal do mesmo.

A dispersão do guia de onda é determinada pela fracção de luz propagada através da bainha, e como o índice de refracção da bainha é diferente do índice de refracção do núcleo, então os modos propagadores nestas duas regiões viajam com velocidade distintas.

A dispersão total para uma fibra monomodo é dada pelo somatório destes dois tipos de dispersão (Figura 30).

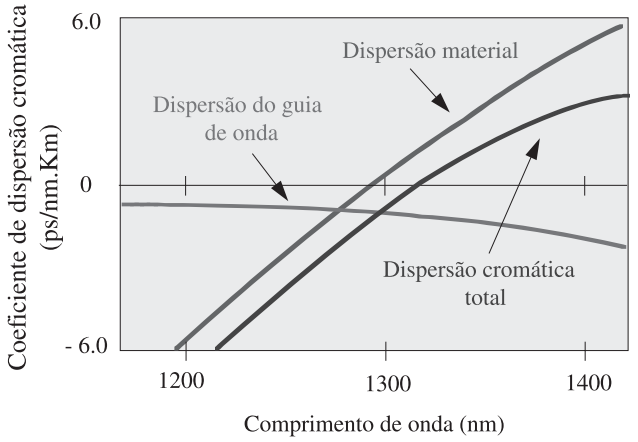


Figura 30 - Comportamento espectral das componentes da dispersão cromática.

5.2.1.2.4 - Dispersão modal de polarização (PMD)

Uma fibra óptica concebida para a propagação de um único modo (modo fundamental) não é verdadeiramente monomodo, já que na realidade esta fibra suporta dois modos degenerados polarizados num plano ortogonal ao eixo da fibra (Figura 31).

Numa situação ideal a fibra óptica seria um guia de onda com uma simetria perfeitamente circular e com um perfil de índices de refracção uniforme ao longo de toda a sua extensão. Na realidade as imperfeições inerentes ao processo de fabrico, bem como vários aspectos físicos (temperatura, tensões mecânicas,...) presentes ao longo do tempo de vida do cabo de fibra óptica, determinam um comportamento aleatório destas assimetrias. Assim os dois modos polarizados em planos ortogonais propagam-se com velocidades distintas, determinadas pela diferença entre os índices de refracção efectivos nestes dois planos. Esta diferença é conhecida por birrefringência:

$$B = n_x - n_y \tag{6}$$

n_i representa o índice de refracção efectivo no plano i.

A diferença entre as velocidades de propagação dos dois modos, determina um atraso temporal $\Delta\tau$ entre os dois ao fim de um percurso óptico com uma extensão L:

$$\Delta\tau = \left| \frac{L}{v_{g_x}} - \frac{L}{v_{g_y}} \right| = L\,\Delta\beta \tag{7}$$

onde v_{gi}: velocidade de grupo no eixo i

$\Delta\beta$: variação da constante de propagação associada à birrefringência.

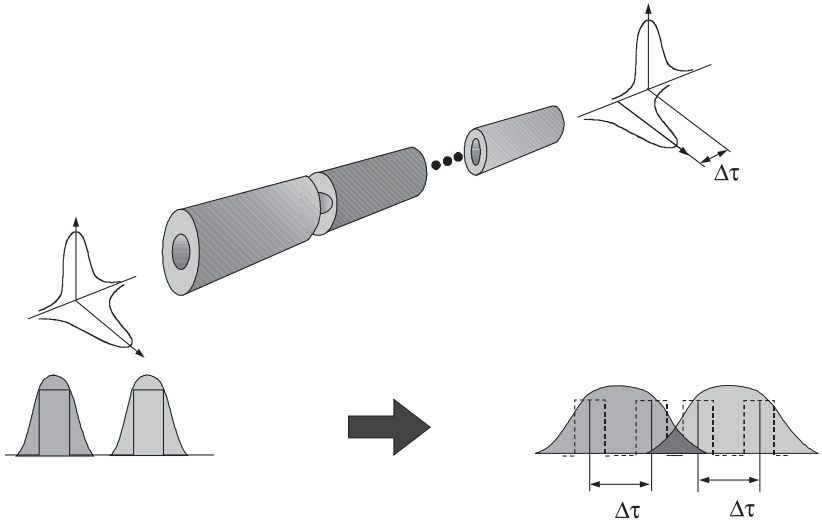


Figura 31 - A perspectiva de uma fibra óptica como uma sequência aleatória de vários elementoscom uma determinada birrefringência.

Como uma fibra óptica real pode ser considerada uma sequência aleatória de elementos com um birrefringência específica (Figura 31), a dispersão dos modos de polarização (PMD) resulta de uma análise estatística do comportamento de $\Delta\tau$. Devido ao seu carácter estatístico, o atraso entre os dois modos de polarização não tem um comportamento linear relativamente ao comprimento da fibra. Assim a unidade indicada para o valor do PMD é dada em ps/√km.

Os efeitos mais nefastos do PMD resultam do alargamento dos impulsos ópticos num sistema de telecomunicações digitais por fibra óptica. Este fenómeno pode provocar interferências inter-digitais, resultando num aumento significativo do BER ("Bit-error-rate"). Uma boa regra para evitar este tipo de situações consiste em manter o valor de $\Delta\tau$ em níveis inferiores a 10% do período do bit. O gráfico 22 apresenta os níveis máximos de dispersão para vários tributários de uma arquitectura SDH ("Synchronous Digital Hierarchy").

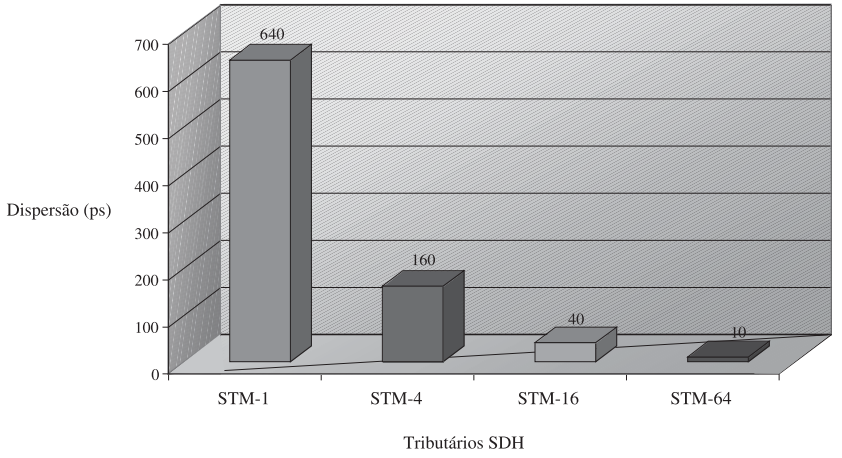


Gráfico 22 - Dispersão máxima para várias taxas de débito.

5.2.1.3 - Evolução da fibra óptica

A explosão do número de utilizadores da Internet em meados nos anos 90, desencadeou nos operadores de telecomunicações uma procura de soluções que permitissem optimizar a capacidade das fibras e a redução do número de conversores óptico/eléctrico/óptico nas rotas implementadas.

Numa fibra monomodo standard (ITU-T G.652) os valores mais baixo de atenuação encontram-se na janela de 1550 nm, enquanto que os níveis de dispersão cromática são mínimos na janela de 1310 nm. Assim, e embora a janela de 1550 nm permita reduzir o número de amplificadores de sinal em relação à janela de 1310 nm, esta última garante um maior débito (maior

número de canais) para uma mesma distância entre regeneradores de sinal. A situação ideal seria conciliar numa mesma janela estas duas valências.

A primeira abordagem surgiu com a fibra monomodo com dispersão deslocada (ITU-T G.653), cuja construção permitia deslocar para a janela de 1550 nm os comprimentos de onda com dispersão cromática nula (Figura 32).

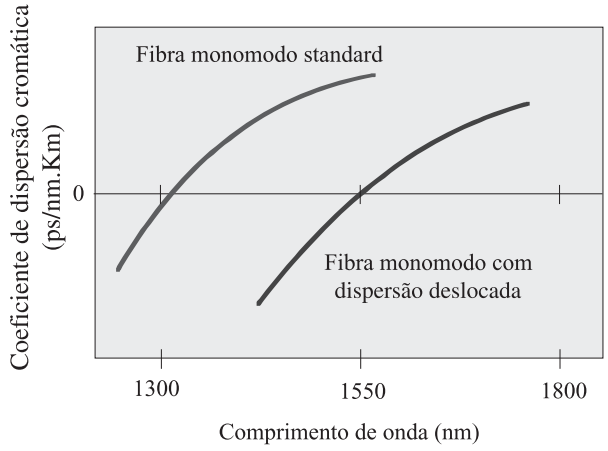


Figura 32 - Curvas de dispersão – fibra monomodo standard e com dispersão deslocada.

O advento da tecnologia de amplificadores em fibra dopada com Érbio (EDFA) e a utilização de arquitecturas com multiplexagem em comprimento de onda (WDM), permitiu aumentar significativamente a distância entre os conversores óptico/eléctrico, e um melhor aproveitamento da largura de banda, respectivamente.

No entanto o resultado da conjugação destas duas tecnologias, revelou-se incompatível com a utilização das fibras ópticas monomodo com dispersão deslocada. Isto porque os efeitos não lineares associados aos elevados níveis de potência óptica gerados pelos EDFAs, revelaram-se incompatíveis com a utilização de arquitecturas WDM e particularmente DWDM ("Dense Wavelength Division Multiplexing"). De todos os efeitos não lineares, o fenómeno conhecido como "Four Wave Mixing" (FWM) é o mais prejudicial para arquitecturas DWDM com canais equiespaçados. Este fenómeno é responsável pelo aparecimento de réplicas da sequência dos canais originais deslocadas em comprimento de onda (Figura 33). Os efeitos são particularmente acentuados quando os novos canais se propagam à mesma velocidade dos canais originais, situação natural quando a distribuição espectral destes canais coincide com a janela de dispersão cromática nula.

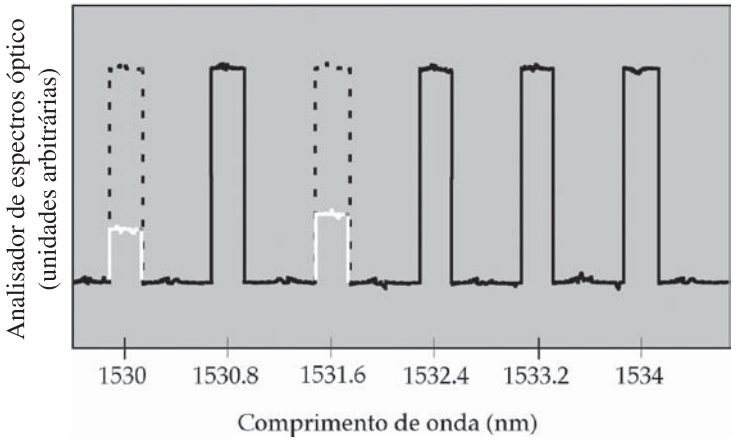


Figura 33 - Sistema de 6 canais DWDM a 100 GHz. Os canais a 1530 nm e 1531.6 nm estão a tracejado de forma a visualizar os sinais parasitas gerados por FWM (mais claro).

Com o intuito de minimizar estes efeitos, surgiu em meados dos anos 90 uma nova fibra monomodo com dispersão deslocada, mas com o comprimento de onda de dispersão nula deslocado da zona de operação – NZDSF ("Non-Zero Dispersion Shifted Fiber"). Neste tipo de fibra óptica o comprimento de onda de corte de dispersão cromática nula é desviado da gama de funcionamento dos EDFA, de forma a introduzir uma ligeira dispersão suficiente para limitar fenómenos como o FWM (Figura 34).

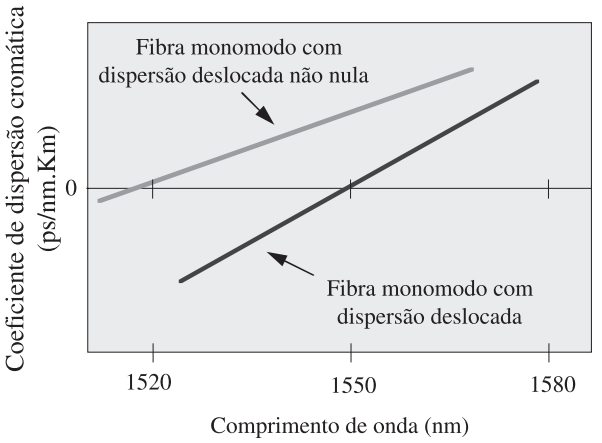


Figura 34: Dispersão cromática deslocada para a janela de 1550 nm.

Mais recentemente o desenvolvimento de uma nova versão da NZDSF com um maior núcleo LCF ("Large Core Fibers"), permitiu uma redução adicional dos efeitos não lineares através da diminuição da densidade de potência no núcleo das fibras.

5.2.2 - Fundamentos de reflectometria óptica temporal (OTDR)

5.2.2.1 - Introdução

Desde o seu aparecimento na década de 70, o OTDR ("Optical Time Domain Reflectometer") tornou-se um dos instrumentos mais versáteis na caracterização de fibras e redes ópticas.

O seu funcionamento pode ser entendido como um "radar" óptico que envia impulsos de luz para uma fibra óptica, para depois recolher informação de uma pequena fracção dessa luz que é reflectida na sua direcção. A informação obtida desta forma permite elaborar um diagrama da potência óptica reflectida em função da distância. O OTDR determina a posição do acontecimento reflectivo a partir tempo de vôo dos impulsos de luz (OTDR→acontecimento→OTDR), e do valor da velocidade de propagação da luz na fibra (determinada pelo conhecimento do índice de refracção do núcleo da fibra):

$$L = \frac{c\,t}{2n} \qquad (1)$$

onde: t – tempo de vôo do impulso óptico, c – velocidade da luz no vazio ($\cong 3 \times 10^8\ m/s$), e n – índice de refracção da fibra.

O diagrama da distribuição espacial de potência óptica é frequentemente denominado por padrão de "backscatter", ou "assinatura" do percurso óptico.

5.2.2.2 - Princípio de funcionamento

Uma fonte de luz (LASER) envia impulsos de luz de alta potência e curta duração (10 ns – 10 μs), para a fibra óptica a testar. Uma fracção muito pequena desta radiação é reflectida na direcção do OTDR onde é captada por um detector de elevada sensibilidade (Figura 35).

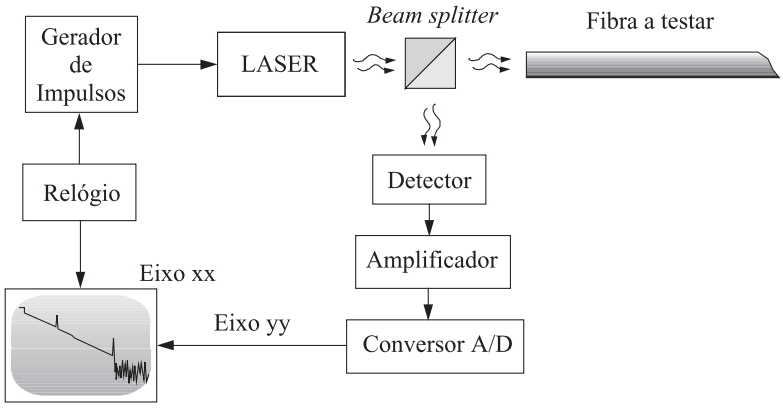


Figura 35. Diagrama de blocos genérico de um OTDR.

O monitor do OTDR mostra a curva da potência reflectida em função da distância. A partir desta distribuição espacial de potência é possivel calcular a perda introduzida entre dois pontos, e o valor do coeficiente de atenuação (obtido pela razão: perda de potência/distância). A Figura 36 mostra um padrão de "backscatter" genérico, no qual podemos distinguir dois tipos de acontecimentos: os reflectivos - associados a descontinuidades do índice de refracção que provocam reflexões de Fresnel (conectores, interfaces fibra-ar, etc); e os não-reflectivos – acontecimentos responsáveis pela introdução de perdas num percurso óptico sem descontinuidades (micro-curvaturas, juntas por fusão, etc).

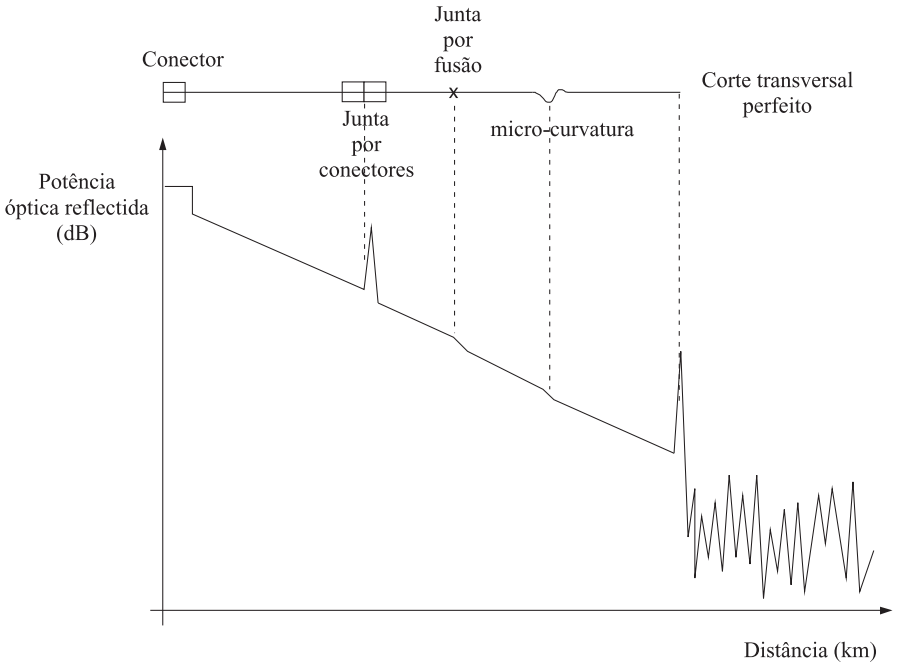


Figura 36 - Alguns dos acontecimentos mais vulgares numa fibra óptica, e respectivas assinaturas no padrão de "backscatter".

A ligação entre estes acontecimentos é feita por patamares de decaimento uniforme de potência óptica, provocados por um fenómeno de dispersão de luz que está na base do princípio de funcionamento do próprio OTDR. A diferença entre os níveis de potência destes patamares imediatamente antes e depois de um dado acontecimento determina o valor da perda introduzida (Figura 37).

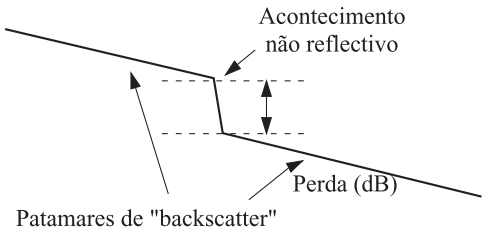


Figura 37. "Assinatura" característica de um acontecimento não reflectivo (p.e. junta por fusão).

5.2.2.3 - Parâmetros que condicionam a medição

5.2.2.3.1. Banda dinâmica

A banda dinâmica é uma espécie de figura de mérito utilizada para indicar a capacidade de medida de um OTDR. Uma banda dinâmica superior permite monitorar troços de fibra mais longos, e consequentemente detectar acontecimentos normalmente ocultados pelo ruído electrónico.

Por definição a banda dinâmica para um dado comprimento de onda de funcionamento e largura dos impulsos ópticos, corresponde à diferença (em décibeis) entre o nível inicial da potência óptica reflectida e o patamar de ruído. Esta diferença pode ser especificada em relação ao valor RMS ("root-mean-square") do patamar de ruído ou em relação ao seu valor de pico (Figura 38).

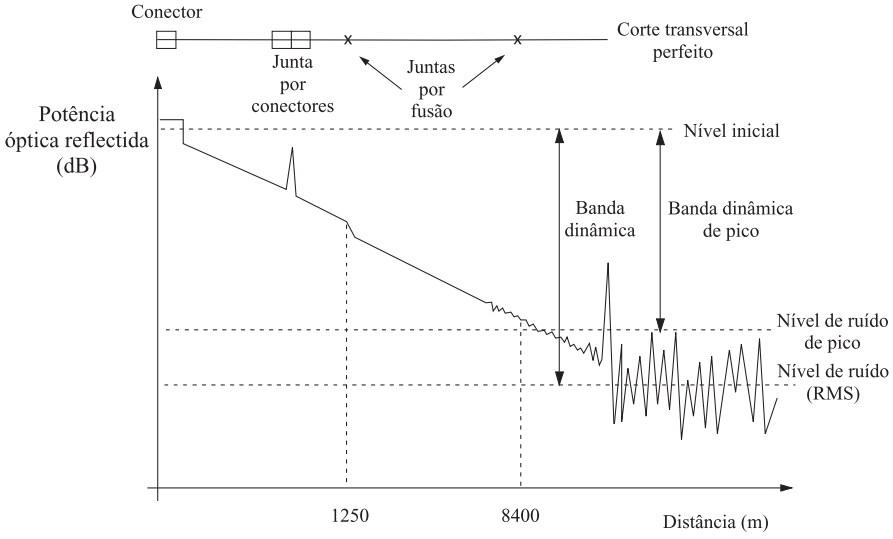


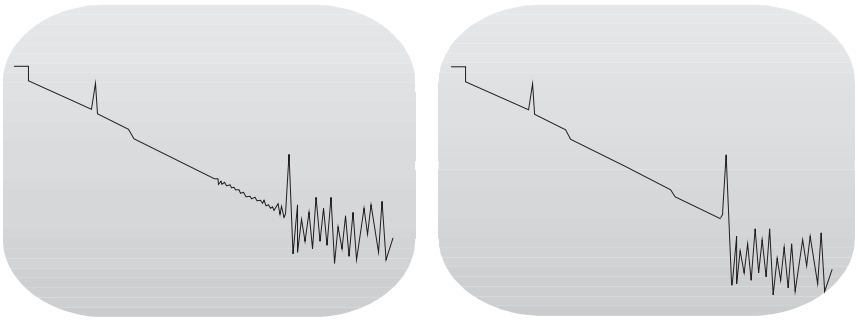
Figura 38 - Padrão de "backscatter" registado num OTDR sem banda dinâmica suficiente.

A figura 38 mostra um padrão de "backscatter", no qual a diferença entre o nível do sinal reflectido pela extremidade da fibra mais afastada do OTDR e o patamar de ruído, é de tal maneira reduzida que não permite tirar conclusões fundamentadas em relação a possíveis acontecimentos nessa zona (por exemplo a junta por fusão situada a 8400 metros do OTDR não é visível). Para optimizar a banda dinâmica de um OTDR é necessário reduzir o patamar de ruído, e/ou aumentar a potência do sinal injectado de forma a melhorar a relação sinal-ruído. No caso do operador do OTDR optar pela primeira solução deverá aumentar a duração do tempo de aquisição, aproveitando desta forma a natureza aleatória do ruído. Na segunda opção o operador deverá aumentar a largura do impulso óptico injectado pelo OTDR na fibra.

5.2.2.3.1.1 - Duração do tempo de aquisição

A sequência de impulsos reflectidos permite ao OTDR recolher durante um intervalo de tempo pré-determinado um certo número de valores de potência relativos a várias posições ao longo da fibra. O processador de sinal do OTDR realiza então uma média dos valores correspontes a uma determinada posição enquanto calcula a respectiva localização na fibra.

Devido ao seu comportamento aleatório o ruído pode ser atenuado realizando várias médias sobre os vários valores de potência reflectida em função da distância. Desta forma, ao aumentar o tempo de aquisição do OTDR, o operador optimiza a relação sinal-ruído, obtendo um padrão de "backscatter" de melhor qualidade (Figura 39).



Após 30 segundos Após 2 minutos

Figura 39 - O padrão de "backscatter" em função do tempo de aquisição.

5.2.2.3.1.2 - Largura do impulso óptico

No ponto anterior foi discutido como a duração do tempo de aquisição pode influenciar a relação sinal-ruído da medição. Uma forma alternativa de obter

resultados semelhantes, consiste em melhorar o nível da potência óptica que chega ao detector do OTDR, aumentando a potência injectada na fibra. Para tal, o operador deve optimizar as condições de injecção da luz na fibra, prestando particular atenção à qualidade das juntas por conectores ou outros dispositivos que estabelecem a ligação óptica entre o OTDR e a fibra a testar.

Depois deste procedimento (efectuado para cada medição) o operador pode ainda selecionar impulsos ópticos de maior duração (Figura 40). Esta opção permite melhorar a relação sinal-ruído sem dispender o tempo exigido pela solução discutida no ponto anterior. No entanto o operador deverá ter em conta a relação de compromisso entre a melhoria da banda dinâmica e a perda de resolução, que esta solução impõe (este problema é discutido no ponto 5.2.2.3.2).

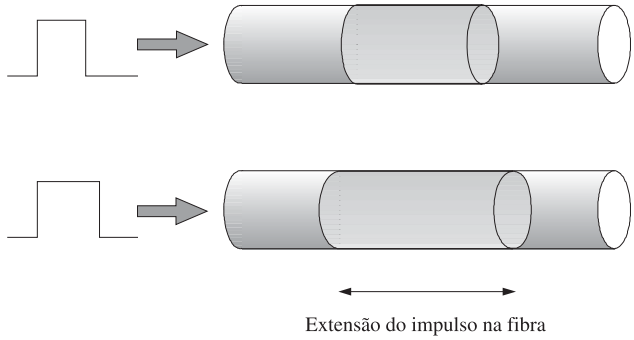


Figura 40 - Distribuição espacial de diferentes impulsos ópticos na fibra.

5.2.2.3.2 - Resolução espacial, zona morta

Enquanto que a banda dinâmica determina a extensão máxima da fibra a testar, a zona morta define a capacidade do OTDR distinguir dois acontecimentos sucessivos. As zonas mortas representam intervalos de tempo (posteriormente convertidos em distâncias) em que o detector do OTDR permanece saturado. O sistema de detecção óptica do OTDR é concebido para um regime de funcionamento com níveis de potência muito baixos. Assim qualquer acontecimento associado a fortes reflexões (por exemplo, reflexões de Fresnel em juntas por conectores, cortes perfeitos da fibra, etc) provoca um súbito pico de potência que é suficiente para saturar o detector. Após a saturação o detector demora ainda um certo tempo para recuperar, o que aumenta a extensão da zona morta.

Existem duas definições para zona morta (Figura 41):

(i) zona morta de atenuação: distância entre o ínicio da reflexão e o ponto onde o detector recupera até 0.5 dB em relação ao patamar de "backscatter". Este é o ponto a partir do qual o OTDR recupera a capacidade de medir a atenuação e as perdas;

(ii) zona morta de um acontecimento: distância entre o início da reflexão e o ponto onde o detector recupera 1.5 dB em relação ao pico de reflexão. A partir deste ponto o OTDR ainda não consegue medir atenuação mas já é possivel identificar uma segunda reflexão.

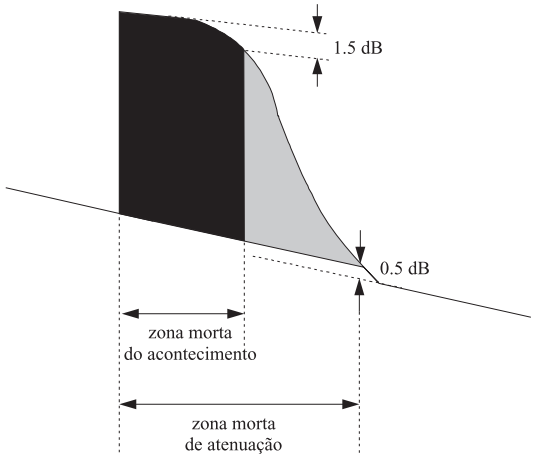


Figura 41 - Zona morta de um acontecimento reflectivo.

A zona morta determina a capacidade do OTDR em distinguir dois acontecimentos sucessivos, definindo desta forma a sua resolução espacial. A resolução espacial de dois pontos consecutivos é definida como:

$$\Delta z = \frac{\tau c}{2n} \qquad (2)$$

onde: t – largura do impulso óptico;

c – velocidade da luz no vazio ($\cong 3 \times 10^8\ m/s$);

n – índice de refracção da fibra.

No entanto esta expressão só é válida para impulsos ópticos com uma forma rectangular, nos quais a largura determina a resolução máxima. Para determinar o valor exacto da resolução é necessário ter em conta a largura de banda do detector e os intervalos de amostragem.

Tal como indica a expressão (2) a resolução espacial é de grosso modo definida pela largura dos impulsos ópticos. Assim para melhorar a resolução do OTDR o operador pode selecionar impulsos mais estreitos, na condição da

potência óptica associada permitir ainda uma banda dinâmica suficiente para uma medição correcta.

Na Figura 42 está representado o resultado da monitorização de uma fibra, com impulsos ópticos de larguras distintas. Os impulsos mais estreitos (Figura 42.a) permitem ao operador distinguir dois acontecimentos próximos, no entanto na última metade da extensão de fibra a relação sinal-ruído degrada-se consideravelmente. Ao contrário, na Figura 42.b, ao utilizar impulsos mais largos o operador consegue ver a totalidade da fibra, mas os dois acontecimentos vizinhos deixam de ser perceptíveis.

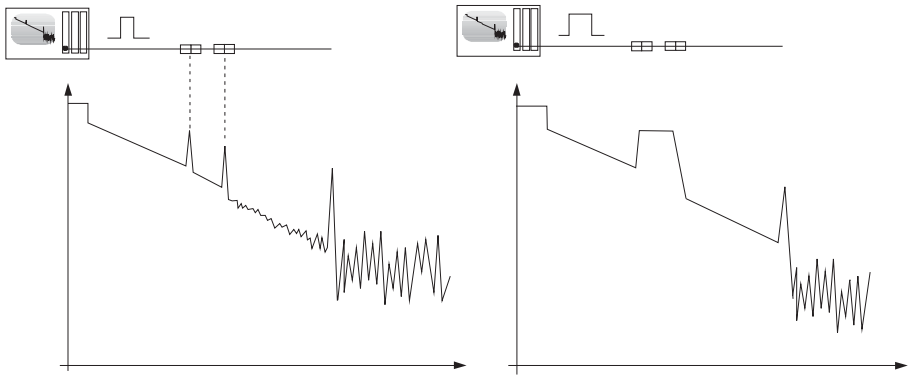


Figura 42 - Impulsos mais estreitos (a) garantem melhor resolução mas prejudicam a banda dinâmica; enquanto que os impulsos mais largos optimizam a banda dinâmica mas não permitem ao OTDR distinguir dois acontecimentos vizinhos.

Os impulsos ópticos mais largos provocam o aumento das zonas mortas limitando desta forma a capacidade do OTDR distinguir dois acontecimentos muito próximos.

5.2.2.4 - Análise bi-direccional

O OTDR apresenta frequentemente valores de atenuação distintos em medições realizadas nas duas extremidades da mesma fibra. Da mesma forma, é vulgar surgirem no monitor do OTDR juntas por fusão que apresentam um "ganho" e não perda! O que não deixa de ser estranho para um operador de OTDR desprevenido, sensibilizado para o facto da intensidade da luz reflectida diminuir em função da distância.

Para um fibra com um perfil de índices de refracção em degrau, e admitindo um comportamento linear na transmissão de potência óptica, a intensidade (S) da luz recolhida pelo OTDR por "Rayleigh scattering" é dada pela seguinte expressão (Brinkmeyer, 1980):

$$S = 0.038\left(\frac{\lambda}{n_1\omega^2}\right)^2 \qquad (3)$$

em que, l: comprimento de onda, n_1: índice de refracção do núcleo da fibra, e w a largura do campo modal.

Assim a intensidade do sinal recolhido pelo OTDR depende de factores sujeitos a variações impostas pelas condições ambientais, o que justifica o facto da mesma fibra apresentar valores de coeficiente de atenuação distintos. No caso particular de uma junta entre duas fibras com diâmetros modais ligeiramente diferentes, as condições de reflexão a montante da mesma serão diferentes das condições encontradas a jusante. Quando o factor S da fibra a jusante da junta for superior ao da fibra a montante, então o padrão do OTDR apresentará um "ganho". Da mesma forma, ao colocar o OTDR na outra extremidade da fibra, o padrão resultante apresentará neste ponto uma perda exagerada (Figura 43). Para eliminar este problema o operador deverá realizar um teste bi-direccional, colocando o OTDR nas duas extremidades da fibra óptica a testar. O valor correcto das perdas na junta por fusão é obtido pela média dos valores obtidos em cada medição.

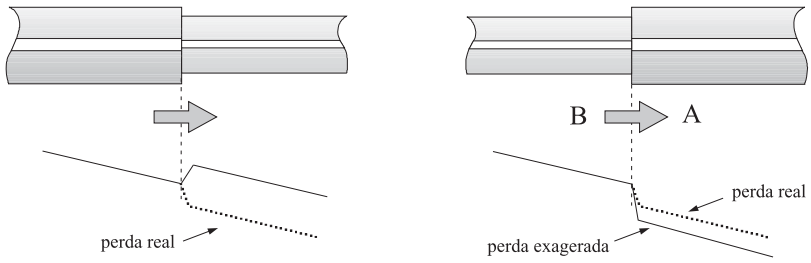


Figura 43 - A influência de diferentes propriedades de "backscattering" no cálculo das perdas em juntas por fusão.

Outro tipo de fenómeno vulgar nos testes realizados com um OTDR, é conhecido como acontecimento "0 dB". Estes acontecimentos são basicamente um "ganho" aparente em que o acréscimo de potência compensa as perdas reais, fazendo desaparecer a junta do padrão de "backscatter" apresentado pelo OTDR. Novamente, um teste bi-direccional permite revelar a localização da junta por fusão.

A análise bi-direccional permite ainda detectar acontecimentos até aí ocultados na zona morta de um acontecimento reflectivo. O detector satura com o pico de Fresnel desse acontecimento, fica temporariamente "cego" e não consegue detectar os acontecimentos imediatamente a jusante.

Para além de garantir medições de atenuação mais rigorosas, uma análise bi-direccional permite ainda testar extensões de fibra superiores às permitidas pela banda dinâmica do OTDR disponível. De facto, os padrões obtidos das duas extremidades da fibra, podem ser colocados topo-a-topo de forma a caracterizar a totalidade do troço de fibra óptica (Figura 44).

Regra geral o próprio OTDR permite o alinhamento dos acontecimentos registados numa determinada direcção com os obtidos na direcção oposta. Na sequência desta operação, é elaborada uma tabela com os valores médios da atenuação para cada acontecimento, e respectiva localização.

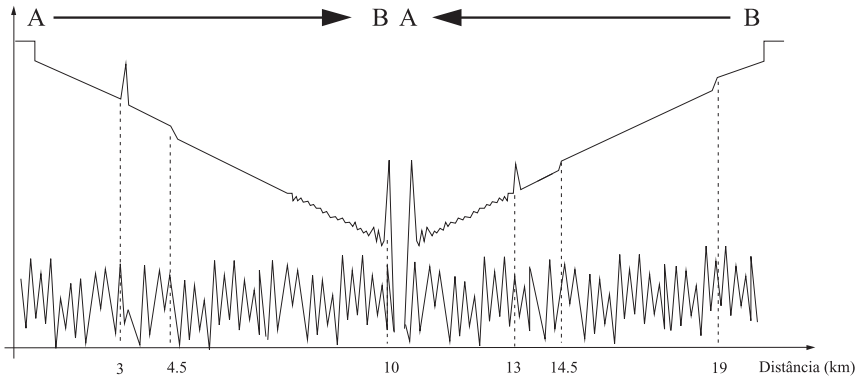


Figura 44 - As duas curvas do padrão de "backscatter" de uma fibra, obtidas por um teste bi-direccional.

5.2.2.5 - Ecos

Todos os impulsos ópticos que regressam ao OTDR são parcialmente reflectidos no seu conector de entrada, e injectados de novo na fibra a testar. Regra geral estes impulsos são de baixa intensidade sendo eliminados depois de percorridos alguns metros de fibra. Existem no entanto situações que implicam o aparecimento de fortes reflexões de Fresnel, com energia suficiente para serem reflectidas no conector de entrada do OTDR e provocar o aparecimento no padrão de "backscatter" de uma repetição ou eco, localizado numa distância múltipla ao acontecimento reflectivo que a provocou (Figura 45). Estas imagens "fantasma" podem ser eliminadas colocando um gel com índice de refracção semelhante ao do núcleo da fibra ("index matching gel"), nas juntas com descontinuidades físicas responsáveis por reflexões de Fresnel.

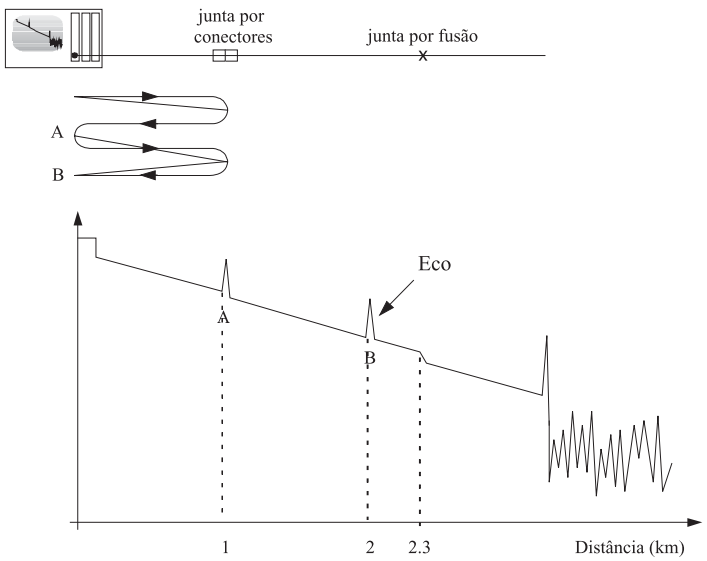


Figura 45 - Uma forte reflexão no ponto A (junta por conectores) provoca o aparecimento de uma imagem "fantasma" no ponto B (situado no dobro da distância de A).

5.2.3 - O desenho de cabos OPGW e a sua influência no desempenho mecânico das fibras ópticas

A componente eléctrica/mecânica dos cabos OPGW deverá prever a salvaguarda do desempenho da componente óptica dos mesmos. Assim a sua concepção deverá minimizar a tensão mecânica nas fibras resultante de fenómenos mecânicos/térmicos. A especificidade do desenho de um cabo OPGW é determinada pela unidade óptica, já que a componente eléctrica/mecânica é normalmente assegurada por uma combinação de fios de liga de alumínio e fios de aço cobertos por uma película de alumínio (ACS).
Para um dos mais populares modelos de cabo OPGW, a unidade óptica resulta da introdução no processo de cablagem de um tubo de aço-inox com fibras ópticas, em substituição de um dos fios da(s) camada(s) interior(s) do cabo (p.e. o desenho da Figura 46).

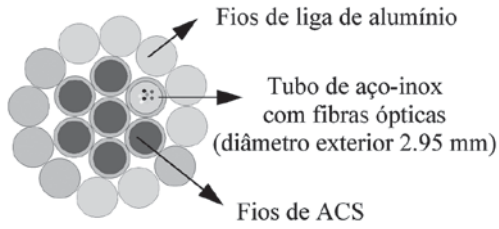


Figura 46. Cabo OPGW com tubo de aço-inox com fibras ópticas incorporadas.

A cablagem do tubo de aço-inox impõe uma trajectória em hélice para as fibras ópticas. Esta hélice determina a presença de um nível residual de tensão mecânica resultado da curvatura.
Para uma espiral com um diâmetro D, a deformação imposta pelo raio de curvatura é dado pela seguinte equação:

$$\varepsilon(\%) = 100 \times \frac{d}{D\left[1+\left(\frac{P}{\pi D}\right)^2\right]} \qquad (1)$$

na qual d representa o diâmetro da fibra de vidro (mm) e P o passo da hélice (mm).
A tensão mecânica resultante é:

$$\sigma = E_0\,\varepsilon\left(1+0.375\,\alpha\,\varepsilon\right) \qquad (2)$$

Em que E_0 representa o módulo de elasticidade inicial da fibra (72 GPa) e α um factor de correcção relativo ao comportamento não-linear da relação tensão/deformação (tipicamente $\alpha = 6$).
A equação 2 permite avaliar o comportamento da tensão na fibra em função do passo de cablagem dos tubos e do diâmetro da respectiva hélice. O diâmetro da hélice descrita pelas fibras no interior do tubo de aço-inox na solução representada na Figura 1 estará dentro do intervalo: 3.65 mm < D < 8.25 mm. Assim para um passo de cablagem entre 90 mm e 130 mm, a tensão mecânica por curvatura nas fibras é representada pelo gráfico 23.

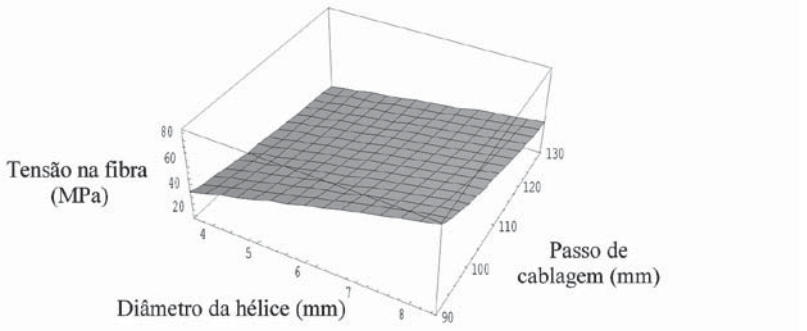


Gráfico 23 - Nível de tensão nas fibras em função do passo de cablagem do tubo de aço-inox e diâmetro da hélice, para o cabo OPGW descrito na Figura 46

As gamas de passos de hélice sugeridas, enquadram-se dentro das práticas industriais correntes para este tipo de cabo OPGW, assim como na perspectiva da obtenção de um excesso de fibra relativamente ao comprimento linear do cabo compatível com a margem de alongamento/contracção perspectivado para o cabo durante a sua vida útil.
A tensão mecânica nas fibras deve ser mantida abaixo de um nível de segurança definido pelo proof-test das fibras e por processos de fadiga resultantes da propagação de micro-fissuras no vidro. É prática corrente considerar um nível de segurança correspondente a 1/5 do valor do proof-test das fibras. Para fibras submetidas a uma tensão de proof-test de 700 MPa, o nível de tensão nas fibras durante o seu tempo de vida deverá ser mantido abaixo de 140 MPa.

O eventual alongamento/deformação das fibras durante o tempo de vida do cabo poderá ser minimizado, dotando a unidade óptica com um excesso de fibra relativamente ao comprimento linear do cabo suficiente para absorver as deformações temporárias e permanentes do mesmo. A redução do passo da hélice dos tubos ópticos permite optimizar o valor do excesso de fibra relativamente ao comprimento linear de cabo.
Tal como indica o Gráfico 23, o valor da tensão mecânica introduzida nas fibras ópticas devido à hélice imposta pelos passos de cablagem mais curtos é bastante inferior ao limite de segurança (140 MPa)

Quadro 94 - Características Técnicas dos Cabos OPGW (núcleo óptico em ACS)

Designação	Area (mm2)			Nº de fios			Diametro fios (mm)			Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final N/mm²	Coeficiente linear de expansão 1/K	Corrente máxima de defeito suportavel (1) kA².s
Nova	Liga	ACS	Total	Liga	ACS	Tubos	Liga	ACS	Tubo	alma	cabo						
92-AL3/28-A20SA/ST - 48 fo	91,9	28,3	120,2	13	4	2	3,00	3,00	2,95	9,00	15,0	476,0	61,00	0,3230	80.100	18,2E-6	**116**
92-AL3/35-A20SA/ST - 24 fo	91,9	35,3	127,2	13	5	1	3,00	3,00	2,95	9,00	15,0	506,0	61,00	0,3230	80.100	17,7E-6	**127**
91-AL2/38-A20SA/ACST - 40 fo	90,6	37,7	128,3	12	5	2	3,10	3,10	3,00	9,30	15,5	541,0	74,70	0,3190	86.400	17,5E-6	**127**
91-AL2/45-A20SA/ACST - 16 fo	90,6	45,3	135,9	12	6	1	3,10	3,10	3,00	9,30	15,5	571,0	81,10	0,3080	90.600	17,0E-6	**194**
92-AL2/57-A20SA/ST - 48 fo	92,4	57,0	149,4	15	7	1	2,80	3,22	4,20	10,6	16,2	663,0	98,40	0,2930	95.800	16,5E-6	**165**
100-AL3/50-A20SA/ACST - 24 fo	99,5	49,8	149,3	12	6	1	3,25	3,25	3,20	9,8	16,3	628,0	89,10	0,2800	90.600	17,0E-6	**170**
125-AL3/48-A20SA/ST - 24 fo	125,1	48,1	173,2	13	5	1	3,50	3,50	3,45	10,50	17,5	687,0	91,70	0,2310	84.700	17,7E-6	**321**
204-AL5/34-A20SA/ST - 36 fo	203,7	33,9	237,6	30	5	2	2,94	2,94	2,90	8,82	20,6	822,0	100,80	0,1450	70.300	19,7E-6	**504**

Quadro 95 - Características Técnicas dos Cabos OPGW (núcleo óptico em ST)

Designação	Area (mm2)			Nº de fios			Diametro fios (mm)			Diametro (mm)		Massa por unidade de comprimento (kg/km)	Carga de Rotura Nominal (kN)	Resistência Eléctrica máxima a 20°C (Ω/km)	Modulo de Elasticidade Final N/mm²	Coeficiente linear de expansão 1/K	Corrente máxima de defeito suportavel (1) kA².s
Nova	Liga	Aço	Total	Liga	Aço	Tubos	Liga	Aço	Tubo	alma	cabo						
204-AL5/41-STIA/ST - 24 fo	203,7	40,7	244,4	30	6	1	2,94	2,94	2,90	8,82	20,6	901,0	106,50	0,1530	77.500	18,3E-6	**519**

Nota: O sentido de cableamento da última camada será à direita (Z).

(1) - Os valores da Corrente máxima de defeito suportável são meramente indicativos e foram calculados para elevações de temperatura de 30 a 180°.

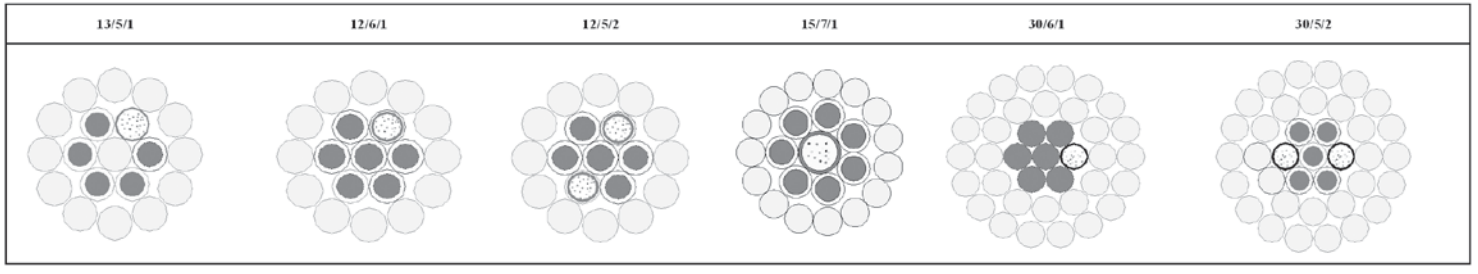


Figura 47 - Diversas composições dos Cabos OPGW

Cabos Isolados de Baixa Tensão

Capítulo V.III

5.3 - Cabos Isolados de Baixa Tensão

5.3.1 - Cabos com Alma Condutora de Alumínio

A – Condutores Cableados (Classe 2)

As almas condutoras, circulares ou sectoriais, são normalmente compactadas.

A forma sectorial só pode ser utilizada nas secções nominais de pelo menos 25 mm2.

B – Condutores maciços (Classe 1)

As almas maciças, de secções entre 10 e 35 mm2 devem ser circulares; de secções superiores a 35 mm2 devem ser circulares para cabos monocondutores e circulares ou sectoriais para multicondutores.

Há ainda, no caso dos monocondutores, as almas multisectoriais constituídas por 4 perfis sectoriais maciços de 90°, cableados entre si (ex. 4x95=380 mm2

1 - Cabos não Armados do Tipo LVV, LSVV, LXV, LSXV

Normas de fabrico: CEI 60502 - 1; HD 603 S1

Tensão estipulada: 0,6 /lkV

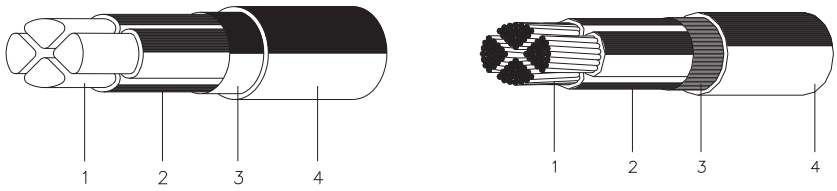


Figura 48 - Cabos isolados de baixa tensão com alma de Alumínio não armados

Descrição:

1- Alma condutora da classe 2 (LVV,LXV) ou da classe 1 (LSVV, LSXV)
2 - Isolamento a PVC (LVV, LSVV) ou a PEX (LXV,LSXV)
3 - Fita cintagem (Poliester)
4 - Bainha exterior em PVC

Utilização:

Transporte e distribuição de energia. Os cabos LSVV monocondutores encontram grande aplicação nas canalizações de baixa tensão, entre os terminais do transformadores e os quadros gerais de B T.

Quadro 96 - Características Dimensionais
Condutores Multifilares (LVV)

Secção (mm^2)	Espessura Nominal do Isolamento (mm)	1 Condutor		2 Condutores		3 Condutores		4 Condutores	
		Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)
16	1,0	10,5	140	18,4	340	19,5	420	21,0	500
25	1,2	12,1	190	21,0	450	23,0	560	23,4	600
35	1,2	13,2	230	18,5	440	21,6	600	24,3	700
50	1,4	14,7	290	21,2	560	25,1	800	28,5	950
70	1,4	16,4	380	24,0	750	27,9	1050	31,8	1200
95	1,6	18,6	480	27,0	970	31,4	1350	36,7	1650
120	1,6	20,2	570	29,0	1150	34,7	1600	39,6	2000
150	1,8	22,0	660	31,9	1400	38,4	2000	44,6	2350
185	2,0	24,6	850	35,4	1700	42,1	2400	49,0	2900
240	2,2	27,4	1050	39,5	2150	47,8	3100	55,5	3800
300	2,4	30,1	1300	44,2	2700	52,6	3800	61,0	4600
400	2,6	33,9	1650	49,6	3300	60,2	4900	69,5	5800
500	2,8	37,2	2000	—	—	—	—	—	—
630	2,8	42,5	2500	—	—	—	—	—	—

Quadro 97 - Condutores Sólidos (LSVV)

Secção (mm^2)	Espessura Nominal do Isolamento (mm)	1 Condutor		2 Condutores		3 Condutores		4 Condutores	
		Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)
16	1,0	10,1	140	13,7	240	15,8	330	17,6	420
25	1,2	11,7	190	16,0	340	18,6	470	20,9	600
35	1,2	12,7	230	17,5	420	20,4	580	23,4	770
50	1,4	14,4	300	20,0	550	23,7	780	27,0	1000
70	1,4	15,9	380	22,5	710	26,4	1000	29,8	1300
95	1,6	17,8	470	25,4	930	30,0	1320	34,4	1750
120	1,6	19,2	570	27,2	1100	32,8	1600	37,2	2100
150	1,8	21,0	690	30,1	1250	36,1	1950	41,9	2600
185	2,0	23,4	850	34,4	1660	39,6	2350	45,7	3200
240	2,2	—	—	37,1	2100	45,0	3100	52,0	4100
280	2,4	28,3	1250	—	—	—	—	—	—
300	2,6	—	—	41,6	2600	49,4	3750	57,1	5000
380	2,6	31,9	1580	—	—	—	—	—	—
480	2,8	35,5	2000	—	—	—	—	—	—
600	2,8	38,4	2350	—	—	—	—	—	—
740	2,8	42,0	2850	—	—	—	—	—	—

Quadro 98 - Características Eléctricas dos Cabos: LVV, LSVV

Secção Nominal mm²	1 Condutor (1)			2 Condutores (5)			3 e 4 Condutores (6)		
	Instalação Subterrânea (2) Intensidade	Instalação Ao Ar (3) Intensidade	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8 (4)	Instalação Subterrânea (2) Intensidade	Instalação Ao Ar (3) Intensidade	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8	Instalação Subterrânea (2) Intensidade	Instalação Ao Ar (3) Intensidade	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8
16	110	80	3,300	95	67	3,760	90	62	3,280
25	145	102	2,110	125	89	2,390	110	80	2,090
35	180	129	1,550	150	107	1,750	130	93	1,530
50	210	151	1,180	175	129	0,310	150	107	1,150
70	275	196	0,834	225	160	0,927	195	138	0,821
95	330	236	0,626	270	191	0,687	235	169	0,614
120	390	276	0,512	305	218	0,558	270	191	0,502
150	440	311	0,432	350	249	0,467	310	222	0,424
185	505	360	0,363	390	276	0,387	355	254	0,354
240	590	423	0,296	455	325	0,312	410	294	0,288
280	640	463	0,273						
300	685	490	0,253	510	365	0,263	470	334	0,245
380	780	561	0,219						
400	810	583	0,215	610	436	0,236	560	401	0,204
480	910	650	0,190						
500	935	668	0,185						
600	1050	748	0,169						
630	1080	774	0,161						
740	1190	854	0,149						

(1) - As intensidades de corrente são indicadas para um cabo monopolar sem influências térmicas exteriores. No caso de associações de cabos monopolares (ternos juntivos por exemplo) multiplicar os valores indicados por 0,80.
(2) - Temperatura do solo de 20°C.
(3) - Temperatura do ambiente de 30°C.
(4) - As quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.
(5) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização monofásica.
(6) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.

Quadro 99 - Características Dimensionais Condutores Multifilares (LXV)

Secção (mm^2)	Espessura Nominal do Isolamento (mm)	1 Condutor		2 Condutores		3 Condutores		4 Condutores	
		Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)
16	0,7	9,9	125	17,2	333	18,3	409	19,8	485
25	0,9	11,5	169	19,8	441	21,8	547	22,2	582
35	0,9	12,6	206	17,3	423	20,4	574	23,1	665
50	1,0	13,9	256	19,6	538	23,5	767	26,9	906
70	1,1	15,8	343	22,8	723	26,7	1010	30,6	1147
95	1,1	17,6	425	25,0	940	29,4	1305	34,7	1590
120	1,2	19,4	513	27,4	1108	30,1	1537	38,0	1916
150	1,4	21,2	592	30,3	1352	36,8	1928	43,0	2254
185	1,6	23,8	768	33,8	1632	40,5	2298	47,4	2764
240	1,7	26,4	943	37,5	2076	45,8	2989	53,5	3652
300	1,8	28,9	1166	41,8	2586	50,2	3629	58,6	4372
400	2,0	32,7	1490	47,2	3136	57,8	4654	67,1	5472
500	2,2	36,0	1806	—	—	—	—	—	—
630	2,4	41,7	2302	—	—	—	—	—	—

Quadro 100 - Condutores Sólidos (LSXV)

Secção (mm^2)	Espessura Nominal do Isolamento (mm)	1 Condutor		2 Condutores		3 Condutores		4 Condutores	
		Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)
16	0,7	9,5	126	12,5	212	14,6	288	16,4	364
25	0,9	11,1	170	14,8	300	17,4	410	19,7	520
35	0,9	12,2	207	16,3	374	19,2	511	22,2	678
50	1,0	13,6	267	18,4	484	22,1	681	25,4	868
70	1,1	15,3	345	21,3	640	25,2	895	28,6	1160
95	1,1	16,8	417	23,4	824	28,0	1261	32,4	1538
120	1,2	18,4	516	25,6	992	31,2	1438	35,6	1884
150	1,4	20,2	624	28,5	1118	34,5	1752	40,3	2336
185	1,6	22,6	771	32,0	1502	38,0	2113	44,1	2884
240	1,7	—	—	35,1	1896	43,0	2794	50,0	3692
280	1,8	27,1	1125	—	—	—	—	—	—
300	1,8	—	—	39,2	2350	47,0	3375	54,7	4500
380	2,0	30,7	1427	—	—	—	—	—	—
480	2,2	34,3	1820	—	—	—	—	—	—
600	2,4	37,6	2170	—	—	—	—	—	—
740	2,6	41,2	2626	—	—	—	—	—	—

Quadro 101 - Características Eléctricas dos Cabos: LXV, LSXV

Secção Nominal mm²	1 Condutor (1)			2 Condutores (5)			3 e 4 Condutores (6)		
	Instalação Subterrânea (2) Intensidade	Instalação Ao Ar (3) Intensidade	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8	Instalação Subterrânea (2) Intensidade	Instalação Ao Ar (3) Intensidade	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8	Instalação Subterrânea (2) Intensidade	Instalação Ao Ar (3) Intensidade	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8
16		105	3,500	104	91	4,000	87	79	3,490
25	180	135	2,240	133	108	2,550	110	98	2,230
35	215	166	1,650	160	135	1,860	134	122	1,630
50	257	205	1,290	188	164	1,390	160	149	1,220
70	315	260	0,883	233	211	0,984	197	192	0,870
95	377	321	0,662	275	257	0,728	234	235	0,651
120	430	375	0,540	314	300	0,590	266	273	0,530
150	482	432	0,455	359	346	0,494	300	316	0,447
185	545	500	0,381	398	397	0,371	337	363	0,372
240	640	603	0,315	458	470	0,328	388	430	0,303
280	690	658	0,285						
300	725	697	0,271	520	543	0,293	440	497	0,248
380	820	810	0,228						
400	835	829	0,224						
480	922	936	0,197						
500	950	963	0,191						
600	1005	1015	0,174						
630	1035	1050	0,160						
740	1150	1175	0,138						

(1) - As intensidades de corrente são indicadas para um cabo monopolar sem influências térmicas exteriores. No caso de associações de cabos monopolares (temos juntivos por exemplo) multiplicar os valores indicados por 0,80.
(2) - Temperatura do solo de 20ºC.
(3) - Temperatura do ambiente de 30°C.
(4) - As quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.
(5) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização monofásica.
(6) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.

2 - Cabos Armados do Tipo LVAV, LSVAV, LXAV, LSXAV

Norma de fabrico: CEI 60502 - 1; HD 603 S1

Tensão estipulada: 0,6 / lkV

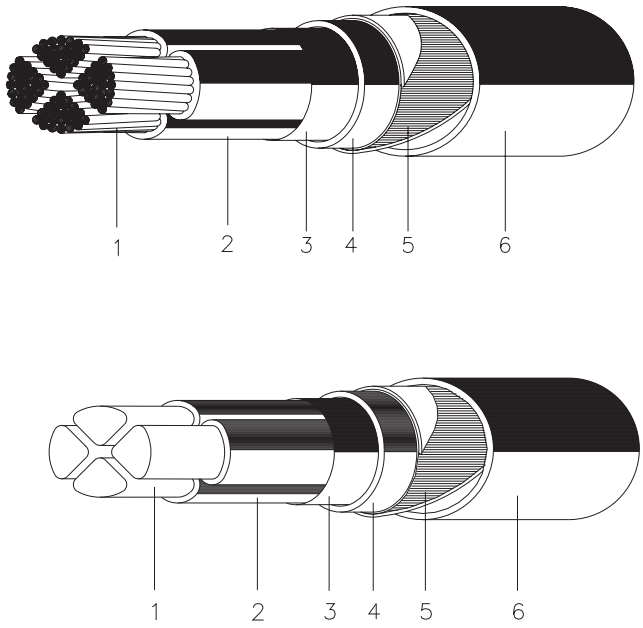


Figura 49 - Cabos isolados de baixa tensão com alma de Alumínio armados

Descrição:

1 - Alma condutora da classe 2 (LVAV, LXAV) ou da classe 1 (LSVAV, LSXAV)

2 - Isolamento a PVC (LVAV, LSVAV) ou a PEX (LXAV, LSXAV)

3 - Fita de cintagem (Poliester)

4 - Bainha interior de PVC

5 - Armadura de fitas de aço

6 - Bainha exterior de PVC

Utilização:

Transporte e distribuição de energia. Próprias para canalização enterrada.

Quadro 102 - Características Dimensionais Condutores Multifiliares (LVAV)

Secção (mm^2)	Espessura Nominal do Isolamento (mm)	1 Condutor*		2 Condutores		3 Condutores		4 Condutores	
		Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)
16	1,0	13,2	250	21,3	650	23,2	880	25,4	940
25	1,2	14,8	320	24,5	980	27,1	1200	29,3	1200
35	1,2	17,1	500	23,5	920	26,6	1150	29,4	1300
50	1,4	18,6	620	26,3	1100	30,0	1450	33,2	1650
70	1,4	20,3	730	28,6	1300	32,8	1700	39,0	2400
95	1,4	23,3	900	32,1	1650	38,8	2600	43,4	3000
120	1,6	24,9	1050	34,8	1900	41,7	3000	47,8	3600
150	1,8	27,1	1250	39,3	2600	46,2	3500	52,0	4050
185	2,0	29,3	1450	43,2	3100	50,5	4200	57,6	5000
240	2,2	32,1	1700	47,8	3800	56,8	5100	64,1	6100
300	2,4	36,4	2100	52,6	4500	61,4	6000	70,2	7200
400	2,6	40,5	2900	58.4	5400	68,9	7400	78,5	8700
500	2,8	44,0	3400	—	—	—	—	—	—
630	2,8	50,3	4200	—	—	—	—	—	—

*Cabo com armadura amagnética em caso de tensão alternada.

Quadro 103 - Condutores Sólidos (LSVAV)

Secção (mm^2)	Espessura Nominal do Isolamento (mm)	1 Condutor*		2 Condutores		3 Condutores		4 Condutores	
		Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)
16	1,0	12,8	250	17,6	540	21,7	780	22,7	880
25	1,2	14,6	310	19,8	690	24,6	1000	26,0	1150
35	1,2	16,6	500	22,6	870	25,5	1100	28,1	1350
50	1,4	18,3	610	25,1	1050	28,6	1350	31,8	1650
70	1,4	19,8	720	27,2	1250	31,1	1650	37,1	2500
95	1,6	22,5	900	30,5	1550	37,2	2500	41,2	3050
120	1,6	23,9	1050	33,1	1850	39,6	2850	45,4	3650
150	1,8	26,1	1200	36,9	2500	43,8	3400	49,3	4200
185	2,0	28,2	1400	41,0	3000	47,8	4000	54,5	5100
240	2,2	—	—	45,3	3600	53,2	4900	60,6	6300
280	2,4	33,0	1900	—	—	—	—	—	—
300	2,4	—	—	49,8	4300	58,0	5900	66,1	7400
380	2,6	39,1	2800	—	—	—	—	—	—
480	2,8	42,3	3300	—	—	—	—	—	—
600	2,8	45,2	3800	—	—	—	—	—	—
740	2,8	49,8	4500	—	—	—	—	—	—

*Cabo com armadura amagnética em caso de tensão alternada.

Quadro 104 - Características Eléctricas dos Cabos: LVAV, LSVAV

Secção Nominal mm²	1 Condutor (1)			2 Condutores (5)			3 e 4 Condutores (6)		
	Instalação Subterrânea (2) Intensidade	Instalação Ao Ar (3) Intensidade	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8 (4)	Instalação Subterrânea (2) Intensidade	Instalação Ao Ar (3) Intensidade	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8	Instalação Subterrânea (2) Intensidade	Instalação Ao Ar (3) Intensidade	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8
16	110	80	3,300	95	67	3,760	90	62	3,280
25	145	102	2,110	125	89	2,390	110	80	2,090
35	180	129	1,550	150	107	1,750	130	93	1,530
50	210	151	1,180	175	129	0,310	150	107	1,150
70	275	196	0,834	225	160	0,927	195	138	0,821
95	330	236	0,626	270	191	0,687	235	169	0,614
120	390	276	0,512	305	218	0,558	270	191	0,502
150	440	311	0,432	350	249	0,467	310	222	0,424
185	505	360	0,363	390	276	0,387	355	254	0,354
240	590	423	0,296	455	325	0,312	410	294	0,288
280	640	463	0,273						
300	685	490	0,253	510	365	0,263	470	334	0,245
380	780	561	0,219						
400	810	583	0,215	610	436	0,236	560	401	0,204
480	910	650	0,190						
500	935	668	0,185						
600	1050	748	0,169						
630	1080	774	0,161						
740	1190	854	0,149						

(1) - As intensidades de corrente são indicadas para um cabo monopolar sem influências térmicas exteriores. No caso de associações de cabos monopolares (ternos juntivos por exemplo) multiplicar os valores indicados por 0,80.
(2) - Temperatura do solo de 20°C.
(3) - Temperatura do ambiente de 30°C.
(4) - As quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.
(5) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização monofásica.
(6) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.

Quadro 105 - Características Dimensionais Condutores Multifilares (LXAV)

Secção (mm2)	Espessura Nominal do Isolamento (mm)	1 Condutor*		2 Condutores		3 Condutores		4 Condutores	
		Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)
16	0,7	12,6	235	20,1	620	22,0	835	24,2	880
25	0,9	14,2	299	23,3	938	25,9	1137	27,1	1116
35	0,9	16,5	476	22,3	872	25,4	1078	28,2	1204
50	1,0	17,8	586	24,7	1032	28,4	1348	31,6	1514
70	1,1	19,7	693	27,4	1226	31,6	1589	37,8	2252
95	1,1	22,7	845	20,9	1540	37,6	2435	42,2	2780
120	1,2	24,1	993	33,2	1786	40,1	2829	46,6	3372
150	1,4	26,3	1182	37,7	2464	45,4	3296	51,2	3778
185	1,6	28,5	1368	41,6	2936	48,9	3954	56,0	4672
240	1,7	31,1	1593	45,8	3586	54,8	4779	62,1	5672
300	1,8	35,2	1966	50,2	4232	59,0	5598	67,8	6664
400	2,0	39,3	2740	56,0	5080	66,5	6920	76,1	8060
500	2,2	42,8	3206						
630	2,4	49,5	3804						

*Cabo com armadura amagnética em caso de tensão alternada.

Quadro 106 - Condutores Sólidos (LSXAV)

Secção (mm2)	Espessura Nominal do Isolamento (mm)	1 Condutor*		2 Condutores		3 Condutores		4 Condutores	
		Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)
16	0,7	12,2	236	16,4	512	20,5	738	21,5	824
25	0,9	13,4	290	18,6	650	23,4	940	24,8	1070
35	0,9	16,0	477	21,4	824	24,3	1031	26,9	1258
50	1,0	17,5	577	23,5	984	27,0	1251	30,2	1518
70	1,1	18,2	685	26,0	1180	29,9	1545	35,9	2360
95	1,1	21,9	847	29,9	1444	36,0	2341	40,0	2838
120	1,2	23,1	996	31,5	1742	38,0	2688	43,8	3434
150	1,4	25,3	1134	35,3	2368	42,2	3202	47,7	3936
185	1,6	27,4	1321	39,4	2842	46,2	3763	52,9	4784
240	1,7			43,3	3396	51,2	4594	58,6	5892
280	1,8	31,8	1775						
300	1,8			47,4	4050	55,6	5225	63,7	6900
380	2,0	37,9	2647						
480	2,2	41,1	3120						
600	2,4	44,4	3620						
740	2,6	49,4	4276						

*Cabo com armadura amagnética em caso de tensão alternada.

Quadro 107 - Características Eléctricas dos Cabos: LXAV, LSXAV

Secção Nominal mm²	1 Condutor (1)			2 Condutores (5)			3 e 4 Condutores (6)		
	Instalação Subterrânea (2) Intensidade	Instalação Ao Ar (3) Intensidade	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8 (4)	Instalação Subterrânea (2) Intensidade	Instalação Ao Ar (3) Intensidade	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8	Instalação Subterrânea (2) Intensidade	Instalação Ao Ar (3) Intensidade	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8
16		105	3,500	104	91	4,000	87	79	3,490
25	180	135	2,240	133	108	2,550	110	98	2,230
35	215	166	1,650	160	135	1,860	134	122	1,630
50	257	205	1,290	188	164	1,390	160	149	1,220
70	315	260	0,883	233	211	0,984	197	192	0,870
95	377	321	0,662	275	257	0,728	234	235	0,651
120	430	375	0,540	314	300	0,590	266	273	0,530
150	482	432	0,455	359	346	0,494	300	316	0,447
185	545	500	0,381	398	397	0,371	337	363	0,372
240	640	603	0,315	458	470	0,328	388	430	0,303
280	690	658	0,285						
300	725	697	0,271	520	543	0,293	440	497	0,248
380	820	810	0,228						
400	835	829	0,224						
480	922	936	0,197						
500	950	963	0,191						
600	1005	1015	0,174						
630	1035	1050	0,160						
740	1150	1175	0,138						

(1) - As intensidades de corrente são indicadas para um cabo monopolar sem influências térmicas exteriores. No caso de associações de cabos monopolares (ternos juntivos por exemplo) multiplicar os valores indicados por 0,80.
(2) - Temperatura do solo de 20°C.
(3) - Temperatura do ambiente de 30°C.
(4) - As quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.
(5) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização monofásica.
(6) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.

5.3.2 - Cabos com Alma Condutora de Cobre

A – Condutores Cableados (Classe 2)

As almas condutoras, circulares ou sectoriais, são normalmente compactadas.

A forma sectorial só pode ser utilizada nas secções nominais de pelo menos 25 mm2.

B – Condutores maciços (Classe 1)

As almas condutoras de cobre devem utilizar cobre recozido, nu ou revestido de camada metálica (ex. estanho).

As almas de cobre maciço devem ser circulares

1 - Cabos não Armados Tipo VV, XV, e Armados do Tipo VAV, XAV

Normas de fabrico: CEI 60502 - 1; HD 603 S1

Tensão estipulada: 0,6/ lkV

Descrição:

1 - Alma condutora da classe 2
2 - Isolamento a PVC (VV)
ou PEX (XV)
3 - Fita de cintagem (Poliester)
4 - Bainha exterior de PVC

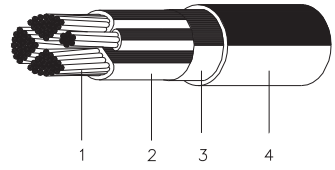


Figura 50 - Cabos não armados

Utilização:
Transporte e distribuição de energia.

Descrição:

1 - Alma condutora da classe 2
2 - Isolamento a PVC (VAV)
ou PEX (XAV)
3 - Bainha interior de PVC
4 - Armadura
5 - Bainha exterior de PVC

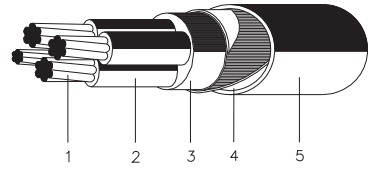


Figura 51 - Cabos armado

Utilização:
Transporte e distribuição de energia. Próprios para canalização enterrada.

Quadro 108 - Características Dimensionais
Cabos Não Armados (VV)

Secção (mm2)	Espessura Nominal do Isolamento (mm)	1 Condutor		2 Condutores		3 Condutores		4 Condutores	
		Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)
1,5	0,8	5,8	50	10	130	10,5	155	11,2	180
2,5	0,8	6,2	60	10,8	170	11,3	200	12,2	245
4	1,0	7,1	85	12,6	230	13,3	290	14,4	340
6	1,0	7,6	105	13,6	300	14,4	360	15,6	440
10	1,0	8,9	155	16,8	450	17,8	560	19,3	700
16	1,0	9,9	220	18,8	620	19,8	780	21,1	900
25	1,2	11,6	340	22,2	900	23,6	1150	25,0	1320
35	1,2	12,3	420	18,4	850	21,6	1240	24,3	1450
50	1,4	13,9	550	21,2	1150	24,9	1650	28,3	1960
70	1,4	15,7	770	23,7	1550	27,9	2250	31,8	2650
95	1,6	17,5	1050	27,0	2100	31,9	3120	36,6	3660
120	1,6	19,7	1300	29,3	2600	34,7	3850	39,9	4550
150	1,8	21,4	1580	32,5	3200	38,8	4720	44,2	5150
185	2,0	23,9	1830	36,0	4000	42,9	5900	49,0	7000
240	2,2	27,0	2550	40,5	5100	48,2	7600	55,2	8900
300	2,4	29,8	3200	44,6	6400	53,4	9450	61,2	11100
400	2,6	33,2	4050	50,6	8450	60,5	12400	69,1	14450
500	2,8	36,8	5000	—	—	—	—	—	—

Quadro 109 - Cabos Armados (VAV)

Secção (mm2)	Espessura Nominal do Isolamento (mm)	1 Condutor*		2 Condutores		3 Condutores		4 Condutores	
		Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)
1,5	0,8	—	—	13,3	260	13,8	290	14,6	330
2,5	0,8	—	—	14,1	310	14,6	340	15,5	390
4	1,0	—	—	15,9	390	16,6	450	17,7	520
6	1,0	—	—	16,9	470	17,7	540	18,9	640
10	1,0	13,4	310	19,5	630	20,5	750	22,1	900
16	1,0	14,6	380	21,5	820	22,6	1000	23,9	1080
25	1,2	16,2	520	25,1	1160	26,5	1410	27,8	1530
35	1,2	16,8	620	22,0	960	25,2	1550	28,0	1800
50	1,4	18,4	780	24,9	1430	28,8	2000	32,2	2390
70	1,4	20,0	1000	27,4	1880	31,8	2660	35,7	3150
95	1,6	22,1	1310	31,9	2800	37,2	3950	41,7	4600
120	1,6	23,8	1580	34,2	3340	40,2	4750	46,7	5720
150	1,8	25,5	1900	37,8	4050	44,3	5700	49,6	6700
185	2,0	27,8	2300	41,3	4900	48,4	6980	54,7	8270
240	2,2	30,9	2950	46,0	6200	53,9	8900	61,0	9750
300	2,4	33,7	3600	50,5	7650	59,3	10900	67,0	12850
400	2,6	38,3	4900	56,7	9800	67,0	14200	75,6	16500
500	2,8	41,9	6000	—	—	—	—	—	—

*Cabo com armadura amagnética em caso de tensão alternada.

Quadro 110 - Características Eléctricas dos Cabos: VV, VAV

Secção Nominal mm²	1 Condutor (1)			2 Condutores (5)			3 e 4 Condutores (6)		
	Instalação Subterrânea (2) Intensidade A	Instalação Ao Ar (3) Intensidade A	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8 (4)	Instalação Subterrânea (2) Intensidade A	Instalação Ao Ar (3) Intensidade A	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8	Instalação Subterrânea (2) Intensidade A	Instalação Ao Ar (3) Intensidade A	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8
1					14,5	34,800		13	30,100
1,5	34	23	20,200	30	19	23,300	25	17	20,200
2,5	45	31	12,400	40	26	14,300	35	24	12,400
4	60	42	7,770	50	35	8,940	45	31	7,740
6	75	52	5,220	65	44	6,000	60	42	5,190
10	105	74	3,140	90	61	3,600	80	57	3,120
16	135	96	2,020	120	83	2,300	110	79	1,990
25	180	127	1,310	155	110	1,480	135	96	1,280
35	225	158	0,963	185	132	1,080	165	114	0,946
50	260	184	0,734	220	158	0,822	190	132	0,718
70	345	242	0,533	280	198	0,589	245	171	0,520
95	410	290	0,406	335	237	0,443	295	206	0,393
120	485	343	0,340	380	268	0,368	340	237	0,326
150	550	387	0,299	435	308	0,313	390	272	0,279
185	630	444	0,250	490	343	0,265	445	312	0,238
240	740	523	0,210	570	400	0,218	515	360	0,198
300	855	602	0,183	640	448	0,188	590	413	0,172
400	1015	721	0,160	760	536	0,164	700	492	0,150
500	1170	822	0,140						

(1) - As intensidades de corrente são indicadas para um cabo monopolar sem influências térmicas exteriores. No caso de associações de cabos monopolares (ternos juntivos por exemplo) multiplicar os valores indicados por 0,80.
(2) - Temperatura do solo de 20°C.
(3) - Temperatura do ambiente de 30°C.
(4) - As quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.
(5) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização monofásica.
(6) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.

Quadro 111 - Características Dimensionais
Cabos Não Armados (XV)

Secção (mm2)	Espessura Nominal do Isolamento (mm)	1 Condutor		2 Condutores		3 Condutores		4 Condutores	
		Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)
1,5	0,7	5,7	47	9,8	123	10,3	144	11,0	165
2,5	0,7	6,1	56	10,8	170	11,1	187	12,0	227
4	0,7	6,8	77	12,6	230	12,7	264	13,8	305
6	0,7	7,3	94	13,6	300	13,8	327	15,0	396
10	0,7	8,6	142	16,8	450	17,2	520	18,7	647
16	0,7	9,9	205	18,8	620	18,3	735	19,8	840
25	0,9	11,5	319	22,2	900	22,4	1087	23,8	1236
35	0,9	12,6	396	18,4	850	20,4	1168	23,1	1354
50	1,0	13,9	516	21,2	1150	23,5	1548	26,9	1824
70	1,1	15,8	733	23,7	1550	26,7	2139	30,6	2502
95	1,1	17,6	995	27,0	2100	29,4	2955	34,7	3440
120	1,2	19,4	1243	29,3	2600	30,1	3675	38,0	4332
150	1,4	221,2	1512	32,5	3200	36,8	4516	43,0	4878
185	1,6	23,8	1830	36,0	4000	40,5	5654	47,4	6672
240	1,7	26,4	2550	40,5	5100	45,8	7279	53,5	8472
300	1,8	28,9	3200	44,6	6400	50,2	9048	58,6	10564
400	2,0	32,7	4050	50,6	8450	57,8	11920	67,1	13810
500	2,2	36,0	5000						

Quadro 112 - Cabos Armados (XAV)

Secção (mm2)	Espessura Nominal do Isolamento (mm)	1 Condutor*		2 Condutores		3 Condutores		4 Condutores	
		Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)	Ø (mm)	Peso (Kg/Km)
1,5	0,7			13,1	253	13,6	279	14,4	315
2,5	0,7			13,9	301	14,4	327	15,3	372
4	0,7			15,3	373	16,0	424	17,1	485
6	0,7			16,3	448	17,1	507	18,2	596
10	0,7	13,1	297	18,9	603	19,9	710	21,5	847
16	0,7	14,3	365	20,9	790	22,0	955	23,3	1020
25	0,9	16,1	499	24,9	918	25,3	1347	26,6	1446
35	0,9	16,5	596	21,4	888	25,0	1478	27,4	1704
50	1,0	18,0	746	24,1	1362	28,0	1898	31,4	2254
70	1,1	19,7	963	26,8	1806	31,2	2549	35,1	3002
95	1,1	21,6	1255	30,9	2690	36,2	3785	40,7	4380
120	1,2	23,4	1523	33,4	3226	39,4	4579	45,9	5492
150	1,4	25,1	1832	37,0	3914	43,5	5496	48,8	6428
185	1,6	27,4	2218	40,5	4736	47,6	6734	53,9	7942
240	1,7	30,4	2843	45,0	5986	52,9	8579	60,0	9332
300	1,8	33,3	3466	49,7	7382	58,5	10498	66,2	12314
400	2,0	37,7	4740	55,5	9480	65,8	13720	74,4	15860
500	2,2	41,3	5806						

*Cabo com armadura amagnética em caso de tensão alternada.

Quadro 113 - Características Eléctricas dos Cabos: XV, XAV

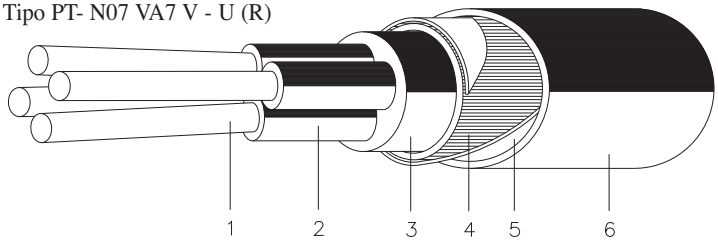
Secção Nominal mm²	1 Condutor (1)			2 Condutores (5)			3 e 4 Condutores (6)		
	Instalação Subterrânea (2) Intensidade A	Instalação Ao Ar (3) Intensidade A	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8 (4)	Instalação Subterrânea (2) Intensidade A	Instalação Ao Ar (3) Intensidade A	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8	Instalação Subterrânea (2) Intensidade A	Instalação Ao Ar (3) Intensidade A	Queda de Tensão ΔU=V/A Km Cosφ=0,8
1		24	32,10		24	37,00		21	32,00
1,5	48	32	21,50	32	26	24,80	30	24	21,40
2,5	63	43	13,20	43	35	15,20	40	32	13,10
4	82	57	-8.270	55	45	9,510	52	42	8.240
6	103	72	5,60	68	58	6,380	64	53	5.530
10	137	99	3,340	90	80	3,830	86	73	3,310
16	177	131	2,140	115	105	2,440	111	96	2,110
25	229	177	1,360	149	143	1,570	143	130	1,350
35	275	218	1,020	178	176	1,150	173	160	1,010
50	327	266	0,776	211	215	0,870	205	195	0,774
70	402	338	0,562	259	270	0,623	252	247	0,559
95	482	416	0,427	310	335	0,469	303	305	0,425
120	550	487	0,356	352	390	0,387	346	355	0,353
150	618	559	0,306	396	447	0,329	390	407	0,303
185	701	648	0,261	449	514	0,227	441	469	0,259
240	819	779	0,218	521	610	0,228	511	551	0,215
300	931	902	0,189						
400	1073	1100	0,165						
500	1223	1246	0,144						

(1) - As intensidades de corrente são indicadas para um cabo monopolar sem influências térmicas exteriores. No caso de associações de cabos monopolares (ternos juntivos por exemplo) multiplicar os valores indicados por 0,80.
(2) - Temperatura do solo de 20°C.
(3) - Temperatura do ambiente de 30°C.
(4) - As quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.
(5) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização monofásica.
(6) - As intensidades e quedas de tensão são indicadas para uma canalização trifásica.

2 - Cabo do Tipo PT- N07 VA7 V - U (R)
(Antiga designação: V H V)

Norma de fabrico: NP - 3325
Tensão estipulada: 450 / 750 V

Figura 52 - Cabo do Tipo PT- N07 VA7 V - U (R)



Descrição:

1) Alma condutora rígida de Cobre
2) Isolamento de PVC
3) Bainha interior de PVC
4) Fios de continuidade em Cobre estanhado
S) Blindagem em fita da Alumínio
6) Bainha exterior de PVC

Utilização:

Transporte e distribuição de energia em edifícios e instalações industriais, comando e sinalização.
Montados ao ar livre ou em interiores em caleiras ou condutas.

Quadro 114 - Características dos cabos PT- N07 VA7 V - U (R)

SECÇÃO mm²	ESPESSURA DO ISOLAMENTO (mm)	2 CONDUTORES			3 CONDUTORES			4 CONDUTORES		
		ø EXT. APROX. mm	PESO APROX. Kg/Km	I MÁX. ADM. A Ar Livre	ø EXT. APROX. mm	PESO APROX. Kg/Km	I MÁX. ADM. A Ar Livre	ø EXT. APROX. mm	PESO APROX. Kg/Km	I MÁX. ADM. A Ar Livre
1,5	0,7	11,0	160	24	11,4	180	20	12,0	210	20
2,5	0,8	12,2	205	30	12,7	240	28	13,5	290	28
4	1,0	13,2	260	40	13,7	310	36	14,8	380	36
6	1,0	14,4	330	50	15,0	400	48	16,0	470	48
10	1,0	17,6	520	70	18,7	630	65	20,6	810	65
16	1,0	19,4	700	95	21,0	850	90	23,1	1 000	90
25	1,2	22,8	1 000	125	24,5	1 200	110	26,8	1 500	110
35	1,2	21,0	1 050	150	24,1	1 400	130	27,0	1 700	130

Os valores de intensidades máximas admissíveis referem-se às condições seguintes:

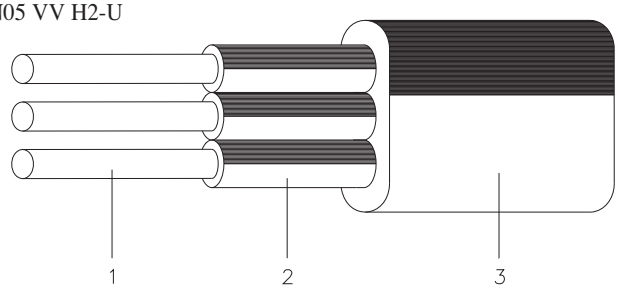
— Regime permanente;
— Temperatura ambiente de 30 °C e temperatura máxima junto à alma condutora de 70 °C.

3 - Cabo do Tipo PT-N05 VV H2-U
(Antiga designação: V V D)

Norma de fabrico: NP - 3325

Tensão estipulada: 300/500 V

Figura 53 - Cabo do Tipo PT-N05 VV H2-U



Descrição:

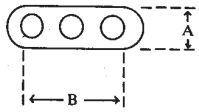
1) Alma condutora rígida de Cobre
2) Isolamento de PVC
3) Bainha exterior de PVC

Utilização:

Utiliza-se em instalações fixas à vista, no interior de edifícios.

Quadro 115 - Características dos cabos PT-N05 VV H2-U

SECÇÃO mm²	N.º DE FIOS	RESISTÊNCIA MIN. DE ISOL.	2 CONDUTORES				3 CONDUTORES			
			DIM. EXT. APROX. mm		PESO APROX.	I MÁX. ADM.	DIM. EXT. APROX. mm		PESO APROX.	I MÁX. ADM.
		MΩ/km (20 °C)	A	B	Kg/Km	A	A	B	Kg/Km	A
1,5	1	100	4,4	7,3	60	22	4,5	9,9	90	20
2,5	1	85	5,0	8,4	90	30	5,2	11,7	135	28
4	1	75	5,5	9,5	130	40	5,9	13,7	195	36



Os valores de intensidades máximas admissíveis referem-se às condições seguintes:

— Regime permanente;

— Temperatura ambiente de 30 °C e temperatura máxima junto à alma condutora de 70 °C.

4 - Condutores Tipo H 0 7 V - U (R ou K)

Norma de fabrico: NP - 2356

Tensão estipulada: 450 / 750 V

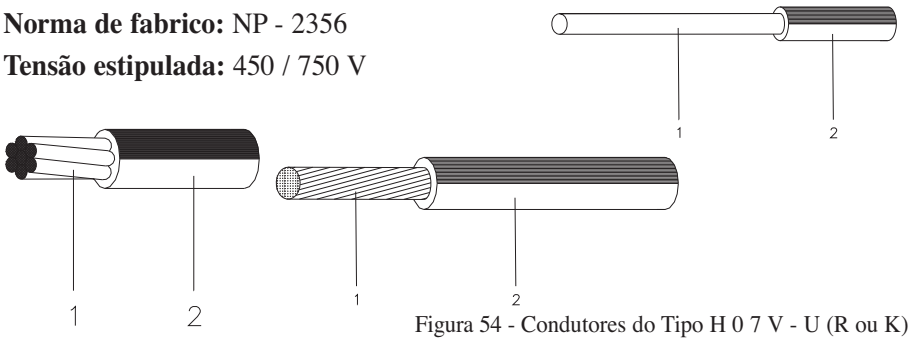


Figura 54 - Condutores do Tipo H 0 7 V - U (R ou K)

Descrição:
1) Alma condutora da classe 1 (U), da classe 2 (R) ou da classe 5 (K)
2) Isolamento de PVC

Utilização:
Aplicado na montagem de quadros eléctricos e em interiores de edifícios em instalações embebidas.

Quadro 116 - Características dos condutores H 0 7 V - U (R ou K)

SECÇÃO mm²	ESPESSURA DO ISOLAMENTO mm	ø EXT. APROX. mm	PESO APROX. Kg/Km	I MÁX. ADM. A		
				A	B	C
1,5	0,7	2,8	20	17	22	27
2,5	0,8	3,4	32	22	3036	
4	0,8	3,9	47	29	40	48
6	0,8	4,4	65	37	50	60
10	0,1	6,1	110	50	70	85
16	0,1	7,1	170	70	95	110
25	1,2	8,9	265	95	125	145
35	1,2	9,5	350	120	150	180
50	1,4	11,1	475	140	180	210
70	1,4	12,7	670	185	230	275
95	1,6	14,8	950	225	275	330
120	1,6	16,5	1 200	265	315	390
150	1,8	18,2	1 450	320	360	440
185	2,0	20,5	1 800	350	410	505
240	2,2	23,4	2 400	415	480	595
300	2,4	26,0	2 950	480	550	685
400	2,6	29,2	3 800	580	650	820

Os valores de intensidades máximas admissíveis referem-se às condições seguintes:
— Regime permanente;
— Temperatura ambiente de 30 °C e temperatura máxima junto à alma condutora de 70 °C.
A - Caso de condutores, até ao máximo de 3, enfiados no mesmo tubo.
B - Caso de condutores instalados ao ar com uma distância entre si inferior ao seu diâmetro exterior.
C - Caso de condutores instalados ao ar com uma distância entre si igual ou superior ao seu diâmetro exterior.

Nota: H 0 7 V - U Secção ≤10 mm^2
H 0 7 V - R Secção ≤ 400 mm^2
H 0 7 V - K Secção ≤ 240 mm^2

5 - Condutores do Tipo H 0 5 V - U (K)

Norma de fabrico: NP - 2356

Tensão estipulada: 300/500 V

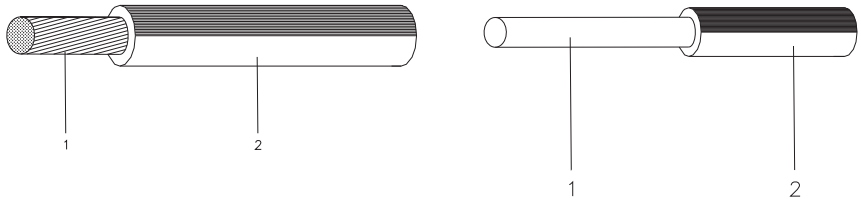


Figura 55 - Condutores do Tipo H 0 5 V - U (K)

Descrição:

1) Alma condutora da classe 1 (U) ou da classe 5 (K)
2) Isolamento a PVC

Utilização:

Em instalações fixas protegidas, estabelecidas no interior de aparelhos de utilização. Apropriados para canalizações à vista ou embebidos (protegidos por tubos) para circuitos de sinalização ou controlo.

Quadro 117 - Características dos condutores H 0 5 V - U (K)

SECÇÃO mm²	ESPESSURA DO ISOLAMENTO mm	ø EXT. APROX. mm	PESO APROX. Kg/Km	I MÁX. ADM. A		
				A	B	C
0,5	0,6	2,0	8	8	11	13
0,75	0,6	2,5	14	10	14	17
1	0,6	3,0	16	13	17	21

Os valores de intensidades máximas admissíveis referem-se às condições seguintes:
— Regime permanente;
— Temperatura ambiente de 30 °C e temperatura máxima junto à alma condutora de 70 °C.
A - Caso de condutores, até ao máximo de 3, enfiados no mesmo tubo.
B - Caso de condutores instalados ao ar com uma distância entre si inferior ao seu diâmetro exterior.
C - Caso de condutores instalados ao ar com uma distância entre si igual ou superior ao seu diâmetro exterior.

6 - Cabo do Tipo H05 VV - F

Norma de fabrico: NP - 2356

Tensão estipulada: 300/500 V

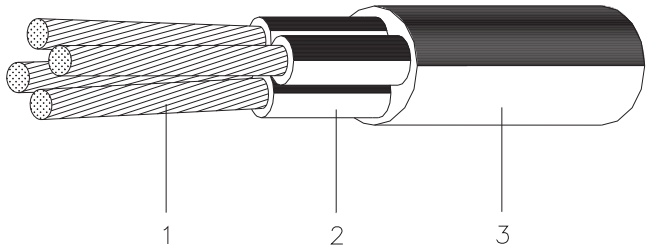


Figura 56 - Cabos do Tipo H05VV - F

Descrição:

1) Alma condutora flexível de Cobre
2) Isolamento de PVC
3) Bainha exterior de PVC

Utilização:

Utilizado nas ligações dos aparelhos domésticos, em sinalização e comando.

Quadro 118 - Características dos cabos H05 VV - F

SECÇÃO mm²	EESPESSURA DO ISOLAMENTO mm	2 CONDUTORES			3 CONDUTORES			4 CONDUTORES		
		ø EXT. APROX. mm	PESO APROX. Kg/Km	I MÁX. ADM. A	ø EXT. APROX. mm	PESO APROX. Kg/Km	I MÁX. ADM. A	ø EXT. APROX. mm	PESO APROX. Kg/Km	I MÁX. ADM. A
0,75	0,6	6,4	55	14	7,1	70	12	8,2	80	12
1	0,6	7,1	65	17	7,7	85	15	8,8	90	15
1,5	0,7	8,0	85	22	8,3	110	20	9,4	140	20
2,5	0,8	9,4	140	30	10,3	175	28	11,2	220	28
4	0,8	10,6	180	36	11,5	226	35	12,6	280	32

Os valores de intensidades máximas admissíveis referem-se às condições seguintes:

— Regime permanente;

— Temperatura ambiente de 30 °C e temperatura máxima junto à alma condutora de 70 °C .

7 - Cabo do Tipo H03VH - H

Norma de fabrico: NP - 2356

Tensão estipulada: 300/300 V

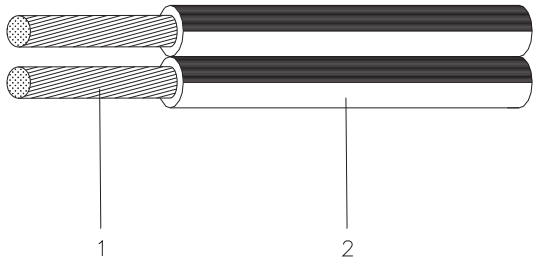


Figura 57 - Cabos do Tipo H03VH - H

Descrição:

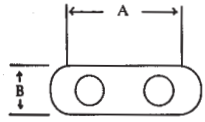
1) Alma condutora da classe 6
2) Isolamento de PVC

Utilização:

Utilizado nas ligações dos aparelhos domésticos móveis.

Quadro 119 - Características dos cabos H03VH - H

SECÇÃO	ESPESSURA DO ISOLAMENTO	2 CONDUTORES			3 CONDUTORES		
		DIM. EXT. APROX. mm		PESO APROX.	DIM. EXT. APROX. mm		PESO APROX.
mm²	mm	A	B	Kg/Km	A	B	Kg/Km
0,3	0,6	3,8	2,0	13	-	-	-
0,5	0,6	4,3	2,2	22	6,5	2,2	30
0,75	0,6	5,0	2,5	28	7,4	2,5	40
1	0,6	5,2	2,7	40	7,7	2,7	50
1,5	0,7	6,3	3,0	45	9,2	3,2	70
2,5	0,8	7,5	3,8	70	11,5	4,0	115



8 - Cabo do Tipo H03 VV H2 - F

Norma de fabrico: NP - 2356

Tensão estipulada: 300/300 V

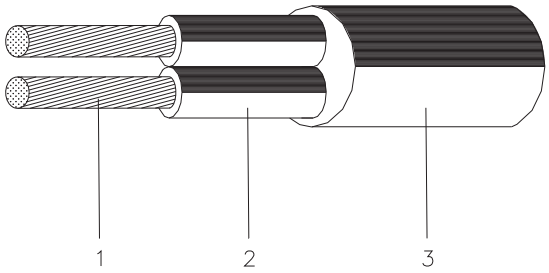


Figura 58 - Cabos do Tipo H03 VV H2 - F

Descrição:

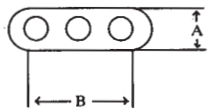
1) Alma condutora da classe 5
2) Isolamento a PVC
3) Bainha exterior de PVC

Utilização:

Em instalações semi-fixas ou móveis em exteriores ou interiores. Utilizado para comando e sinalização.

Quadro 120 - Características dos cabos H03 VV H2 - F

Secção mm²	ESPESSURA DO ISOLAMENTO (mm)	2 CONDUTORES				3 CONDUTORES				4 CONDUTORES			
		DIM. EXT. APROX. mm		PESO APROX.	I MÁX. ADM.	DIM. EXT. APROX. mm		PESO APROX.	I MÁX. ADM.	DIM. EXT. APROX. mm		PESO APROX.	I MÁX. ADM.
		A	B	Kg/Km	A	A	B	Kg/Km	A	A	B	Kg/Km	A
0,75	0,6	3,8	6,2	40	14	4,0	8,8	60	12	4,2	11,3	85	10
1	0,6	4,0	6,5	45	17	4,2	9,2	70	15	4,4	11,7	95	13
1,5	0,7	4,5	7,5	65	22	4,6	11,0	95	20	5,0	14,4	130	18
2,5	0,8	5,3	9,0	90	30	5,5	13,5	150	28	5,7	17,0	180	24
4	0,8	5,9	10,0	140	38	6,5	15,0	195	37	6,4	19,0	260	31
6	1,0	6,5	11,5	190	48	7,5	16,5	250	46	7,0	21,4	375	39



Os valores de intensidades máximas admissíveis referem-se às condições seguintes:

— Regime permanente;

— Temperatura ambiente de 30 °C e temperatura máxima junto à alma condutora de 70 °C.

9 - Cabo do Tipo H03VV - F

Norma de fabrico: NP - 2356

Tensão estipulada: 300/300 V

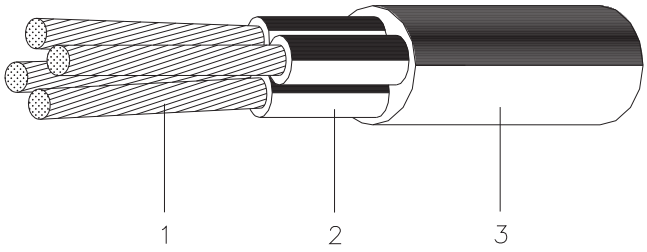


Figura 59 - Cabos do Tipo H03VV - F

Descrição:

1) Alma condutora flexível de cobre
2) Isolamento de PVC
3) Bainha exterior de PVC

Utilização:

Utilizado nas ligações dos aparelhos domésticos em sinalização e comando.

Quadro 121 - Características dos cabos H03VV - F

SECÇÃO (mm^2)	ø EXT. APROX. (mm)	PESO APROX. (Kg/Km)	I MÁX. ADMISSÍVEL (A)
2 x 0,5	5,2	34	10
2 x 0,75	5,6	41	13,5
3G 0,5	5,5	44	10
3G 0,75	6,0	54	13,5
4G 0,5	6,1	54	10
4G 0,75	6,5	66	13,5

Cabos Isolados Agrupados em Feixe (Torçada)

Capítulo V.IV

5.4 - Introdução

As redes de distribuição aérea de baixa tensão, que eram constituídas em condutores nus de cobre, alumínio ou liga de alumínio, apoiadas em isoladores, foram praticamente substituídas por redes aéreas isoladas, constituídas por «condutores isolados agrupados em feixe (torçadas), do tipo LXS e XS».

Há dois sistemas com grande aplicação: «sistema sem neutro tensor» e «sistema com neutro tensor».

O **sistema sem neutro tensor** (figura 60) consiste num feixe de condutores de igual secção, tanto para o neutro, como para as fases. A alma condutora é em alumínio multifilar compactado, sendo igual para todos os condutores, nas secções normalizadas. O esforço de tracção aplicado sobre o cabo é suportado pelos condutores principais. Este sistema «cabo torçada LXS e XS» foi adoptado em Portugal pela EDP/EP (DMA C33-209/N - Cabos Isolados para Redes de Energia).

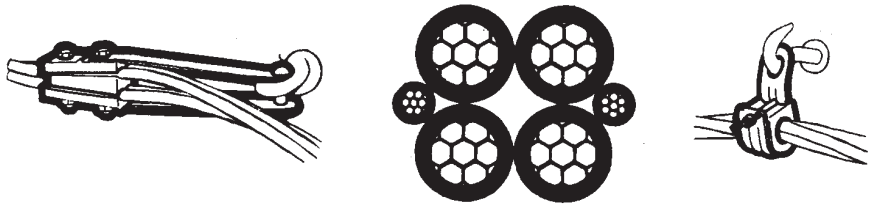


Figura 60 - Sistema sem neutro tensor

O **sistema com neutro tensor** (figura 61) consiste num feixe de condutores de fase, cableados à volta do condutor neutro, que além da função eléctrica, serve de fio tensor do conjunto. Os condutores de fase são em alumínio multifilar nas diversas secções normalizadas e o neutro tensor, também multifilar, é em liga de Al + Si + Mg normalmente de 54,6 mm^2 ou 80 mm^2 de secção, comercialmente designado por Almelec.

Este sistema é aplicado, principalmente, em França e em Espanha.

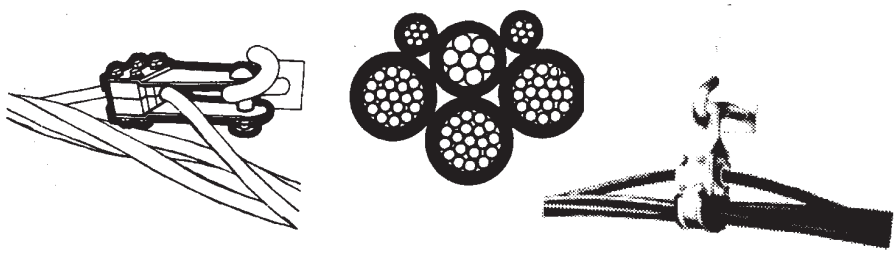


Figura 61 - Sistema com neutro tensor

Campo de aplicação dos cabos torçada: os cabos torçada aplicam-se, principalmente, nas redes rurais de distribuição pública.

Vantagens das Redes Aéreas Isoladas

A utilização, em Portugal, das redes aéreas isoladas veio proporcionar as seguintes vantagens, relativamente às redes aéreas nuas:

Na qualidade de serviço:

— diminuição do tempo de interrupção do fornecimento eléctrico, durante a eventual substituição dos troços de rede danificados;

— possibilidade de montagem, quer de novos circuitos, quer na derivação de circuitos já existentes, sem necessidade de interrupção do fornecimento de energia.

— diminuição do número de avarias, ocorridas durante a exploração das redes.

Na economia:

— redução da altura dos postes e apoios, por necessitarem de menor distância ao solo e entre condutores;

— redução da probabilidade de incêndio, originado por sobreintensidade ou queda de condutores nas proximidades da rede, nomeadamente, em zonas arborizadas;

— redução do custo da montagem da rede;

— redução do número de árvores a abater.

Na segurança:

— maior facilidade e segurança na execução dos trabalhos de conservação e exploração (possibilidade de efectuar trabalhos em tensão);

— diminuição dos riscos de contactos acidentais com peças em tensão ou entre condutores.

Na estética:

— diminui o espaço visual ocupado, em relação às redes nuas, mais notado no caso de redes em fachada;

— redução do impacto ambiental, pela redução da quantidade de árvores a abater na instalação da rede;

— melhor integração na paisagem rural e facilidade de integração nos meios urbanos (montagem nas fachadas dos edifícios).

Designação:

As torçadas são designadas pelas letras LXS ou XS, consoante se trate de condutores com almas em alumínio ou em cobre, o tipo de isolante e o tipo de aplicação. Às referidas letras, seguem-se o número de condutores constituintes da torçada e a secção nominal. Pode, ainda, ser indicada a tensão nominal dos condutores (0,6/1 kV).

Marcação dos Condutores:

A marcação de identificação de cada um é feita com tinta de cor branca:

- as fases são marcadas com «um», «dois» e «três» e comportam os algarismos 1, 2 e 3;
- o condutor de fase « um» é marcado com «X», além da indicação do número;
- os condutores de iluminação pública são marcados com «IPl» e «IP2»;
- o neutro leva a identificação do fabricante.

Além das marcações indicadas, poderá levar, eventualmente, o ano de fabrico e a marca do cliente.

As marcações referidas são espaçadas, no máximo, de 50 mm.

5.4.1 - Características Gerais das Redes em Torçada

5.4.1.1- Cabos

— Alma condutora das fases e neutro (não tensor)

A alma condutora é multifilar cableada, de secção recta circular, em:

- alumínio duro ou 3/4 duro, para as secções de 16, 25, 35, 50, 70 e 95 mm^2.
- cobre macio, para as secções de 4, 6 e 10 mm^2.

— Neutro tensor

- liga de alumínio, magnésio e silício normalmente nas secções de 54,6 e 80 mm^2

— Isolamento:

O isolamento de cada um dos condutores constituintes do feixe é:

- obtido por extrusão;
- em polietileno reticulado (PEX).

— Agrupamento dos condutores:

Os condutores são agrupados em feixe, com as seguintes designações:

• almas condutoras em **alumínio**:

LXS 2x16	LXS 4x16+Kx16	LXS 4x95+Kx16
LXS 3x16	LXS 4x25+Kx16	LXS 4x95+Kx25
LXS 3x25	LXS 4x35+Kx16	
LXS 3x35	LXS 4x50+Kx16	
LXS 3x50	LXS 4x70+Kx16	

K = 0, 1, 2

• almas condutoras em **cobre:**

XS 2x4	XS 4x6
XS 2x6	XS 4x10
XS 2x10	

As características dimensionais e eléctricas estão mencionadas nos quadros 122 e 123.

Quadro 122 - Características Dimensionais dos Condutores Utilizados nos Cabos Torçada

SECÇÃO (mm)	ESPESSURA NOMINAL DO ISOLAMENTO (mm)	DIÂMETRO MÁXIMO EXTERIOR (mm)	PESO APROXIMADO (kg/km)	FORÇA MÍNIMA DE ROTURA (N)
ALUMÍNIO				
16	1,2	7,9	68	1900
25	1,4	9,6	105	3000
35	1,6	11,1	144	4200
50	1,6	12,3	185	6000
70	1,8	14,3	265	8400
95	1,8	15,6	335	11400
LIGA DE ALUMÍNIO				
54,6	1,6	13,0	220	16600
COBRE				
4	1,0	4,9	48	800
6	1,2	5,9	70	1200
10	1,2	7,0	110	2100

Quadro 123 - Características Dimensionais e Eléctricas dos Cabos Torçada

SECÇÃO (mm²)	DIÂMETRO APARENTE (mm)	PESO APROXIMADO (kg/km)	INTENSIDADE ADMISSÍVEL (A)		INTENSIDADE CURTO-CIRCUITO ADMISSÍVEL (1s) (kA)	QUEDA DE TENSÃO (ΔU = V/A. km) COS φ = 0,8
			30 °C	40 °C		
ALUMÍNIO						
2 x 16	13,0	143	93	85	1,39	4,03
4 x 16	17,0	285	82	75	1,39	3,49
4 x 16 + 16	18,4	355	82	75	1,39	3,49
4 x 25	20,4	440	109	100	2,16	2,23
4 x 25 + 16	21,0	510	109	100	2,16	2,23
4 x 25 + 2 x 16	22,5	580	109	100	2,16	2,23
4 x 35	23,2	575	131	120	3,05	1,63
4 x 35 + 16	26,0	645	131	120	3,05	1,63
4 x 35 + 2 x 16	26,7	715	131	120	3,05	1,63
4 x 50	28,3	780	163	150	4,35	1,22
4 x 50 + 16	29,5	850	163	150	4,35	1,22
4 x 50 + 2 x 16	29,5	920	163	150	4,35	1,22
4 x 70	34,0	1110	207	190	6,09	0,871
4 x 70 + 16	34,7	1180	207	190	6,09	0,871
4 x 70 + 2 x 16	34,7	1250	207	190	6,09	0,871
4 x 95	38,6	1340	252	230	8,27	0,694
4 x 95 + 16	39,1	1410	252	230	8,27	0,694
4 x 95 + 2 x 16	39,6	1480	252	230	8,27	0,694
COBRE						
2 x 4	8,3	92	38	35	540	9,54
2 x 6	10,0	150	60	55	810	6,40
4 x 6	12,6	300	55	50	810	5,55
2 x 10	11,4	240	82	75	1350	3,85
4 x 10	14,0	480	76	70	1350	3,33

5.4.1.2 - Acessórios de Montagem de uma Rede em Torçada

A execução de uma rede aérea, com cabo torçada, exige a utilização de acessórios próprios, quer para a fixação dos condutores, quer para as ligações dos mesmos no plano eléctrico, sem os quais não poderá ser garantido um funcionamento seguro.

Com a grande variedade de execuções possíveis para uma rede em torçada (redes montadas em postes, nas fachadas dos edifícios, etc.), a gama de acessórios disponível é, no entanto, suficientemente versátil, para satisfazer todas as solicitações geralmente encontradas.

Os principais acessórios que equipam uma rede são enumerados a seguir:

— pinças de amarração;

— pinças de suspensão;

— ligadores bimetálicos;

— berços de guiamento;

— ganchos;

— seccionadores, com ou sem caixa de fusíveis;

— uniões de cravação;

— mangas termoretrácteis.

5.4.1.3 - Tipo de Montagem

Uma das principais razões do sucesso das redes em cabo torçada é a possibilidade de adaptação destas a percursos de difícil execução, com outro tipo de canalizações. Descrevemos, a seguir, os principais tipos de montagem utilizados:

— **redes tensas em fachada:** o cabo fica sob tensão mecânica. Devem ser aplicadas nos casos em que a forma dos edifícios permita vencer vãos superiores a 10 m. Não é necessário o recurso a postes;

— **redes pousadas em fachada:** o cabo está sem tensão mecânica. Devem ser aplicadas nos casos em que a forma dos edifícios não permita alinhamento ou as fachadas não suportem os esforços resultantes das tensões mecânicas;

— **redes tensas em apoios:** o cabo está montado, sob tensão mecânica, em apoios (postes, postaletes ou consolas). Devem ser aplicadas quando não houver possibilidade de aplicar outros tipos de montagem.

5.4.1.4 - Postes

Dos tipos de montagem atrás descritos, são as redes tensas em apoios, as que mais se utilizam, atendendo, quer à sua extensão, quer à secção dos cabos que utilizam. Os apoios correntemente usados são os postes de madeira ou de betão, os quais enumeraremos a seguir, assim como a regulamentação em vigor:

— postes de betão:

o fabrico dos postes de betão deve respeitar o disposto nas normas NP-261 e P-628. As ligações à terra dos postes de betão devem respeitar o disposto na norma P-628. Estas são constituídas por condutores de cobre nu, com 25 mm^2 de secção, protegidos por tubos isolantes até 2,5 m acima do solo e 0,45 m abaixo deste.

Dimensões Principais

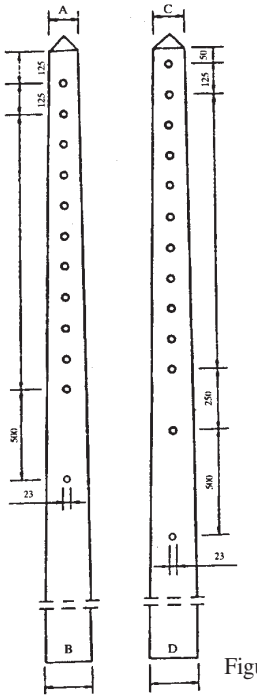


Figura 62 - Esquema dos postes de betão

Quadro 124 - Dimensões dos postes de betão

Solicitação nominal		A	B	C	D
Kgf*	kN*	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)
1	1,0	120	145	100	115
200	2,0	120	145	100	115
400	3,9	140	180	110	140
800	7,8	170	210	130	160

* Unidades ainda usadas comercialmente

— postes de madeira:

o fabrico dos postes de madeira deve respeitar o disposto na norma NP-267. Estes são os mais indicados para as redes em torçada (aspecto económico, paisagístico e maior facilidade de transporte, em zonas rurais de difícil acesso).

Dimensões Principais

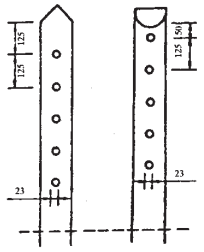


Figura 63 - Esquema dos postes de madeira

Quadro 125 - Dimensões dos postes de betão

REFERÊNCIA DOS POSTES	COMPRIMENTO TOTAL h (m)	DIÂMETRO DA SECÇÃO DO TOPO d (mm)	DIÂMETRO DA SECÇÃO TRANSVERSAL A 1 m DA BASE D (mm)	ALTURA ÚTIL (m)	SOLICITAÇÃO NOMINAL (kN)
A 7	7	150	200	5,80	2,16
A 8	8	150	205	6,70	1,96
A 9	9	150	210	7,60	1,76
A 10	10	150	220	8,50	1,76
B 7	7	130	180	5,80	1,57
B 8	8	130	185	6,70	1,37
B 9	9	130	190	7,60	1,27
B 10	10	130	200	8,50	1,27

Na secção seguinte (5.4.2) iremos abordar, entre vários aspectos do dimensionamento das redes, aquele relacionado com o cálculo de postes.

5.4.2 - Dimensionamento das Redes em Torçada

A tensão estipulada das redes em torçada é 0,6/1 kV, que corresponde à tensão que define o limite de uma rede BT. Actualmente, o uso de cabos torçada já se estendeu até ao domínio da média tensão, estando em preparação a documentação, que trata a utilização deste tipo de redes.

5.4.2.1- Escolha da Secção da Alma Condutora

A escolha da secção da alma condutora dos cabos torçada é feita nas páginas seguintes, sob o ponto de vista eléctrico e térmico. Para uma melhor compreensão do método a seguir, é aconselhável a consulta do capítulo II deste guia técnico.

1 - Determinação da Intensidade a Transmitir em Regime Normal

O cálculo da intensidade a transmitir é igual ao efectuado na secção 2.2.1. Os coeficientes de simultaneidade, a aplicar nas instalações de utilização, estabelecidas em locais residenciais ou de uso profissional, que condicionam o valor da potência instalada a considerar, são os seguintes:

— para as canalizações principais, os factores de correcção são obtidos pela fórmula:

$$C = 0,2 + \frac{0,8}{\sqrt{n}}$$

C = coeficiente de simultaneidade
n = número de instalações a alimentar

— para os ramais, os factores de correcção estão indicados no quadro seguinte:

Quadro 126 - Factores de correcção

Números de instalações de utilização situadas a jusante	Coeficiente de simultaneidade
Até 4	1,00
5 a 9	0,78
10 a 14	0,63
15 a 19	0,53
20 a 24	0,49
25 a 29	0,46
30 a 34	0,44
35 a 39	0,42
40 a 49	0,41
50 e mais	0,40

2 - Secção Necessária para o Aquecimento em Regime Permanente

A intensidade máxima admissível ou capacidade de transporte, em regime permanente, é o valor da intensidade que provoca, no estado de equilíbrio térmico, o aquecimento da alma dos condutores até ao valor máximo permitido e que para os cabos torçada é igual a 90 °C. Através do cálculo da intensidade fictícia (secção 2.2.2) e Quadro 123 obteremos a secção mais aconselhável.

3 - Secção Necessária para o Aquecimento em Regime Variável

O cálculo da secção das almas condutoras, quando forem previstos regimes de carga variáveis, é apresentado na secção 2.2.3. Os cabos torçada terão que ser protegidos contra eventuais sobrecargas não consideradas no dimensionamento dos mesmos. As características dos aparelhos de protecção deverão satisfazer as condições que figuram na secção 3.2 .

4 - Secção Necessária para o Aquecimento em Caso de Curto-Circuito

Em caso de curto-circuito, os cabos terão que suportar a passagem de intensidades de corrente muito superiores às consideradas em regime permanente. No quadro 123, estão indicadas as correntes de curto-circuito máximas admissíveis, durante um segundo, para as secções normalizadas dos cabos torçada. Caso seja necessário um estudo mais aprofundado, na secção 2.2.4 apresenta-se o método de cálculo que relaciona o tempo de duração do curto-circuito, a secção e composição da alma condutora com o valor da intensidade de curto-circuito.

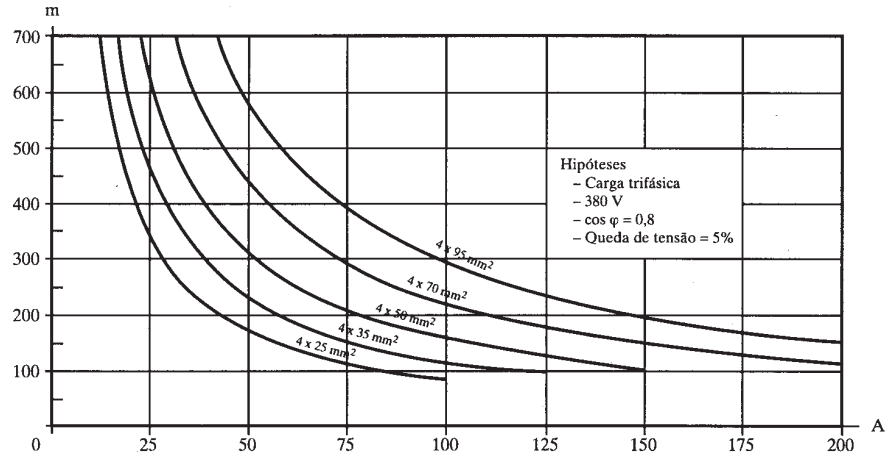
5 - Secção Necessária para a Queda de Tensão

Com a extensão, geralmente grande, rede de redes em torçada, teremos que garantir uma tensão em qualquer ponto de utilização, que permita um funcionamento

satisfatório por parte dos receptores a alimentar. Na secção 2. 2. 5, é apresentado o método de cálculo da secção da alma condutora que permite não ultrapassar a queda de tensão máxima admissível.

Apresentamos, a seguir, um método simplificado, através de um ábaco (gráfico 24) que nos dá as secções das almas condutoras, em função das piores situações encontradas.

Gráfico 24 - Ábaco para Determinação da Secção



6 - Secção Necessária do Ponto de Vista Eléctrico

Das secções para as almas condutoras, anteriormente calculadas, escolhemos aquela de maior valor e, para a secção do cabo torçada, escolhemos a secção normalizada, imediatamente superior a esta.

A secção necessária do ponto de vista económico é calculada segundo o método descrito em 2.2.7.

5.4.2.2 - Cálculo Mecânico e Condições de Montagem

1 - Instalação dos Cabos

A instalação de uma rede aérea tensa em apoios é condicionada por vários factores, nomeadamente, peso dos condutores, distância entre apoios, acção do vento, etc, que constituem as principais solicitações mecânicas às quais o cabo é sujeito.

A figura 64 especifica os parâmetros a considerar, aquando da montagem do cabo entre dois apoios (vão).

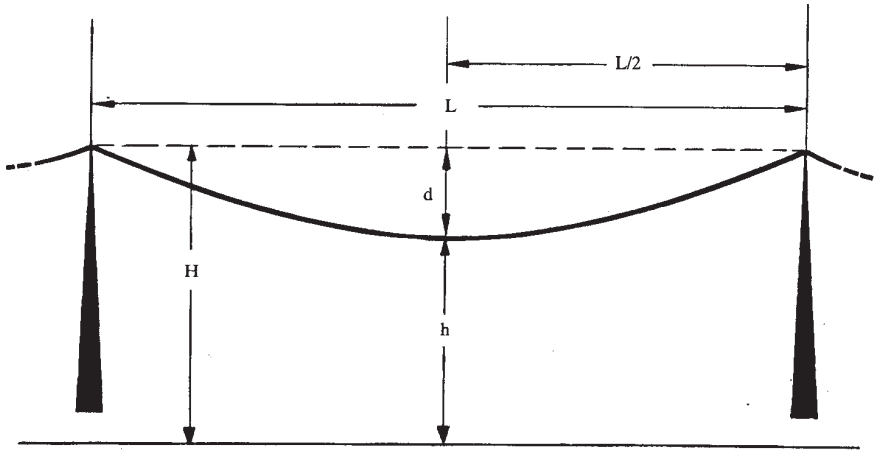


Figura 64 - Montagem do cabo entre dois apoios

h = altura mínima ao solo, m
H = altura dos apoios (não considerando a altura da fundação), m
d = flecha a meio vão, m
L= vão, m

Nos quadros 129 a 132 estão indicados os valores das flechas (f) na montagem, em função da temperatura ambiente no momento da montagem, dos vãos (a) e dos vários tipos de cabo torçada. Estes valores são designados por tabelas de regulação e estão calculados, para que não seja ultrapassado o esforço de tracção máximo (T), aplicado ao cabo.

2 - Tensões Máximas nos Cabos

O quadro 127 fornece os valores da tensão máxima (σ máx.) a aplicar aos feixes das diferentes secções utilizadas. Partindo da força mínima de ruptura (N) da alma de cada condutor (ver quadro 122) e considerando um coeficiente de segurança igual a 2,5, obtemos a tensão máxima atrás referida.

Quadro 127 - Tensão máxima nos cabos

S (mm^2)	TÉCNICA ESCANDINAVA		
	σ Rot/2,5 (N/mm^2)	σ máx. (N/mm^2)	T (N)
(1)			
16	47,5	47,5	3040
25	48	48	4800
50	48	30	6000
70	48	21	5880
95	48	16	6080
(2)			
6	80	80	1920
10	84	84	3360

(1) almas condutoras em alumínio
(2) almas condutoras em cobre

A tracção máxima (T), obtida para um feixe de quatro condutores, considera que a força aplicada é igual em todos os condutores do feixe (é necessário que os quatro condutores estejam bem fixos e de maneira igual para todos, pela cunha da pinça). Os valores de T foram calculados por forma a não se exceder uma força máxima de 6 kN, a fim de reduzir os esforços sobre os apoios nos ângulos, derivações e fins de linha.

Os valores das flechas indicados nos quadros 129 a 132 foram calculados para os valores que figuram no quadro 127 anterior, a partir da equação de mudança de estado.

3 - Verificação da Estabilidade dos Apoios de Betão

O emprego dos postes de betão, como apoios das redes aéreas isoladas, é hoje em dia a solução encontrada na grande maioria dos casos, sendo os postes de madeira reservados para aplicação em locais de difícil acesso, o que os torna preferíveis aos postes de betão, devido ao seu peso inferior. Há, ainda, a salientar o emprego dos postes de madeira, em casos em que o aspecto paisagístico é importante (por exemplo, redes em zonas florestais ou parques naturais).

Para o cálculo da estabilidade dos apoios de betão, aplica-se a seguinte simbologia:

T = tracção máxima do feixe da linha principal, N;
T_D = tracção máxima do feixe da linha derivada, N;
d = diâmetro aparente do feixe, mm;
a_m = semi-soma dos vãos adjacentes, m;
α = coeficiente de redução;
c = coeficiente de forma;
q = pressão dinâmica do vento, N/m^2.

Observações:

— sempre que as grandezas se refiram a linhas derivadas, o seu símbolo será afectado de um apóstrofo (exemplo: d'= diâmetro aparente do feixe da linha derivada);

— as forças resultantes da aplicação das fórmulas seguintes são expressas em Newton (N).

Apoios de Alinhamento

Nos apoios de alinhamento, havendo igualdade de tensão mecânica e de secções, o esforço sobre os apoios resume-se ao esforço devido ao vento:

$$F_v = \alpha \cdot c \cdot q \cdot s$$

a = 0,6
c = 1,3
q = 0,75 x 750 = 563 N/m^2 (75% do valor fixado no R.S.L.A.T.)
s = área da superfície batida pelo vento, m^2

$$s = d \cdot a \cdot 10^{-3}$$

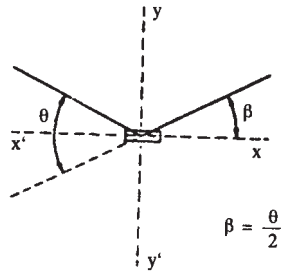
então $F_v = 439 \cdot d \cdot a_m \cdot 10^{-3}$

Sempre que exista desigualdade de tracções, resulta um esforço longitudinal que deve ser considerado na escolha dos apoios.

Apoios de ângulo

Nos apoios de ângulo o esforço é determinado pela expressão:

$$F = 2T\text{sen}\frac{\theta}{2} + 439.d.a_m \cos^2\frac{\theta}{2}.10^{-3}$$



onde θ é o ângulo de desvio do traçado.

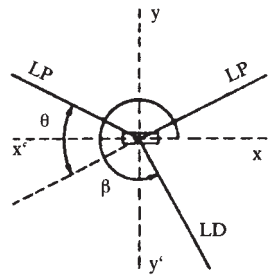
Apoios de Derivação

Para o cálculo dos apoios de derivação, consideramos o vento a actuar normalmente à direcção da linha principal (se o poste for de alinhamento), ou segundo a bissectriz do ângulo da linha principal:

— esforço no sentido da bissectriz do ângulo da linha principal:

$$F = 439\left(d.a_m \cos^2\frac{\theta}{2} d'\frac{a'}{2}\cos^2\beta\right).10^{-3}N +$$

$$+ 2T\text{sen}\frac{\theta}{2} T_D \text{sen}\beta N$$



onde **a'** é o comprimento do vão da linha derivada adjacente.

— esforço no sentido normal à bissectriz do ângulo da linha principal:

$F_x = T_d \cos\beta$

Apoios de Fim de Linha

Para o cálculo dos apoios de fim de linha deve-se considerar o vento a actuar perpendicularmente à linha.

Esforço no sentido perpendicular à linha:

$$Fy = 439 . d . \frac{a}{2} . 10^{-3}$$

a = comprimento do vão adjacente ao poste, m

Esforço na direcção da linha:

$F_x = T$

No quadro 128 indicam-se os esforços do vento (Fv) nos apoios de alinhamento (valores expressos em newton).

Quadro 128 - Esforços do vento (Fv) nos apoios de alinhamento

a (m) / S (mm²)	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	75	90
2 x 6	50	75	100	125	150	175	200	225	250	275	300	325	375	450
2 x 10	55	85	110	140	165	195	220	250	280	305	330	360	415	500
4 x 6	60	90	120	150	180	210	240	270	300	330	360	390	450	540
4 x 10	70	105	140	175	210	245	280	315	350	385	420	455	525	630
4 x 15 + 16	90	135	180	225	270	315	360	405	450	495	540	585	675	810
4 x 25 + 16	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550	600	650	750	900
4 x 50 + 16	130	195	260	325	390	455	520	585	650	715	730	845	975	1170
4 x 70 + 16	150	225	300	375	450	525	600	675	750	825	900	975	1125	1350
4 x 95 + 16														

Valores para os quais não se utilizam os postes de 100 kgf (980 N).

4 - Aplicação das Espias

Sempre que a estabilidade de um poste necessite de um reforço, é aconselhável a aplicação de espias. Estas são constituídas por cabos ou varetas com elos de ligação robustos, de aço galvanizado, possuindo uma força de rotura mínima de 600 daN. Os arames ou fios constituintes dos cabos não devem ter um diâmetro inferior a 3 mm.

Na parte enterrada das espias e numa extensão de 0,50 m fora do solo, deve ser utilizado varão de aço de diâmetro não inferior a 12 mm, devidamente protegido contra a corrosão.

O espiamento dos postes é uma técnica que pode ser conveniente, nomeadamente, nos casos seguintes:

— apoios de ângulo, com esforço à cabeça elevado;

— apoios terminais de rede, em que a ampliação desta possa transformá-los em apoios de ângulo ou de alinhamento;

— apoios de alinhamento ou de ângulo em que se faça uma derivação.

As espias devem ser fixadas aos apoios, no furo imediatamente abaixo do das ferragens de fixação das pinças.

Na parte enterrada é utilizada uma ancora ou maciço que assegure uma conveniente amarração da espia.

Dimensionamento das Espias

No dimensionamento das espias deve atender-se a que o ângulo que a espia faz com a vertical não seja inferior a 30°C, ou seja, de acordo com a figura 65:

$$\text{arc tg}\alpha \geq 0{,}6\left(\frac{d}{h}\right)$$

O valor da força Fe a suportar pela espia, é calculado pela expressão:

$$Fe = \frac{F}{\text{sen}\alpha}, N$$

F = resultante das forças de tracção dos condutores

O valor da força vertical descendente Fa a suportar pelos apoios é calculado pela expressão:

$$Fa = \frac{F}{\text{tg}\alpha}, N$$

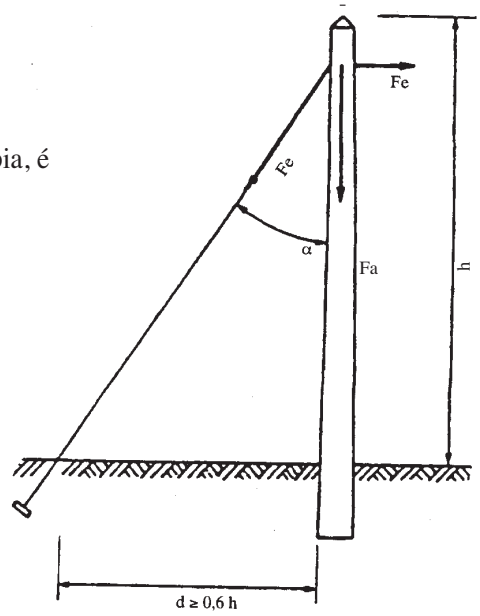


Figura 65 - Dimensionamento das espias

Exemplo:

Considerando que o esforço a suportar pelo apoio é de 6 000 N (sem espia) e que o ângulo α é de 40°, o valor a suportar pela espia é:

$$Fe = \frac{6\ 000}{\text{sen } 40^{o}} = 9\ 334\,N$$

e o valor da força vertical a suportar pelo apoio é:

$$Fa = \frac{6\ 000}{\text{tg } 40^{o}} = 7\ 151\,N$$

Como se verifica, o esforço devido à acção dos condutores (que sem espia seria inteiramente suportado pelo apoio) é totalmente suportado pela espia. O apoio apenas está sujeito ao esforço vertical.

5.4.2.3 - Tabelas de Regulação

Quadro 129 - Cabo Torçada LXS 4 x 16 + K x 16 (K = 0, 1, 2)

DADOS	$S = 4 \times 16\ mm^2$ $P = 0{,}36\ kg/m$ $\phi = 29{,}4\ mm$		$q = 563\ MPa$ $\theta_{inv.} = 0\,°C$ $\theta_{prim.} = +15\,°C$		$c = 1{,}3$ $\alpha = 23 \times 10^{-6}\,°C^{-1}$ $E = 56000\ N/mm^2$		$\sigma_{máx.} = 50\ N/mm^2$ $a_c = 36\ m$			
a (m)	0 °C		10 °C		20 °C		30 °C		40 °C	
	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)
5	0	3195	0	2375	1	1560	1	795	3	330
10	1	3180	2	2370	3	1590	5	920	8	535
15	3	3160	4	2365	6	1630	10	1040	14	700
20	6	3125	8	2360	11	1670	16	1155	21	840
25	9	3080	12	2350	16	1715	22	1255	29	965
30	13	3035	17	2340	23	1760	30	1340	38	1070
35	18	2985	24	2335	31	1800	39	1420	47	1165
40	27	2690	34	2125	42	1695	52	1390	61	1180
45	38	2380	47	1925	57	1590	67	1355	77	1185
50	53	2120	64	1770	74	1510	85	1325	95	1185
55	71	1920	82	1650	94	1455	104	1305	115	1185
60	91	1770	103	1565	115	1410	126	1285	136	1190
65	114	1660	127	1500	138	1375	149	1275	160	1190
70	140	1580	152	1455	163	1350	175	1260	185	1190
75	167	1520	179	1415	191	1330	202	1255	213	1190
80	196	1470	208	1385	220	1310	231	1245	242	1190
85	227	1435	239	1360	251	1300	262	1240	273	1190
90	260	1405	272	1340	284	1285	295	1235	306	1190
a_c	19	2980	25	2330	32	1810	40	1435	49	1180

a - vão (m) f - flecha (cm) T - tracção (n)

Quadro 130 - Cabo Torçada LXS 4 x 25 + K x 16 (K = 0, 1, 2)

DADOS	$S = 4 \times 25\ mm^2$ $P = 0{,}512\ kg/m$ $\phi = 23{,}4\ mm$		$q = 563\ MPa$ $\theta_{inv.} = 0\ °C$ $\theta_{prim.} = +15\ °C$		$c = 1{,}3$ $\alpha = 23 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$ $E = 56000\ N/mm^2$			$\sigma_{máx.} = 50\ N/mm^2$ $a_c = 49\ m$		
a (m)	0 °C		10 °C		20 °C		30 °C		40 °C	
	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)
5	0	4995	0	3715	1	2440	1	1230	3	485
10	1	4985	2	3715	3	2480	5	1405	8	780
15	3	4960	4	3720	6	2540	9	1590	14	1040
20	5	4930	7	3720	10	2620	15	1760	20	1250
25	8	4900	11	3730	15	2690	21	1920	28	1440
30	12	4160	15	3730	21	2770	28	2060	36	1610
35	16	4810	21	3740	28	2840	36	2190	45	1760
40	21	4770	27	3745	35	2910	44	2310	54	1900
45	27	4720	35	3750	44	2980	54	2420	64	2030
50	35	4590	43	3690	53	2990	64	2480	76	2120
55	46	4240	56	3470	67	2880	79	2450	91	2130
60	59	3930	70	3170	83	2780	95	2420	107	2140
65	74	3660	87	3120	100	2700	113	2390	125	2150
70	91	3440	105	2990	119	2640	132	2370	145	2160
75	110	3260	125	2880	139	2590	153	2360	166	2170
80	132	3110	147	2790	161	2540	175	2340	188	2180
85	155	2990	170	2720	184	2510	198	2330	212	2180
90	179	2890	194	2670	209	2480	223	2320	237	2190
a_c	33	4680	40	3755	50	3025	61	2490	72	2115

Quadro 131 - Cabo Torçada LXS 4 x 50 + K x 16 (K = 0, 1, 2)

DADOS	$S = 4 \times 50\ mm^2$ $P = 0{,}848\ kg/m$ $\varnothing = 29{,}9\ mm$		$q = 563\ MPa$ $\theta_{inv.} = 0\,°C$ $\theta_{prim.} = +15\,°C$		$c = 1{,}3$ $\alpha = 23 \times 10^{-6}\,°C^{-1}$ $E = 56000\ N/mm^2$		$\sigma_{máx.} = 30\ N/mm^2$ $a_c = 45\ m$			
a	0 °C		10 °C		20 °C		30 °C		40 °C	
(m)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)
5	0	5990	1	3460	2	1305	4	600	6	420
10	2	5960	3	3555	6	1775	10	1070	13	800
15	4	5920	6	3680	11	2165	16	1470	21	1145
20	7	5860	11	3815	17	2490	23	1815	29	1460
25	11	5795	17	5795	24	2765	31	2120	38	1750
30	17	5725	23	4060	32	3005	40	2385	48	2005
35	23	5660	31	4165	40	3210	50	2625	58	2245
40	30	5660	40	4260	50	3390	60	2835	69	2460
45	39	5530	49	4340	60	3550	71	3025	81	2655
50	52	5085	64	4145	76	3510	87	3060	97	2740
55	68	4720	81	3985	93	3465	104	3085	115	2800
60	86	4440	99	3860	111	3430	123	3105	134	2855
65	106	4230	119	3760	132	3405	143	3120	155	2900
70	128	4070	141	3685	154	3380	166	3135	177	2935
75	151	3945	165	3625	177	3360	189	3150	201	2965
80	176	3845	190	3575	203	3350	215	3160	227	2995
85	203	3775	217	3535	230	3335	242	3165	254	3020
90	232	3705	245	3500	258	3325	271	3170	283	3040
a_c	39	5530	50	4350	61	3560	72	3035	82	2665

Quadro 132 - Cabo Torçada LXS 4 x 70 + K x 16 (K = 0, 1, 2)

DADOS	$S = 4 \times 70\ mm^2$ $P = 1{,}156\ kg/m$ $\varnothing = 34{,}7\ mm$		$q = 563\ MPa$ $\theta_{inv.} = 0\,°C$ $\theta_{prim.} = +15\,°C$		$c = 1{,}3$ $\alpha = 23 \times 10^{-6}\ °C^{-1}$ $E = 56000\ N/mm^2$		$\sigma_{máx.} = 20\ N/mm^2$ $a_c = 36\ m$			
a	0 °C		10 °C		20 °C		30 °C		40 °C	
(m)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)	f (cm)	T (N)
5	1	5580	2	2310	4	913	6	610	7	480
10	3	5520	5	2770	9	1570	13	1140	16	930
15	6	5445	10	3150	16	2085	20	1605	24	1240
20	11	5360	17	3460	23	2505	29	2005	34	1710
25	17	5280	24	3700	32	2845	38	2355	44	2040
30	25	5215	33	3895	42	3130	49	2655	56	2335
35	34	5160	44	4050	53	3365	61	2915	68	2595
40	48	4775	58	3960	68	3415	76	3030	84	2750
45	66	4420	76	3830	86	3405	95	3090	103	2840
50	86	4180	97	3735	106	3400	115	3130	124	2920
55	109	4015	119	3670	129	3390	138	3165	147	2980
60	134	3900	144	3615	154	3390	163	3195	172	3030
65	160	3810	171	3580	180	2285	190	3215	199	3070
70	189	3740	200	3545	209	3380	219	3235	228	3105
75	220	3690	231	3525	241	3380	250	3250	259	3135
80	254	3645	264	3505	274	3380	284	3260	293	3160
85	289	3610	299	3490	309	3375	319	3270	328	3180
90	327	3580	337	3470	347	3375	357	3280	366	3200
a_c	37	5145	47	4090	56	3425	64	2980	72	2665

Cabos Isolados de Média e Alta Tensão

Capítulo V.V

5.5 - Cabos Isolados de Média e Alta Tensão

5.5.1 - Descrição do processo de fabrico

A SOLIDAL, após vultuoso investimento industrial realizado, adquiriu capacidade para a partir de agora, incluir os cabos isolados de ALTA TENSÂO na sua gama de fabrico.

Efectivamente com o investimento realizado durante o ano de 1998, a SOLIDAL adquiriu a mais recente tecnologia de fabrico e equipamento que lhe permitem fabricar cabos acima dos 45 kV pela 1ª vez em Portugal.

A linha de fabrico agora instalada, linha de Vulcanização em Catenária de Azoto **(CCVL - Continuous Catenary Vulcanization Line)**, está preparada para o fabrico de cabos isolados até aos **225 kV**.

As isolações destes cabos são constituídas pela extrusão de compostos quer de **Polietileno Reticulado (PEX)**, quer de **Borracha de Etileno-Propileno de alto módulo de elasticidade (HEPR)**, satisfazendo ambos as necessidades da globalidade do mercado.

A tecnologia referida mantém a utilização do processo de tripla extrusão simultânea, introduzindo no entanto inovações importantes entre as quais se destacam:

— A operação de reticulação, efectuada em contínuo durante a extrusão, é processada em **atmosfera seca e sobreaquecida de azoto**.
Refira-se a este propósito que os valores normais do conteúdo residual de água neste processo é da ordem dos 30 a 80 ppm, enquanto que no processo de reticulação em água ou vapor se situam acima de 1000 ppm.

— A movimentação/transferência de matérias primas para a alimentação das extrusoras da linha de produção é efectuada em circuito fechado a partir de **salas limpas respeitando as exigências da "classe 1000"**, assegurando deste modo a impossibilidade de contaminação das mesmas antes do seu processamento, minimizando as possibilidades de formação de inclusões ou vacúolos.

— O controlo dimensional dos cabos é efectuado por intermédio de **câmaras "Raios X"**, mediante as quais é possível **controlar, em curso do processo de fabrico, os diâmetros, as espessuras e as excentridades das várias camadas extrudidas**. Em função deste controlo, é realizada permanentemente e com elevada precisão a regulação automática dos parâmetros de fabrico, de modo a que sejam respeitadas os valores pré-estabelecidos.

— A utilização das gerações mais recentes de matérias primas com características melhoradas.

Todo este conjunto de inovações propiciam à SOLIDAL:

- **a melhoria da qualidade "standard" dos cabos produzidos, promovendo uma maior segurança e longevidade das instalações eléctricas que incorporem estes cabos;**
- **o alargamento da sua gama para fabricos do mais elevado nível tecnológico;**
- **a satisfação das exigências técnicas do mercado nacional e internacional, neste sector.**

5.5.2 - Cabos de Média Tensão

Normas de referência:

CEI 60502 - 2; HD 620 51

Características Principais:

Alma condutora:	Alumínio ou cobre multifilar compactado
Semicondutor interior:	Composto semicondutor extrudido
Isolante:	PEX - Polietileno reticulado ou HEPR - Borracha de etileno propileno de alto módulo de elasticidade
Semicondutor interior:	Composto semicondutor extrudido
Blindagem:	Fios e fita de cobre ou fita de cobre
Bainha exterior:	PVC ou PE (de baixa, média ou alta densidade)

Características de bloqueio á penetraçao de humidade:

Estanquidade: longitudinal	No condutor e/ou na blindagem, conforme defenido no Capitulo I, parágrafo 1.2.6 Colocada apenas sob encomenda
Estanquidade: transversal	Sob a bainha exterior, por aplicação de fitas metálicas aderentes á bainha exterior
	Colocada apenas sob encomenda
Protecção mecanica:	Armadura em fitas de aço ou alumínio colocadas apenas sob encomenda

Tipos de Cabo:

Figura 66 — Cabo monopolar

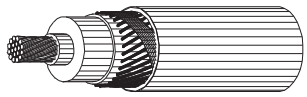


Figura 67 — Cabo tripolar armado

Figura 68 — Torçada aérea

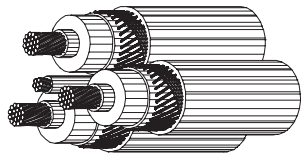
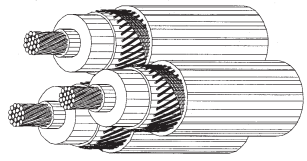


Figura 69 — Trimonopolar



Nota:

1 - Os quadros 133 ao 136, apresentam as características dimensionais e eléctricas dos cabos monopolares de 6/10kV, 8,7/15kV, 12/20kV e 18/30kV. As intensidades admissíveis estão indicadas no ponto 5.5.2.1 (quadro 137), nas condições de instalação indicadas.

2 - Nos quadros 138 a 140 estão indicadas as características dos cabos tripolares, torçada aérea e trimonopolares de média tensão.

Quadro 133 - Características Técnicas

Cabo Monopolar **LXHIV / LXHIOV / XHIV / XHIOV**

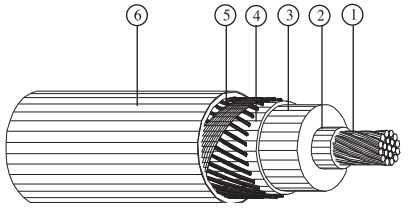
Tensão - 6/10 kV

Características Dimensionais							Características Eléctricas								
Secção Nominal (mm)	Espessura Isolação (mm)	Diâmetro sobre Isolação (mm)	Espessura Baínha (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Peso Aproximado (kg/km)		Resistência eléctrica DC a 20°C (Ω/Km)		Resistência eléctrica AC a 90°C (Ω/Km)		Capacidade C (µF/km)	Indutância L (mH/km)	Reatância XL (Ω/km)	Impedância $Z_{90°C}$ (Ω/km)	
					Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu				Al	Cu
35		15.4	1.6	22.5	600	810	0.868	0.524	1.113	0.668	0.24	0.419	0.132	1.12	0.68
50		16.4	1.7	23.5	660	950	0.641	0.387	0.822	0.493	0.26	0.403	0.127	0.83	0.51
70		18.2	1.7	25.5	760	1180	0.443	0.268	0.568	0.342	0.30	0.378	0.119	0.58	0.36
95		19.8	1.8	27.0	880	1460	0.320	0.193	0.410	0.246	0.33	0.361	0.113	0.43	0.27
120		21.4	1.8	29.0	980	1720	0.253	0.153	0.324	0.195	0.36	0.346	0.109	0.34	0.22
150	3.4	22.7	1.9	30.5	1100	2010	0.206	0.124	0.264	0.158	0.39	0.337	0.106	0.28	0.19
185		24.8	1.9	32.5	1250	2380	0.164	0.099	0.210	0.126	0.43	0.324	0.102	0.23	0.16
240		26.9	2.0	34.5	1460	2950	0.125	0.075	0.160	0.096	0.48	0.313	0.098	0.19	0.14
300		29.2	2.1	37.0	1730	3570	0.100	0.060	0.128	0.077	0.52	0.304	0.095	0.16	0.12
400		31.9	2.2	40.0	2020	4380	0.078	0.047	0.100	0.060	0.58	0.295	0.093	0.14	0.11
500		34.9	2.3	43.0	2400	5490	0.061	0.037	0.078	0.047	0.64	0.286	0.090	0.12	0.10
630		38.9	2.4	47.5	2870	6810	0.047	0.028	0.060	0.036	0.72	0.276	0.087	0.11	0.09

Nota: Os valores da tabela são fornecidos a título indicativo, considerando uma instalação em trevo juntivo.

Descrição:

1 - Alma rígida em alumínio ou cobre
2 - Baínha semicondutora interior
3 - Isolação em PEX
4 - Camada semicondutora exterior
5 - Écran metálico em cobre (fita ou fios e fita)
6 - Baínha exterior em PVC (poderá ser em PE, sob encomenda).



Quadro 134 - Características Técnicas

Cabo Monopolar **LXHIV / LXHIOV / XHIV / XHIOV**

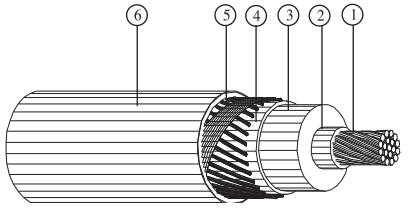
Tensão - 8,7/15 kV

Características Dimensionais							**Características Eléctricas**								
Secção Nominal (mm)	Espessura Isolação (mm)	Diâmetro sobre Isolação (mm)	Espessura Baínha (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Peso Aproximado (kg/km)		Resistência eléctrica DC a 20°C (Ω/Km)		Resistência eléctrica AC a 90°C (Ω/Km)		Capacidade C (μF/km)	Indutância L (mH/km)	Reatância XL (Ω/km)	Impedância $Z_{90°C}$ (Ω/km)	
					Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu				Al	Cu
35		17.6	1.7	25.0	680	900	0.868	0.524	1.113	0.668	0.19	0.440	0.138	1.12	0.68
50		18.6	1.7	26.0	740	1030	0.641	0.387	0.822	0.493	0.21	0.421	0.132	0.83	0.51
70		20.4	1.8	28.0	860	1280	0.443	0.268	0.568	0.342	0.24	0.396	0.124	0.58	0.36
95		22.0	1.8	29.5	970	1550	0.320	0.193	0.410	0.246	0.26	0.377	0.118	0.43	0.27
120		23.6	1.9	31.0	1100	1830	0.253	0.153	0.324	0.195	0.29	0.362	0.114	0.34	0.23
150	4.5	24.9	1.9	32.5	1200	2110	0.206	0.124	0.264	0.158	0.31	0.352	0.110	0.29	0.19
185		27.0	2.0	35.0	1380	2500	0.164	0.099	0.210	0.126	0.34	0.338	0.106	0.24	0.17
240		29.1	2.1	37.0	1600	3080	0.125	0.075	0.160	0.096	0.38	0.327	0.103	0.19	0.14
300		31.4	2.1	39.5	1850	3690	0.100	0.060	0.128	0.077	0.41	0.315	0.099	0.16	0.13
400		34.1	2.2	42.5	2160	4510	0.078	0.047	0.100	0.060	0.45	0.305	0.096	0.14	0.11
500		37.1	2.3	45.5	2540	5630	0.061	0.037	0.078	0.047	0.50	0.296	0.093	0.12	0.10
630		41.1	2.4	49.5	3030	6970	0.047	0.028	0.060	0.036	0.56	0.285	0.090	0.11	0.10

Nota: Os valores da tabela são fornecidos a título indicativo, considerando uma instalação em trevo juntivo.

Descrição:

1 - Alma rígida em alumínio ou cobre
2 - Baínha semicondutora interior
3 - Isolação em PEX
4 - Camada semicondutora exterior
5 - Écran metálico em cobre (fita ou fios e fita)
6 - Baínha exterior em PVC (poderá ser em PE, sob encomenda).



Quadro 135 - Características Técnicas

Cabo Monopolar **LXHIV / LXHIOV / XHIV / XHIOV**

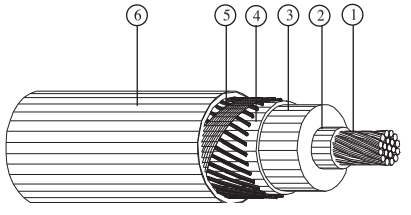
Tensão - 12/20 kV

Características Dimensionais							Características Eléctricas								
Secção Nominal (mm)	Espessura Isolação (mm)	Diâmetro sobre Isolação (mm)	Espessura Baínha (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Peso Aproximado (kg/km)		Resistência eléctrica DC a 20°C (Ω/Km)		Resistência eléctrica AC a 90°C (Ω/Km)		Capacidade C (µF/km)	Indutância L (mH/km)	Reatância XL (Ω/km)	Impedância $Z_{90°C}$ (Ω/km)	
					Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu				Al	Cu
35		19.6	1.8	27.0	770	980	0.868	0.524	1.113	0.668	0.17	0.457	0.144	1.12	0.68
50		20.6	1.8	28.0	830	1130	0.641	0.387	0.822	0.493	0.18	0.438	0.138	0.83	0.51
70		22.4	1.9	30.0	960	1380	0.443	0.268	0.568	0.342	0.21	0.411	0.129	0.58	0.37
95		24.0	1.9	31.5	1080	1660	0.320	0.193	0.410	0.246	0.23	0.391	0.123	0.43	0.28
120		25.6	2.0	33.5	1210	1940	0.253	0.153	0.324	0.195	0.25	0.376	0.118	0.35	0.23
150	5.5	26.9	2.0	34.5	1320	2220	0.206	0.124	0.264	0.158	0.26	0.365	0.115	0.29	0.20
185		29.0	2.1	37.0	1500	2630	0.164	0.099	0.210	0.126	0.29	0.350	0.110	0.24	0.17
240		31.1	2.1	39.0	1710	3200	0.125	0.075	0.160	0.096	0.32	0.337	0.106	0.19	0.14
300		33.4	2.2	41.5	1990	3830	0.100	0.060	0.128	0.077	0.35	0.326	0.103	0.16	0.13
400		36.1	2.3	44.5	2310	4660	0.078	0.047	0.100	0.060	0.38	0.315	0.099	0.14	0.12
500		39.1	2.4	47.5	2710	5800	0.061	0.037	0.078	0.047	0.42	0.305	0.096	0.12	0.11
630		43.1	2.5	52.0	3210	7150	0.047	0.028	0.060	0.036	0.47	0.294	0.092	0.11	0.10

Nota: Os valores da tabela são fornecidos a título indicativo, considerando uma instalação em trevo juntivo.

Descrição:

1 - Alma rígida em alumínio ou cobre
2 - Baínha semicondutora interior
3 - Isolação em PEX
4 - Camada semicondutora exterior
5 - Écran metálico em cobre (fita ou fios e fita)
6 - Baínha exterior em PVC (poderá ser em PE, sob encomenda).



Quadro 136 - Características Técnicas

Cabo Monopolar **LXHIV / LXHIOV / XHIV / XHIOV**

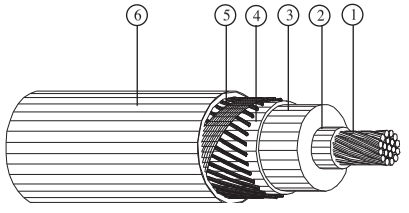
Tensão - 18/30 kV

Características Dimensionais							**Características Eléctricas**								
Secção Nominal (mm)	Espessura Isolação (mm)	Diâmetro sobre Isolação (mm)	Espessura Baínha (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Peso Aproximado (kg/km)		Resistência eléctrica DC a 20°C (Ω/Km)		Resistência eléctrica AC a 90°C (Ω/Km)		Capacidade C (μF/km)	Indutância L (mH/km)	Reatância XL (Ω/km)	Impedância $Z_{90°C}$ (Ω/km)	
					Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu				Al	Cu
35		24.6	1.9	32.0	1010	1220	0.868	0.524	1.113	0.668	0.13	0.493	0.155	1.12	0.69
50		25.6	2.0	33.5	1090	1380	0.641	0.387	0.822	0.493	0.14	0.473	0.149	0.84	0.52
70		27.4	2.0	35.0	1220	1640	0.443	0.268	0.568	0.342	0.16	0.443	0.139	0.58	0.37
95		29.0	2.1	37.0	1360	1940	0.320	0.193	0.410	0.246	0.17	0.423	0.133	0.43	0.28
120		30.6	2.1	39.0	1490	2220	0.253	0.153	0.324	0.195	0.19	0.405	0.127	0.35	0.23
150	8.0	31.9	2.2	40.0	1630	2540	0.206	0.124	0.264	0.158	0.20	0.394	0.124	0.29	0.20
185		34.0	2.2	42.0	1810	2940	0.164	0.099	0.210	0.126	0.22	0.377	0.118	0.24	0.17
240		36.1	2.3	44.5	2060	3550	0.125	0.075	0.160	0.096	0.24	0.363	0.114	0.20	0.15
300		38.4	2.4	47.0	2360	4200	0.100	0.060	0.128	0.077	0.26	0.351	0.110	0.17	0.13
400		41.1	2.5	50.0	2700	5060	0.078	0.047	0.100	0.060	0.28	0.338	0.106	0.15	0.12
500		44.1	2.6	53.0	3130	6220	0.061	0.037	0.078	0.047	0.31	0.327	0.103	0.13	0.11
630		48.1	2.7	57.5	3670	7610	0.047	0.028	0.060	0.036	0.34	0.314	0.099	0.12	0.11

Nota: Os valores da tabela são fornecidos a título indicativo, considerando uma instalação em trevo juntivo.

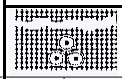
Descrição:

1 - Alma rígida em alumínio ou cobre
2 - Baínha semicondutora interior
3 - Isolação em PEX
4 - Camada semicondutora exterior
5 - Écran metálico em cobre (fita ou fios e fita)
6 - Baínha exterior em PVC (poderá ser em PE, sob encomenda).

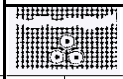
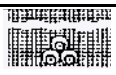
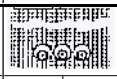


5.5.2.1 - Intensidade em regime permanente para cabos monopolares

Quadro 137- Cabos monopolares isolados a XLPE
Tensão 3,6/6 kV a 18/30 kV

Secção Nominal condutor	Cabos enterrados directamente no solo				Cabos entubados				Instalação ao ar					
	Trevo Juntivo		Esteira horizontal		Trevo juntivo		Esteira horizontal		Trevo Juntivo		Esteira horizontal		Esteira horizontal	
														
mm2	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu
16	84	109	88	113	80	103	81	104	97	125	99	128	116	150
25	108	140	112	144	102	132	103	133	127	163	130	167	153	196
35	129	166	134	172	122	157	123	159	154	198	157	203	185	238
50	152	196	157	203	144	186	146	188	184	238	189	243	222	286
70	186	239	192	246	176	227	178	229	230	296	236	303	278	356
95	221	285	229	293	210	271	213	274	280	361	287	369	338	434
120	252	323	260	332	240	308	242	311	324	417	332	426	391	500
150	281	361	288	366	267	343	271	347	368	473	376	481	440	559
185	317	406	324	410	303	387	307	391	424	543	432	550	504	637
240	367	469	373	470	351	447	356	453	502	641	511	647	593	745
300	414	526	419	524	397	504	402	510	577	735	586	739	677	846
400	470	590	466	572	451	564	457	571	673	845	676	837	769	938

Quadro 137A - Cabos monopolares isolados a EPR/HEPR
Tensão 3,6/6 kV a 18/30 kV

Secção Nominal condutor	Cabos enterrados directamente no solo				Cabos entubados				Instalação ao ar					
	Trevo Juntivo		Esteira horizontal		Trevo juntivo		Esteira horizontal		Trevo Juntivo		Esteira horizontal		Esteira horizontal	
														
mm2	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu
16	82	106	84	109	77	99	78	100	90	116	92	119	107	138
25	105	136	109	140	99	128	100	129	119	153	121	156	141	181
35	126	162	130	167	118	153	120	154	144	186	147	190	171	221
50	149	192	153	198	140	181	142	183	174	224	178	229	207	266
70	182	234	188	242	172	222	174	224	218	280	223	287	259	334
95	217	280	224	289	206	266	208	269	266	343	273	352	317	409
120	247	319	256	329	235	303	238	306	309	398	317	407	368	474
150	277	357	287	369	264	341	267	344	352	454	361	465	419	540
185	314	403	325	417	300	386	303	390	406	522	417	534	484	621
240	364	467	377	484	350	449	354	454	483	619	495	634	575	736
300	411	526	426	545	397	509	401	515	556	712	570	728	659	843
400	471	597	487	618	456	580	462	588	651	825	667	843	770	977

Temperatura máxima do condutor 90°C
Temperatura máxima ao ar livre 30°C
Temperatura máxima do solo 20°C
Profundidade de instalação 0,8m
Resistência térmica do solo 1,5K.m/W
Resistência térmica nos tubos 1,2K.m/W
Modo de ligação das blindagens - Ligação á terra em ambas as extremidade

5.5.2.2 - Cabo Tripolar LXHIAV / LXHIOAV / XHIAV / XHIOAV

Tensões: 6/10 kV, 8, 7/15 kV, 12/20 kV, 18/30 kV

Descrição:

1- Alma rígida em alumínio ou cobre
2 - Bainha semi-condutora extrudida
3 - Camada isolante em PEX
4 - Bainha semi-condutora extrudida
5 - Fita semi-condutora
6 - Écran metálico em cobre
7 - Bainha de enchimento
8 - Armadura em fita de aço
9 - Bainha exterior

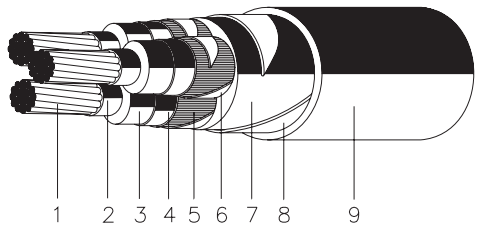


Figura 70 - Cabo tripolar

Quadro 138 - Características Dimensionais

Secção nominal mm²	6 / 10 kV			8,7 / 15 kV			12 / 20 kV		
	Peso Aproximado kg/km		Diâmetro exterior aprox. mm	Peso Aproximado kg/km		Diâmetro exterior aprox. mm	Peso Aproximado kg/km		Diâmetro exterior aprox. mm
	Al	Cu		Al	Cu		Al	Cu	
3 x 25		3000	41,0		3480	48,0		4700	55,0
3 x 35		3550	44,0	3690	4260	50,5		4900	55,0
3 x 50	3300	4150	47,0	4010	4880	53,0	4700	5600	58,0
3 x 70	3850	5100	51,0	4710	5930	57,0	5300	6500	63,0
3 x 95	4450	6250	55,0	5350	7140	61,5	6000	7800	65,5
3 x 120	5150	7350	58,5	5990	8240	66,0	6700	8900	69,5
3 x 150	5500	8400	62,0	6800	9450	69,0	7400	10000	73,0
3 x 185	6500	10000	66,5	7730	11280	71,5	9300	12500	78,0
3 x 240	7600	12100	72,0	9290	13600	78,0	10300	14900	85,0

5.5.2.3 - Cabos Auto-suportados (S) trimonopolares cableados subterrâneos e torçadas aéreas

(isolamento em PEX)

Tensões: 6/10 kV, 8,7/15 kV, 12/20 kV, 18/30 kV

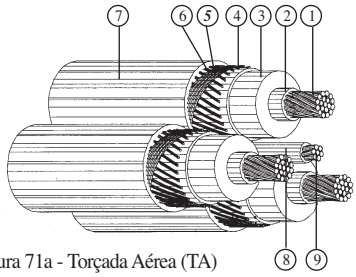


Figura 71a - Torçada Aérea (TA)

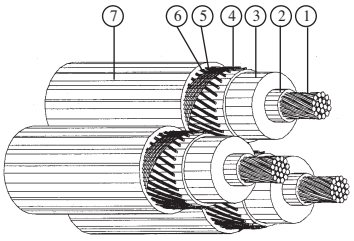


Figura 71b - Cabo trimonopolar Cableado Subeterrâneo (T)

Descrição:

Torçada aérea

1 - Alma rígida em alumínio
2 - Camada semi-condutora extrudida
3 - Camada isolante em PEX
4 - Camada semi-condutora extrudida
5 - Écran metálico em cobre
6 - Fita hidroexpansiva (opcional)
7 - Bainha em PVC, PEX ou PE
8 - Bainha em PVC, PEX ou PE
9 - Tensor em aço

Trimonopolar

1 - Alma rígida em alumínio
2 - Camada semi-condutora extrudida
3 - Camada isolante em PEX
4 - Camada semi-condutora extrudida
5 - Écran metálico em cobre
6 - Fita hidroexpansiva (opcional)
7 - Bainha em PVC, PEX ou PE

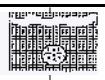
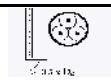
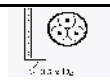
Quadro 139 - Características Dimensionais / Intensidade em Regime Permanente

Diâmetro exterior aproximado (mm)						Secção Nominal	Queda de tensão ΔU = V/A. km (***) COS φ = 0,8 V
Trimonopolar (*)			Torçada Aérea (**)				
6 / 10 kV	8,7 / 15 kV	12 / 20 kV	6 / 10 kV	8,7 / 15 kV	12 / 20 kV		
44,0	50,0	54,5	49	54,5	60,0	35	1,7
48,5	53,5	60,0	53,0	57,5	64,0	50	1,3
52,0	58,0	62,5	56,5	61,0	67,0	70	0,92
55,5	62,0	66,5	60,5	65,5	71,0	95	0,69
59,0	63,5	68,0	63,5	68,5	73,0	120	0,56
62,5	67,5	71,5	66,5	71	76,0	150	0,48

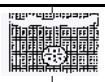
(*) Fabrico para 18/30 kV sob encomenda.
(**) Com cabo portador de 50 mm^2 de aço. Outras secções do cabo portador podem ser fornecidas, sob pedido.

5.5.2.4 - Intensidade em regime permanente para cabos tripolares

Quadro 140 - Cabos tripolares isolados a XLPE
Tensão 3,6/6 kV a 18/30 kV

Secção Nominal condutor	Cabos não armados						Cabos armados					
	Enterrado directamente no solo		Enterrado em tubo		Ao ar		Enterrado directamente no solo		Enterrado em tubo		Ao ar	
												
mm2	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu
16	78	101	67	87	84	109	78	101	68	88	85	110
25	100	129	87	112	110	142	100	129	87	112	111	143
35	119	153	103	133	132	170	119	154	104	134	133	172
50	140	181	122	158	158	204	140	181	123	158	159	205
70	171	221	150	193	196	253	171	220	150	194	196	253
95	203	262	179	231	236	304	204	263	180	232	238	307
120	232	298	205	264	273	351	232	298	206	264	274	352
150	260	334	231	297	309	398	259	332	231	296	309	397
185	294	377	262	336	355	455	293	374	262	335	354	453
240	340	434	305	390	415	531	338	431	304	387	415	529
300	384	489	346	441	475	606	380	482	343	435	472	599
400	438	553	398	501	552	696	432	541	393	492	545	683

Quadro 140A - Cabos tripolares isolados a EPR/HEPR
Tensão 3,6/6 kV a 18/30 kV

Secção Nominal condutor	Cabos não armados						Cabos armados					
	Enterrado directamente no solo		Enterrado em tubo		Ao ar		Enterrado directamente no solo		Enterrado em tubo		Ao ar	
												
mm2	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu	Al.	Cu
16	76	98	65	84	80	104	76	98	66	85	81	104
25	97	125	84	109	105	135	97	125	85	109	105	136
35	116	150	101	130	127	164	116	150	101	131	127	164
50	137	176	119	154	151	195	137	177	120	155	153	197
70	167	216	147	189	189	243	168	216	147	190	190	244
95	200	258	176	227	229	296	200	257	176	227	230	296
120	227	292	201	258	263	339	227	292	201	259	264	339
150	255	328	226	291	299	385	254	327	226	291	300	385
185	289	371	257	330	343	441	288	368	257	328	343	439
240	335	429	300	384	406	519	332	424	299	381	402	513
300	378	482	340	434	462	590	374	475	338	429	459	583
400	432	545	392	494	538	678	426	534	387	485	530	666

Temperatura máxima do condutor 90°C
Temperatura máxima ao ar livre 30°C
Temperatura máxima do solo 20°C
Profundidade de instalação 0,8m
Resistência térmica do solo 1,5K.m/W
Resistência térmica nos tubos 1,2K.m/W
Modo de ligação das blindagens - Ligação á terra em ambas as extremidade

5.5.3 - Cabos de Alta Tensão

Normas de referência:

CEI 60840; HD 632 S1

Características Principais:

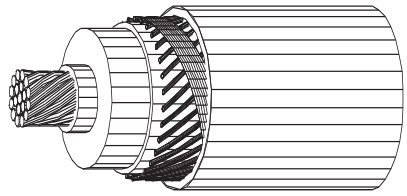
Alma condutora:	Alumínio ou cobre multifilar compactado
Semicondutor interior:	Composto semicondutor extrudido
Isolante:	PEX - Polietileno reticulado ou HEPR - Borracha de etileno propileno de alto módulo de elasticidade
Semicondutor interior:	Composto semicondutor extrudido
Blindagem:	Fios e fita de cobre ou fita de cobre
Bainha exterior:	PVC ou PE (de baixa, média ou alta densidade)

Características de bloqueio á penetraçao de humidade:

Estanquidade: longitudinal	No condutor e/ou na blindagem, conforme defenido no Capitulo I, parágrafo 1.2.6 Colocada apenas sob encomenda
Estanquidade: transversal	Sob a bainha exterior, por aplicação de fitas metálicas aderentes á bainha exterior Colocada apenas sob encomenda

Tipos de Cabo:

Figura 72 — Cabo monopolar



Nota:

1 - Os quadros 141 ao 145, apresentam as características dimensionais e eléctricas das composições mais simples dos cabos 26/45kV, 36/60kV, 64/110kV, 76/138kV, e 87/150kV. Dadas as particularidades das instalações de Alta Tensão, as intensidades admissíveis não estão indicadas, mas poderão ser fornecidas mediante indicação das condições de instalação.

2 - Nos pontos 5.5.3.1 são apresentados os cabos de 36/60kV adoptados pela EDP - Electricidade de Portugal, incluindo capacidade de transporte nas condições de instalação indicadas MS DMA C33 - 281/N, caractrísticas dimensionais e eléctricas.

Quadro 141 - Características Técnicas

Cabo Monopolar **LXHIV / LXHIOV / XHIV / XHIOV**

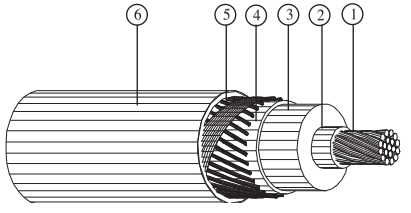
Tensão - 26/45 kV

Características Dimensionais							Características Eléctricas								
Secção Nominal (mm)	Espessura Isolação (mm)	Diâmetro sobre Isolação (mm)	Espessura Baínha (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Peso Aproximado (kg/km)		Resistência eléctrica DC a 20°C (Ω/Km)		Resistência eléctrica AC a 90°C (Ω/Km)		Capacidade C (µF/km)	Indutância L (mH/km)	Reatância XL (Ω/km)	Impedância $Z_{90°C}$ (Ω/km)	
					Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu				Al	Cu
120	8.5	32.0	2.2	41.0	1650	2380	0.253	0.153	0.324	0.195	0.18	0.417	0.131	0.35	0.24
150		33.3	2.2	42.5	1770	2680	0.206	0.124	0.264	0.158	0.19	0.405	0.127	0.29	0.20
185		35.4	2.3	44.5	1990	3120	0.164	0.099	0.210	0.126	0.21	0.388	0.122	0.24	0.18
240		37.5	2.4	47.0	2250	3730	0.125	0.075	0.160	0.096	0.23	0.374	0.117	0.20	0.15
300		39.8	2.4	49.0	2540	4370	0.100	0.060	0.128	0.077	0.25	0.360	0.113	0.17	0.14
400		42.5	2.5	52.0	2890	5240	0.078	0.047	0.100	0.060	0.27	0.347	0.109	0.15	0.12
500		45.5	2.6	55.5	3320	6410	0.061	0.037	0.078	0.047	0.30	0.335	0.105	0.13	0.12
630		49.5	2.7	59.5	3880	7820	0.047	0.028	0.060	0.036	0.33	0.322	0.101	0.12	0.11
800		53.7	2.9	64.0	4640	9590	0.037	0.022	0.047	0.028	0.36	0.311	0.098	0.11	0.10
1000		57.8	3.0	68.5	5400	11590	0.029	0.018	0.037	0.022	0.40	0.301	0.095	0.10	0.10

Nota: Os valores da tabela são fornecidos a título indicativo, considerando uma instalação em trevo juntivo.

Descrição:

1 - Alma rígida em alumínio ou cobre
2 - Baínha semicondutora interior
3 - Isolação em PEX
4 - Camada semicondutora exterior
5 - Écran metálico em cobre (fita ou fios e fita)
6 - Baínha exterior em PVC (poderá ser em PE, sob encomenda).



Quadro 142 - Características Técnicas

Cabo Monopolar **LXHIV / LXHIOV / XHIV / XHIOV**

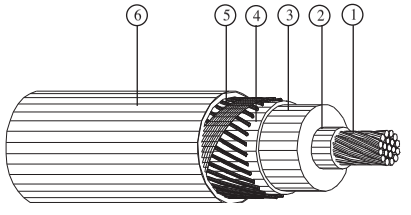
Tensão - 36/66 kV

Características Dimensionais							Características Eléctricas								
Secção Nominal (mm)	Espessura Isolação (mm)	Diâmetro sobre Isolação (mm)	Espessura Baínha (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Peso Aproximado (kg/km)		Resistência eléctrica DC a 20°C (Ω/Km)		Resistência eléctrica AC a 90°C (Ω/Km)		Capacidade C (µF/km)	Indutância L (mH/km)	Reatância XL (Ω/km)	Impedância $Z_{90°C}$ (Ω/km)	
					Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu				Al	Cu
120	10.0	35.0	2.3	44.0	1860	2590	0.253	0.153	0.324	0.195	0.16	0.432	0.136	0.35	0.24
150		36.3	2.3	45.5	1990	2900	0.206	0.124	0.264	0.158	0.17	0.419	0.132	0.30	0.21
185		38.4	2.4	48.0	2220	3340	0.164	0.099	0.210	0.126	0.19	0.402	0.126	0.25	0.18
240		40.5	2.5	50.0	2490	3970	0.125	0.075	0.160	0.096	0.20	0.387	0.122	0.20	0.16
300		42.8	2.5	52.5	2790	4630	0.100	0.060	0.128	0.077	0.22	0.373	0.117	0.17	0.14
400		45.5	2.6	55.5	3150	5510	0.078	0.047	0.100	0.060	0.24	0.359	0.113	0.15	0.13
500		48.5	2.7	58.5	3610	6700	0.061	0.037	0.078	0.047	0.26	0.346	0.109	0.13	0.12
630		52.5	2.8	62.5	4180	8120	0.047	0.028	0.060	0.036	0.29	0.332	0.104	0.12	0.11
800		56.7	3.0	67.5	4970	9920	0.037	0.022	0.047	0.028	0.32	0.321	0.101	0.11	0.10
1000		60.8	3.1	71.5	5750	11940	0.029	0.018	0.037	0.022	0.35	0.311	0.098	0.10	0.10

Nota: Os valores da tabela são fornecidos a título indicativo, considerando uma instalação em trevo juntivo.

Descrição:

1 - Alma rígida em alumínio ou cobre
2 - Baínha semicondutora interior
3 - Isolação em PEX
4 - Camada semicondutora exterior
5 - Écran metálico em cobre (fita ou fios e fita)
6 - Baínha exterior em PVC (poderá ser em PE, sob encomenda).



Quadro 143 - Características Técnicas

Cabo Monopolar **LXHIV / LXHIOV / XHIV / XHIOV**

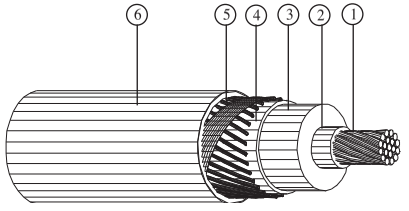
Tensão - 64/110 kV

Características Dimensionais							**Características Eléctricas**								
Secção Nominal (mm)	Espessura Isolação (mm)	Diâmetro sobre Isolação (mm)	Espessura Baínha (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Peso Aproximado (kg/km)		Resistência eléctrica DC a 20°C (Ω/Km)		Resistência eléctrica AC a 90°C (Ω/Km)		Capacidade C (μF/km)	Indutância L (mH/km)	Reatância XL (Ω/km)	Impedância $Z_{90°C}$ (Ω/km)	
					Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu				Al	Cu
240	16.0	52.5	2.9	63.0	3610	5100	0.125	0.075	0.160	0.096	0.15	0.433	0.136	0.21	0.17
300		54.8	2.9	65.0	3960	5790	0.100	0.060	0.128	0.077	0.16	0.417	0.131	0.18	0.15
400		57.5	3.1	68.5	4410	6770	0.078	0.047	0.100	0.060	0.17	0.401	0.126	0.16	0.14
500		60.5	3.1	71.5	4900	7990	0.061	0.037	0.078	0.047	0.18	0.386	0.121	0.14	0.13
630		64.5	3.3	75.5	5590	9530	0.047	0.028	0.060	0.036	0.20	0.370	0.116	0.13	0.12
800		68.7	3.4	80.0	6430	11380	0.037	0.022	0.047	0.028	0.22	0.355	0.112	0.12	0.12
1000		72.8	3.5	84.5	7300	13490	0.029	0.018	0.037	0.022	0.24	0.344	0.108	0.11	0.11

Nota: Os valores da tabela são fornecidos a título indicativo, considerando uma instalação em trevo juntivo.

Descrição:

1 - Alma rígida em alumínio ou cobre
2 - Baínha semicondutora interior
3 - Isolação em PEX
4 - Camada semicondutora exterior
5 - Écran metálico em cobre (fita ou fios e fita)
6 - Baínha exterior em PVC (poderá ser em PE, sob encomenda).



Quadro 144 - Características Técnicas

Cabo Monopolar **LXHIV / LXHIOV / XHIV / XHIOV**

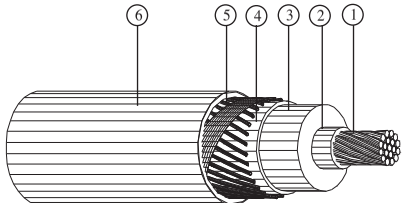
Tensão - 76/138 kV

Características Dimensionais							Características Eléctricas								
Secção Nominal (mm)	Espessura Isolação (mm)	Diâmetro sobre Isolação (mm)	Espessura Baínha (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Peso Aproximado (kg/km)		Resistência eléctrica DC a 20°C (Ω/Km)		Resistência eléctrica AC a 90°C (Ω/Km)		Capacidade C (μF/km)	Indutância L (mH/km)	Reatância XL (Ω/km)	Impedância $Z_{90°C}$ (Ω/km)	
					Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu				Al	Cu
240	18.0	56.5	3.0	67.0	4030	5520	0.125	0.075	0.160	0.096	0.14	0.446	0.140	0.21	0.17
300		58.8	3.1	69.5	4420	6260	0.100	0.060	0.128	0.077	0.15	0.430	0.135	0.19	0.16
400		61.5	3.2	72.5	4870	7220	0.078	0.047	0.100	0.060	0.16	0.413	0.130	0.16	0.14
500		64.5	3.3	75.5	5410	8500	0.061	0.037	0.078	0.047	0.17	0.398	0.125	0.15	0.13
630		68.5	3.4	80.0	6090	10030	0.047	0.028	0.060	0.036	0.19	0.381	0.120	0.13	0.12
800		72.7	3.5	84.5	6970	11920	0.037	0.022	0.047	0.028	0.20	0.366	0.115	0.12	0.12
1000		76.8	3.7	89.0	7900	14090	0.029	0.018	0.037	0.022	0.22	0.354	0.111	0.12	0.11

Nota: Os valores da tabela são fornecidos a título indicativo, considerando uma instalação em trevo juntivo.

Descrição:

1 - Alma rígida em alumínio ou cobre
2 - Baínha semicondutora interior
3 - Isolação em PEX
4 - Camada semicondutora exterior
5 - Écran metálico em cobre (fita ou fios e fita)
6 - Baínha exterior em PVC (poderá ser em PE, sob encomenda).



Quadro 145 - Características Técnicas

Cabo Monopolar **LXHIV / LXHIOV / XHIV / XHIOV**

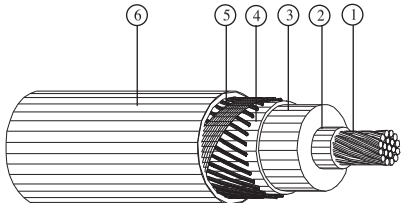
Tensão - 87/150 kV

Características Dimensionais							**Características Eléctricas**								
Secção Nominal (mm)	Espessura Isolação (mm)	Diâmetro sobre Isolação (mm)	Espessura Baínha (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Peso Aproximado (kg/km)		Resistência eléctrica DC a 20°C (Ω/Km)		Resistência eléctrica AC a 90°C (Ω/Km)		Capacidade C (μF/km)	Indutância L (mH/km)	Reatância XL (Ω/km)	Impedância $Z_{90°C}$ (Ω/km)	
					Al	Cu	Al	Cu	Al	Cu				Al	Cu
240	20.0	60.5	3.2	71.5	4510	6000	0.125	0.075	0.160	0.096	0.13	0.458	0.144	0.22	0.17
300		62.8	3.2	74.0	4890	6730	0.100	0.060	0.128	0.077	0.14	0.441	0.139	0.19	0.16
400		65.5	3.3	76.5	5350	7710	0.078	0.047	0.100	0.060	0.15	0.425	0.133	0.17	0.15
500		68.5	3.4	80.0	5910	9000	0.061	0.037	0.078	0.047	0.16	0.409	0.128	0.15	0.14
630		72.5	3.5	84.0	6630	10570	0.047	0.028	0.060	0.036	0.17	0.391	0.123	0.14	0.13
800		76.7	3.7	88.5	7570	12520	0.037	0.022	0.047	0.028	0.19	0.376	0.118	0.13	0.12
1000		80.8	3.8	93.0	8490	14680	0.029	0.018	0.037	0.022	0.20	0.363	0.114	0.12	0.12

Nota: Os valores da tabela são fornecidos a título indicativo, considerando uma instalação em trevo juntivo.

Descrição:

1 - Alma rígida em alumínio ou cobre
2 - Baínha semicondutora interior
3 - Isolação em PEX
4 - Camada semicondutora exterior
5 - Écran metálico em cobre (fita ou fios e fita)
6 - Baínha exterior em PVC (poderá ser em PE, sob encomenda).



5.5.3.1 - Cabos Isolados de 60kV

As características dos cabos de Alta Tensão são definidas de forma a garantir o cumprimento dos ensaios prescritos na normalização europeia de referência, a CEI 60840 e o HD 632 S1.
As empresas distribuidoras de energia definem as características dos produtos que incorporam as suas redes, sintetizando-as em especificações próprias, definindo:

- As características e composição dos cabos
- As secções normalizadas adoptadas
- As condições de instalação
- Os ensaios a que devem ser submetidos em fábrica
- Os ensaios a realizar após instalação

A título de exemplo, indicamos as características tipo dos cabos isolados de 60kV que a SOLIDAL produz designados por LXHIOLE:

Composição dos cabos LXHIOLE

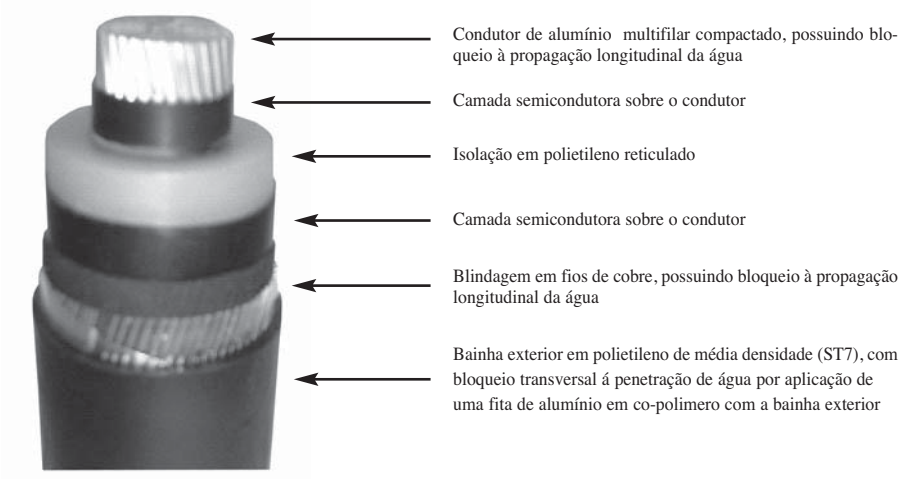


Figura 73 - Cabo Isolado de Alta Tensão

As características de algumas das secções normalizadas são indicadas nos quadros 147 a 149.

A NP 665 (Sistema de designação de cabos eléctricos isolados - ver ponto 1.6 da pág. 58) de Julho de 2006 define que a aplicação do símbolo "(cbe)" a seguir à designação do cabo, identifica cabos com condutor e blindagem estanque, ou seja, que possuem bloqueio á propagação longitudinal da água no condutor e blindagem.

Podem ser utilizadas várias secções de blindagem adequadas à correntes de defeito prevista na instalação. Por exemplo, são definidas as secções de blindagem de 60mm2 e 135mm2, para as seguintes correntes de defeito monofásico:

60mm2, para corrente de curto-circuito de 11 kA/0,6s.
135mm2, para a corrente de curto-circuito de 25 kA/0,6s.

5.5.3.1.1 – Condições de instalação

Dada a variedade de combinações possíveis, a título indicativo, apresentamos no quadro 147 as intensidades nas seguintes condições de instalação:

Cabos directamente enterrados

Tipo de instalação	Cabos enterrados directamente no solo
Profundidade de instalação	1,3 m (ao centro do trevo juntivo)
Resistividade térmica do solo	1,2 ºC x m / W
Temperatura máxima do solo á profundidade de instalação	20ºC
Arranjo de cada circuito na vala	3 cabos em trevo juntivo
Distância entre centros de circuitos (no caso de dois circuitos trifásicos em operação simultânea)	40 cm - secções de 185 e 400m2 50 cm - secção de 630 mm2 70 cm - secção de 1000 mm2
Modo de ligação das blindagens	Ligação á terra em ambas as extremidades da linha
Sem proximidade com outros cabos e sem travessias	Afastamento a outros circuitos superior a 1,5m
Regime de carga	24 h – 100%
Temperatura de serviço no condutor	90ºC

Cabos ao ar livre

Tipo de instalação	Cabos protegidos da exposição solar directa fixados directamente a uma parede
Temperatura ambiente máxima (ao nível do mar)	30ºC
Modo de ligação das blindagens	Ligação á terra em ambas as extremidades da linha
Regime de carga	24 h – 100%
Temperatura de serviço no condutor	90ºC

5.5.3.1.2 – Capacidade de transporte

A intensidade máxima em regime permanente é condicionada por todos os parâmetros da instalação, pelo que qualquer alteração ás condições de instalação indicadas deverá ser cuidadosamente analisada para verificar o seu efeito na capacidade de transporte dos cabos.

Os valores indicados no quadro 147 baseiam-se nas condições de instalação definidas em 5.5.3.1.1.

As intensidades no quadro 147 são indicadas apenas para o caso da ligação das blindagens á terra nos dois extremos da linha ("Both Ends").

Dependendo dos cabos e das exigências da instalação poderão ser utilizados casos especiais de ligação de blindagens: permutação de blindagens ("Cross-Bonding") e ligação á terra num dos extremos da linha ("Single Point").

Quadro 147 – Capacidade de transporte em regime permanente

Cabo	Cabos directamente enterrados		Cabos ao ar livre **a)**	
	1 circuito	2 circuitos em operação simultânea	1 circuito	2 circuitos em operação Simultânea
LXHIOLE (cbe) 1x185/60 36/60kV	335	285	428	
LXHIOLE (cbe) 1x400/60 36/60kV	494	417	661	
LXHIOLE (cbe) 1x630/60 36/60kV	636	541	878	
LXHIOLE (cbe) 1x1000/60 36/60kV	789	685	1115	
LXHIOLE (cbe) 1x185/135 36/60kV	331	281	427	
LXHIOLE (cbe) 1x400/135 36/60kV	481	404	652	
LXHIOLE (cbe) 1x630/135 36/60kV	609	516	852	
LXHIOLE (cbe) 1x1000/135 36/60kV	742	642	1059	

a) Para utilização de dois circuitos em operação simultânea a capacidade de transporte ao ar livre não é reduzida desde que:

- O volume de ar e a ventilação natural sejam suficientes para dissipar as perdas térmicas;

- O espaçamento entre ternos de cabos seja superior a 4 x d (sendo do diâmetro exterior do cabo);

- O espaçamento entre cabos seja superior a 2 x d (sendo d o diâmetro exterior do cabo) ou ternos de cabos;

No âmbito do fornecimento de cabos de Alta Tensão a SOLIDAL está disponível para:
- Efectuar o apoio na execução do projecto
- Fornecer os materiais necessários á execução da obra (cabos, acessórios, …)
- Garantir a execução dos acessórios
- Realizar a supervisão do desenrolamento
- Realizar os ensaios finais

Quadro 148 – Características dimensionais

Secção nominal condutor (mm)	Secção nominal blindagem (mm)	Espessura nominal isolação (mm)	Diâmetro sobre isolação (mm)	Diâmetro exterior (mm)	Peso Aproximado (Kg/Km)	Esforço de tracção máximo no condutor da N	Raio de curvatura minimo durante o desenrolamento
185	60	13	44,9	60	3180	1110	1500
400			52,1	67	4140	2400	1680
630			59,1	74	5180	3780	1850
1000			67,8	82	6700	6000	2050
185	135	13	44,9	62	3920	1110	1550
400			52,1	70	4880	2400	1750
630			59,1	77	5920	3780	1930
1000			67,8	85	7440	6000	2130

Quadro 149 – Características eléctricas

Secção nominal condutor/blindagem (mm2)	Resistência máxima do condutor 20ºC/90ºC a 50Hz Ω/Km	Resistência máxima da blindagem 20ºC c.c. Ω/Km	Capacidade µF/Km	Reactância indutiva (trevo juntivo) Ω/Km	Impedância a 90ºC Ω/Km	Intensidade de c.c. máxima no condutor kA / 1s	Intensidade de c.c. máxima na blindagem 1,0s / 0,6s kA
185/60	0,164 / 0,2108	0,33	0,16	0,13	0,25	17,4	8,6 / 11,2
400/60	0,0778 / 0,1010		0,20	0,12	0,16	37,6	
630/60	0,0469 / 0,0625		0,23	0,11	0,13	59,2	
1000/60	0,0291 / 0,0413		0,28	0,10	0,11	94,0	
185/135	0,164 / 0,2108	0,14	0,16	0,14	0,25	17,4	19,4 / 25,1
400/135	0,0778 / 0,1010		0,20	0,12	0,16	37,6	
630/135	0,0469 / 0,0625		0,23	0,11	0,13	59,2	
1000/135	0,0291 / 0,0413		0,28	0,10	0,11	94,0	

Cabos de Comunicações

Capítulo VI

6.1 - Cabos de Comunicações Metálicos

6.1.1 - Definição de Alguns Parâmetros de Transmissão

1 - Desequilíbrio de Resistência

O desequilíbrio de resistência entre condutores de um par é definido por:

$$[(Rmax - Rmin) / (Rmax + Rmin)] \times 100$$

onde:

— Rmax é a resistência em ohms, do condutor com maior valor de resistência;

— Rmin é a resistência em ohms, do condutor com menor valor de resistência.

2 - Desequilíbrio de Capacidade à Terra de um Par

O desequilíbrio de capacidade à terra de um par é definido por:

$$C_1 - C_2$$

onde:

- C_1 é a capacidade entre o condutor **a** e o condutor **b** com o condutor **b** ligado a todos os outros condutores ao écran e à terra;
- C_2 é a capacidade entre o condutor **b** e o condutor **a** com o condutor **a** ligado aos outros condutores ao écran e à terra.

3 - Desequilíbrio de Capacidade ao Écran de um Par

O desequilíbrio de capacidade ao écran de um par é definido por:

$$C_{1s} - C_{2s}$$

onde:

- C_{1s} é a capacidade entre o condutor **a** e o écran. Os restantes condutores podem ficar desligados ou ligados ao centro do transformador balanceado;
- C_{2s} é a capacidade entre o condutor **b** e o écran. Os restantes condutores podem ficar desligados ou ligados ao centro do transformador balanceado.

4 - Capacidade Mútua de um Par

A capacidade mútua de um par é definida por: $\frac{C_1 + C_2}{2} - \frac{C_3}{4}$

onde:

- C_1 é a capacidade entre o condutor **a** e o condutor **b** ligado a todos os outros condutores ao écran e à terra;

- C_2 é a capacidade entre o condutor **b** e o condutor **a** com o condutor **a** ligado a todos os outros condutores ao écran e à terra;
- C_3 é a capacidade entre os dois condutores do par ligados entre si e todos os outros condutores ligados ao écran e à terra.

5 - Velocidade de Propagação

A velocidade de propagação é definida como a velocidade à qual o sinal se propaga no cabo sendo expressa em Km / s. A velocidade de propagação deriva da medição do coeficiente de velocidade e do conhecimento da velocidade de propagação no espaço livre. Esta última assume-se como tendo o valor de 299788 Km / s. O coeficiente de velocidade é definido como a relação entre a velocidade de propagação no cabo e a velocidade de propagação no espaço livre.

6 - Constante de Atenuação

A constante de atenuação para 100 metros de comprimento de cabo onde a impedância do cabo está adaptada à impedância do equipamento de medida define-se por:

$$(100 / L) .10 \log_{10} (P_1 / P_2)$$

onde:

- P_1 é a potência de entrada onde a impedância de carga é a impedância da fonte;
- P_2 é a potência de saída onde a impedância de carga é a impedância da amostra submetida a ensaio;
- L comprimento da amostra em metros.

7 - Desequilíbrio de Atenuação

O desequilíbrio de atenuação é definido como o logaritmo da razão entre a tensão longitudinal e a transversal induzida num par. É expresso em dB. O desequilíbrio de atenuação pode ser determinado por:

$$20 \log_{10} (1 / T)$$

onde o desequilíbrio de transmissão T, é obtido de acordo com o apêndice A6 da CEI publicação 96-1. O desequilíbrio de atenuação à terra, a_u, exprime a margem de imunidade às interferências de uma instalação em relação aos campos electromagnéticos. Quanto maior for o valor de a_u maior será a imunidade às interferências.

8 - Atenuação Paradiafónica(NEXT)

A atenuação paradiafónica (NEXT) é definida por:

$$10 \log_{10} (P_{1N} / P_{2N}) \text{ em dB}$$

onde:

- P_{1N} é a potência de entrada do par perturbador;
- P_{2N} é a potência de saída do par perturbado medida no mesmo extremo.

9 - Atenuação Telediafónica (FEXT)

A atenuação telediafónica entrada / saída (IO FEXT) é definida por:

$$10 \log_{10} (P_{1N} / P_{2F}) \text{ em dB}$$

A atenuação telediafónica a nível igual (EL FEXT) é definida por:

$$10 \log_{10} (P_{1F} / P_{2F})$$

onde:

- P_{1N} é a potência de entrada do par perturbador;
- P_{1F} é a potência de saída do par perturbador no outro extremo;
- P_{2F} é a potência de saída do par perturbado no outro extremo;

O valor EL FEXT difere do IO FEXT no valor da atenuação do par perturbador.

10 - Impedância Característica

A uma determinada frequência a impedância característica, Zc, é definida como a impedância de entrada de uma linha homogénea de comprimento infinito. Zc é o valor assimptotico da média para a qual a impedância característica tende nas altas frequências.

11 - Impedância de Transferência Superficial

A impedância de transferência superficial, Zt, de um écran de um cabo electricamente curto e longitudinalmente uniforme é definida como sendo o quociente entre a tensão longitudinal induzida no circuito secundário (circuito interior) e a corrente que flui no circuito primário (circuito exterior).

12 - Atraso de Propagação de Grupo

O atraso de propagação de grupo é obtido a partir da determinação da velocidade de propagação, Vf do seguinte modo:

Atraso de propagação de grupo = 10^6 / Vf em μs / Km

13 - Balun

Um Balun é um transformador de adaptação de impedância entre um circuito simétrico e um assimétrico (Balanced to Unbalanced).

6.1.2 - Métodos de Medida dos Parâmetros de Transmissão

1- Geral

Salvo nos casos expressamente citados todos os ensaios são executados de acordo com o HD 608.

2- Cabos sem Blindagem

Os parâmetros capacidade mútua e atenuação por vezes apresentam valores até 10 % superiores quando medidos na embalagem. Esta diferença é devida ao aperto e á densidade da embalagem e também a efeitos interespiras.

Em caso de dúvidas as medidas de capacidade mútua, impedância característica, atenuação e paradiafonia deverão ser executadas em amostras de cabo retirados da embalagem. As amostras podem ser colocadas segundo uma das seguintes configurações:

I. Amostra colocada longitudinalmente sobre uma superfície não metálica a pelo menos 25mm de qualquer superfície metálica;

II. Amostra suportada no ar com pelo menos 25mm de separação entre espiras;

III. Amostra enrolada em espiras únicas e abertas numa bobina metálica com as espiras afastadas pelo menos 25mm.

3 - Resistência dos Condutores

O método para medir a resistência dos condutores bem como a correcção de comprimento e temperatura é o da CEI 189 § 5.1.

4 - Desequilíbrio de Resistência

O método para medida do desequilíbrio de resistência é o indicado na CEI 708-1 emenda 2 cláusula 24.

5- Rigidez Dieléctrica

O método para medida da rigidez dieléctrica é o indicado na CEI 189-1 cláusula 5.2 para condutor / condutor e condutor / écran.

6- Resistência de Isolamento

O método para medida da resistência de isolamento entre condutor / condutor e condutor / écran é o indicado na CEI 189-1 cláusula 5.3. A tensão de ensaio é 500 V.

7 - Desequilíbrio de Capacidade

O método de medida do desequilíbrio de capacidade é o indicado na CEI 189-1 cláusula 5.5. Os condutores não em ensaio serão ligados entre si e ao écran se existir. Caso o cabo tenha um comprimento diferente de 500m o valor medido do desequilíbrio par / par deverá ser corrigido para 500m pela fórmula:

$$\frac{1}{2}\left[L / 500 + (L / 500)^{1/2}\right]$$

e para o desequilíbrio par / terra pela fórmula:

$$L / 500$$

8- Velocidade de Propagação de Grupo

A velocidade de propagação de grupo deve ser determinada a uma dada frequência conforme se indicar na especificação particular. Quando não se indique a frequência deverá usar-se a frequência à qual a impedância característica for medida. A medida é efectuada pela determinação do intervalo de frequência, Δf para o qual a fase do sinal de saída perfaz uma rotação de 2Π radianos em comparação com o sinal de entrada. Para tal pode-se usar quer a técnica de transmissão quer a de reflexão. A velocidade de propagação pode ser expressa:

— Para medidas de transmissão: — $Vf = L . \Delta f$

— Para medidas de reflexão: — $Vf = 2 L \Delta f$

onde:

— L é o comprimento do cabo em ensaio em metros;

— Δf é o intervalo de frequência em kHz;

— Vf é a velocidade de propagação de grupo em Km / s.

Para se obter Δf com precisão suficiente a diferença de frequência $\Delta f'$ poderá ser medida com n rotações de 2Π radianos, assim;

$$\Delta f = \Delta f' / n$$

onde $n \leq 10$

Na técnica de transmissão é necessário seleccionar os baluns para adaptar os equipamentos de medida à impedância nominal do cabo à frequência de teste.

9 - Atenuação

A atenuação é determinada à frequência ou intervalo de frequência indicada na especificação particular. A técnica usada deve permitir uma precisão melhor que ± 5%. A medida deve ser efectuada sobre condições balanceadas. No caso de equipamento de medida ser usado em condições não balanceadas deverão ser usados baluns. Os baluns devem ser seleccionados para adoptar a impedância do equipamento à impedância nominal do cabo a medir. É aconselhável compensar a desaptação residual dos baluns através da calibração deste ligando 1m de cabo entre si. As medidas serão efectuadas à temperatura ambiente e serão corrigidas para 20ºC para frequências acima de 1Mhz do seguinte modo:

$$\alpha_{20} = \alpha_T / (1 + 0.002 (T - 20))$$

onde:

— α_T é a atenuação medida em dB;

— T é a temperatura ambiente;

— α_{20} é a atenuação corrigida para 20ºC.

Os valores medidos são corrigidos para o comprimento de referência de 100m ou outro conforme indicado em especificação de referência seguindo uma correcção linear.

Nota: A correcção acima indicada só é válida para dieléctricos com baixo coeficiente de temperatura.

10- Desequilíbrio de Atenuação

O desequilíbrio de atenuação pode ser determinado por:

$$20 \log_{10} (1 / T)$$

onde o desequilíbrio de transmissão, T é obtido de acordo com o apêndice A6 da CEI 96-1. O desequilíbrio de atenuação à terra, a_u determinado de acordo com a recomendação K10 do CCITT é obtido pela equação:

$$a_u = 20 \log_{10} [EL1 / VT2]$$

11- Paradiafonia

A atenuação paradiafónica é medida usando um gerador sintetizado e um medidor de nível selectivo à frequência ou intervalos de frequência indicados na especificação particular. As medidas devem ser efectuadas em condições balanceadas usando se necessário baluns para ligação ao equipamento de medida. Os baluns devem ser seleccionados para adaptação à impedância nominal do cabo à frequência especificada. É recomendável que os baluns sejam blindados com fitas de cobre ou tubos. Os écrans dos pares ou o do cabo devem ser ligados aos dos baluns e por sua vez ligados à terra no lado do medidor. Ambos os pares em ensaio devem ser terminados nas suas impedâncias características nominais podendo os restantes pares ficar não terminados. Devem ser

tomadas precauções para minimizar os acoplamentos no extremo do cabo. Quando a bainha do cabo é retirada os pares devem manter o seu cableamento original e devem ser bem afastados.

As medidas devem ser efectuadas num comprimento entre 100m e 500m e os valores medidos corrigidos de acordo com a seguinte equação:

$$Nx = N_0 - 10\log_{10}\left[\left(1 - e^{4\alpha lx}\right) / \left(1 - e^{4\alpha lo}\right)\right]$$

onde:

— Nx é a paradiafonia em dB / 500m;

— N_0 é a paradiafonia em dB / comprimento do cabo;

— α é a atenuação em Neper / comprimento de cabo;

— l_0 comprimento do cabo em metros;

— l_x é o comprimento de referência de 500m.

Para comprimentos superiores a 500m não é necessário efectuar qualquer correcção.

12- Telediafonia

A atenuação telediafónica deverá ser efectuada tendo em consideração os requisitos já indicados no § anterior para a medida da paradiafonia. Os valores medidos do IO FEXT e EL FEXT devem ser corrigidos para o comprimento de referência de 500 metros, da seguinte forma:

$$IO\ FEXT = IO\ FEXT0 + 10\log_{10}\left[\ l_0 / 500 + \alpha\ (\ 1 - l_0 / 500\ )\ \right]$$

$$EL\ FEXT = EL\ FEXT0 + 10\log_{10}\left[\ l_0 / 500\ \right]$$

onde:

— FEXT0 é o valor de telediafonia medido em dB;

— l_0 é o comprimento do cabo em ensaio;

— α é a atenuação em dB / Km;

— FEXT é a telediafonia em dB corrigida para 500 metros.

13 - Impedância Característica

A impedância característica pode ser medida por vários métodos tais como: network analyser, voltimetro vectorial ou ponte de impedâncias. Qualquer que seja o método escolhido este deverá ter uma precisão melhor que ± 2%. As medidas devem ser efectuadas em condições balanceadas ligando o extremo do par em ensaio ao equipamento através de um balun se necessário.

Os pares não em ensaios devem ser ligados à terra no lado do medidor. A impedância característica é a média geométrica das impedâncias de entrada e é obtida da seguinte forma:

$$Zc = \left[Z(\text{fechado}).Z(\text{aberto})\right]^{1/2} = \left[(R + j\omega L) / (G + j\omega C\right]^{1/2}$$

em que:

— Z (fechado) = R + jωL
— Z (aberto) = (G + jωC)$^{-1}$
podendo obter-se a constante de propagação, γ através da seguinte equação:

$$\gamma = \left[(R + j\omega L)(G + j\omega C\right]^{1/2}$$

A parte imaginária da constante de propagação (γ) é a constante de fase (β) em radianos por unidade de comprimento. Num comprimento de onda a fase varia 2Π radianos ou seja,

$$\beta = \frac{2\pi}{\lambda}$$

em que λ é o comprimento de onda.

A componente real da constante de propagação (γ) é a atenuação (α) que pode ser expressa na seguinte forma:

$$\alpha = 8.686\left(\frac{R}{2Z_0} + \frac{GZ_0}{2}\right)$$

em dB por unidade de comprimento.

6.1.3 - Desequilíbrios e Diafonia

Os desequilíbrios que iremos apresentar são genéricamente os de impedância. Revelam-se de extrema importância para a qualidade de transmissão quer analógica quer digital. O acoplamento de impedância entre pares está directamente relacionado com os desequilíbrios. Na prática, os desequilíbrios com maior relevância para o acoplamento diafónico são os de capacidade:

- K_1 Desequilíbrio de capacidade par - par
- E Desequilíbrio de capacidade par - terra
- K_{9-12} Desequilíbrio de capacidade quadra - quadra

Outros existem que já tiveram importância no passado quando se usavam os circuitos fantasmas. Por exemplo K_2, representava o desequilibro real 1- fantasma e K_3 o real 2 - fantasma. Actualmente os equipamentos de medida de cabos de comunicações e dados têm multiplexers capazes de fazer as ligações necessárias para medir os seguintes desequilíbrios de capacidade de forma automática :

$$K_1,K_2,K_3,K_4,K_5,K_6,K_7,K_8,K_9,K_{10},K_{11},K_{12},E_1,E_2,E_3$$

e de resistência:

$$\Delta R_1 , \ \Delta R_2 \text{ e } \Delta R_3$$

1 - Desequilíbrios de Capacidade

No caso de cabos em pares são medidos K_1 e E . K_1 é medido por afectar o nível da diafonia e E por indicar a qualidade do recozimento do condutor de cobre e da regularidade da espessura e constante dieléctrica do isolamento. A especificação de construção de cabos da Portugal Telecom ET - 2.029 não obriga à medida do desequilíbrio à terra. K_1 é medido por afectar directamente o nível de diafonia enquanto que E se mede por necessidade da fábrica avaliar o estiramento de algum condutor e a regularidade da espessura e constante dieléctrica do isolamento. O desequilíbrio de capacidade par-par, também chamado real - real está representado pela figura 74,

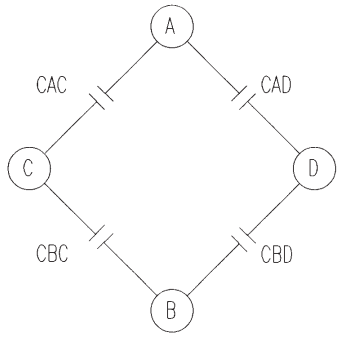


Figura 74 - Desequilíbrio de capacidade par - par K_1

e define-se pela equação:

$$K_1 = C_{AC} + C_{BD} - C_{BC} - C_{AD}$$

em que os condutores A,B formam o par 1 e os condutores C,D o par 2.

O desequilíbrio de capacidade à terra E está representado pela figura 75,

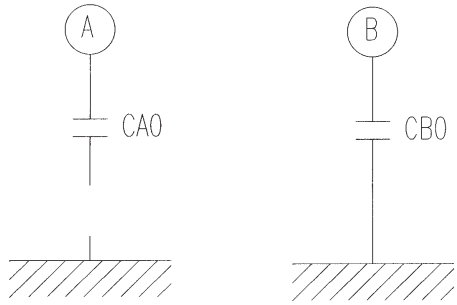


Figura 75 - Desequilíbrio de capacidade à terra

e define-se pela equação:

$$E = C_{A0} - C_{B0}$$

ou seja, pela diferença entre as capacidades do condutor A e do condutor B à terra.

As causas dos desequilíbrios pode ser somente uma ou a combinação entre as seguintes variáveis do processo:

— Diferenças de espessura de isolamento;
— Recozimento dos condutores deficiente;
— Passos da pareagem demasiado próximos;
— Pareagem ímpar, ou seja, um condutor torcido sobre o outro;
— Passos de cableagem demasiado longos;
— Fitas de cintagem de constante dieléctrica elevada.

Consideremos dois circuitos, um perturbador e outro perturbado, galvânicamente isolados, como representado na figura 76a.

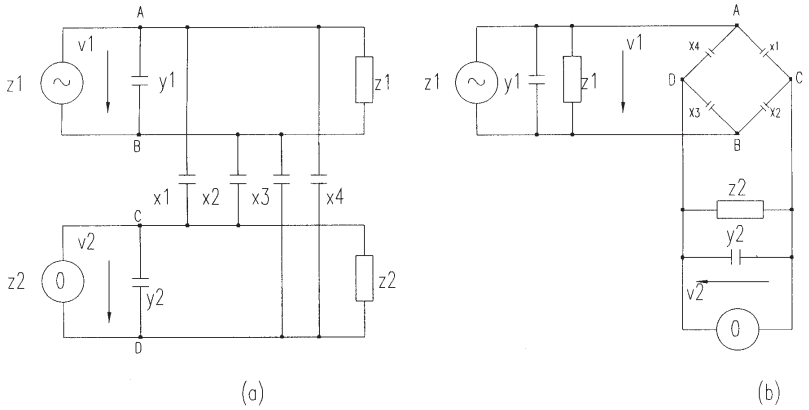


Figura 76 - Diafonia causada por desequilíbrio de capacidade par - par

Para as frequências audio podemos considerar a equivalência entre os circuitos representados nas figuras 76a e 76b. Em qualquer dos esquemas foi desprezado o efeito de acoplamento da condutância transversal, uma vez que o seu valor é desprezável perante as capacidades parciais x_1,x_2,x_3 e x_4. O esquema da figura 76b representa uma Ponte de Wheastone para medida das capacidades parciais.

A função de transferência entre os dois circuitos V_2 / V_1 vem:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{j\omega\left(x_1x_3 - x_2x_4\right)}{j\omega\left(x_1 + x_2\right)\left(x_3 + x_4\right) + \dfrac{2}{Z_2}\left(x_1 + x_2 + x_3 + x_4\right)}$$

Concluímos que a ausência de tensão no par perturbado, $V_2 = 0$ dá-se quando:

$$x_1x_3 - x_2x_4 = 0$$

A esta condição chama-se ausência de diafonia que implica uma atenuação transversal infinita, difícil de obter na prática.

2 - Diafonia entre pares Simétricos

Neste ponto iremos debruçar-nos sobre as diafonias entre pares simétricos de extrema importância para o utilizador final, o assinante. O termo «diafonia» significa alteração de fonia. Todos nós conhecemos o fenómeno quando falamos ao telefone com alguém, e em simultâneo, aparece outra conversa telefónica mais ou menos audível . A situação limite de diafonia dá-se quando dois telefones estão ligados em simultâneo à mesma linha ou quando existe curto-circuito entre fios de pares diferentes.

As diafonias são dos fenómenos mais interessantes e complexos da transmissão por cabo. Têm causas intrínsecas ao próprio cabo, como por exemplo desequilíbrios de capacidade e causas extrínsecas entre as quais podemos referir perturbações devido à proximidade de cabos de energia, linhas aéreas, ruído harmónico, etc.

Define-se diafonia como sendo a interferência provocada por um circuito telefónico sobre um outro circuito telefónico. Usando terminologia mais técnica, a diafonia é a atenuação transversal entre dois circuitos telefónicos simétricos, ou não, a uma determinada frequência. O termo anglo-saxónico para este fenómeno é « Crosstalk » que traduzido à letra, significa conversação cruzada, não diferindo muito da realidade.

Em cabos PCM, a transmissão é binária a 2400 Kbit/s, embora a análise da qualidade seja frequentemente feita com recurso a medidores da taxa de erros. Essa taxa aumenta com o aumento da diafonia. Numéricamente a diafonia é o valor absoluto da atenuação transversal que é sempre um valor negativo. Quando dizemos que a diafonia é elevada queremos dizer que o seu valor absoluto é baixo.

3 - O Quadripolo diafónico

A diafonia à frequência audio pode ser representada por um modelo formado por dois quadripolos, um perturbador e um perturbado, figura 77

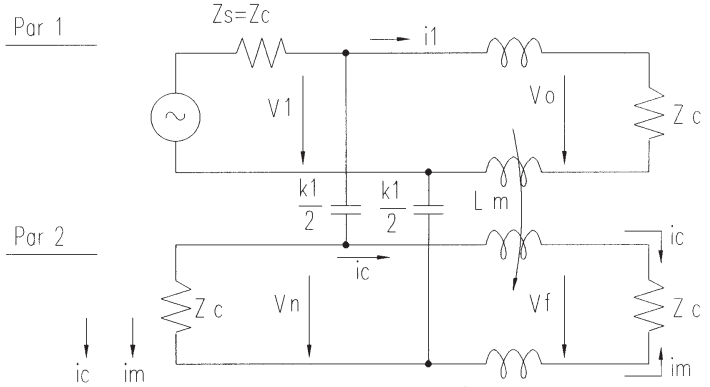


Figura 77 - Quadripolo diafónico à frequência audio

O par 1 é o par perturbador enquanto que o par 2 é o perturbado. A energia flui do par 1 para o par 2 devido ao desequilíbrio de capacidades e indutância mútua. A tensão V_1 causa a circulação de uma corrente i_1 no par perturbador. Se os pares 1 e 2 tiverem um desequilíbrio de capacidades não nulo então haverá uma corrente i_c a circular por ambas as extremidades do par 2. A corrente i_1 no par 1 induz uma corrente i_m no par 2 devido à indutância Lm. As correntes i_c e i_m adicionam-se junto à extremidade do gerador e subtraem-se na extremidade afastada. Por análise do circuito chegaríamos às seguintes conclusões:

$$\text{extremidade próxima } \frac{Vn}{V_1} = \frac{j\omega K_1 Zc}{8} + \frac{j\omega Lm}{2Zc} \qquad (1)$$

$$\text{extremidade afastada } \frac{Vf}{V_0} = \left(\frac{j\omega K_1 Zc}{8} + \frac{j\omega Lm}{2Zc}\right) \qquad (2)$$

Convertendo para dB temos:

$$\text{extremidade próxima dB} = 20\log_{10}\left(\frac{Vn}{V_1}\right) \qquad (3)$$

$$\text{extremidade afastada dB} = 20\log_{10}\left(\frac{Vf}{V_0}\right) \qquad (4)$$

Entre pares não adjacentes o acoplamento capacitivo é nulo devido ao efeito de écran provocado pelos pares intermédios. Tomando então $K_1 = 0$ e substituindo nas equações 1 e 2 obtemos:

$$\frac{Vf}{Vo} = \frac{Vn}{V_1} = \frac{j\omega Lm}{2Zc}$$

o que mostra a dependência da diafonia em relação ao acoplamento indutivo que, embora de menor peso em baixa frequência, pode tornar-se importante a frequências superiores à frequência de audio. As equações 3 e 4 representam a atenuação transversal ou diafonia em cada extremo dos dois pares. A diafonia mede-se com um gerador sintetizado ligado ao par perturbador e um medidor de nível ligado a uma extremidade do par perturbado conforme se indica na figura 78.

Como tanto o gerador como o medidor têm escalas logarítmicas e estando os circuitos adaptados bem como os instrumentos é possível medir directamente a atenuação em dB. A indicação dada pelo medidor nessa situação é a atenuação telediafónica A_d representada também por:

$$Ad = 10\log\frac{V_1 I_1}{V_2 I_2} = 20\log\left[\sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}} * \frac{I_1}{I_2}\right]$$

$$\Rightarrow Ad = 20\log\left[\sqrt{\frac{Z_2}{Z_1}} * \frac{V_1}{V_2}\right]$$

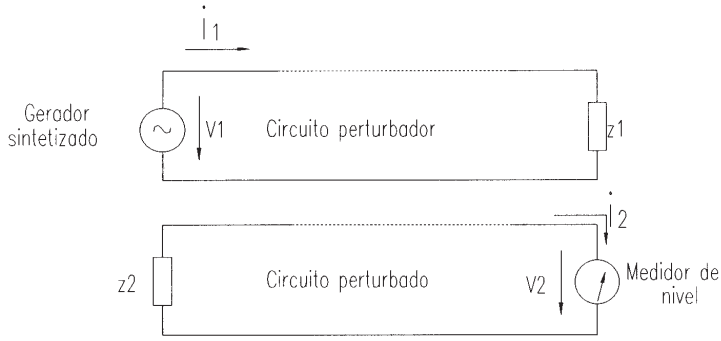


Figura 78 - O quadripolo para medida da Telediafonia

4 - Os Vários Tipos de Diafonias

Podem ser definidos vários tipos de diafonias num cabo telefónico consoante o critério de análise nomeadamente NEXT, FEXT, ONEXT, INEXT, OFEXT, IFEXT. Estas designações são as iniciais de:

NEXT - Near - end crosstalk

FEXT - Far - end crosstalk

ONEXT - Outer near - end crosstalk

INEXT - Inner near - end crosstalk

OFEXT - Outer far - end crosstalk

IFEXT - Inner far - end crosstalk

IO FEXT - Input / output far end crosstalk

EL FEXT - Equal level far end crosstalk

O NEXT é habitualmente traduzido por paradiafonia e o FEXT por telediafonia.

6.1.4 - Equilibragem

Equilibrar um cabo é compensar os seus desequilíbrios por outros, mas de sinal oposto. Essa compensação pode ser feita com recurso a elementos internos ao cabo ou elementos externos, nomeadamente condensadores. Existem assim dois grandes métodos de equilibragem:

- Método dos cruzamentos;
- Método dos condensadores.

O método dos cruzamentos é o mais utilizado, por não necessitar da introdução de elementos externos ao cabo, podendo ser usado durante o processo de fabrico, antes da aplicação da bainha final. Com a evolução para os cabos

de fibra óptica, cabos isolados a FMSK com enchimento a geleia e isolados a PE sem enchimento, o recurso às técnicas de equilibragem tornou-se pouco frequente mesmo nas aplicações para PCM. Por essa razão, torna-se extremamente importante produzir fio isolado a FMSK ou PE com uma dispersão de diâmetros, espessuras, centragem e alongamento à rotura muito baixa, assegurando em boa parte a produção de cabos sem necessidade de serem posteriormente equilibrados mas não totalmente. Pares adjacentes com o mesmo passo de cableagem têm desequilíbrios muito elevados.

O método dos cruzamentos baseia-se na troca entre: fios de um par, pares de uma quadra ou outras combinações dentro da quadra, por forma a obter uma redução de alguns desequilíbrios de capacidade. É claro que essas trocas são feitas com critérios pré-definidos para cada quadra e são esses critérios que iremos demonstrar. Consideremos a figura 79,

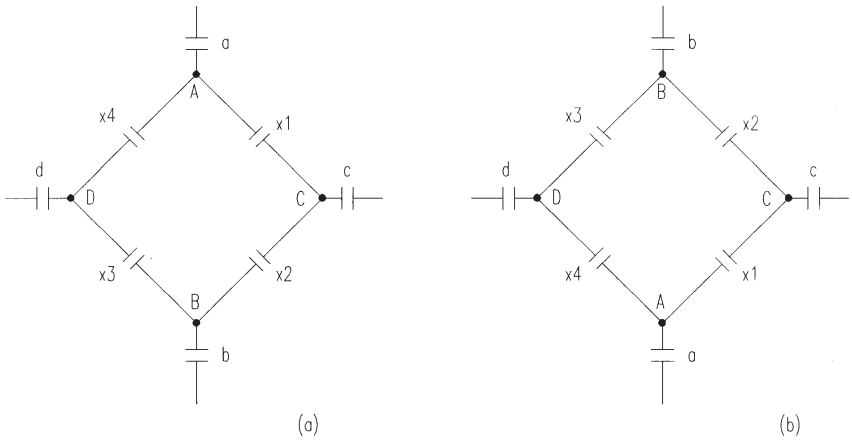


Figura 79 - Cruzamento entre fios de um par

Os vários desequilíbrios são definidos pelas seguintes equações a partir da figura 6. a)

$$\left.\begin{array}{ll} \text{real 1 - real 2:} & K_1 = X_1 + X_3 - X_2 - X_4 \\ \text{real 1 - fantasma:} & K_2 = X_1 + X_4 - X_2 - X_3 + \dfrac{E_1}{2} \\ \text{real 2 - fantasma:} & K_3 = X_1 + X_2 - X_3 - X_4 + \dfrac{E_2}{2} \\ \text{real 1 - terra:} & E_1 = a - b \\ \text{real 2 - terra:} & E_2 = c - d \\ \text{fantasma - terra:} & E_3 = a + b - c - d \end{array}\right\} \quad (5)$$

Ao trocarmos o fio **a** pelo fio **b** como se indica na figura 6.b) verificamos que as capacidades parciais X_1 e X_4 foram substituídas pelas X_2 e X_3 e vice - versa. Como resultado os desequilíbrios K_1,K_2, e E_1 serão simétricos aos seus valores antes dos cruzamentos, enquanto que os restantes desequilíbrios se mantêm inalterados. O cruzamento entre pares da mesma quadra (ver figura 80) não altera os desequilíbrios real - real que são K_1,K_9,K_{10},K_{11} e K_{12} mas muda o sinal ao desequilíbrio fantasma - terra E3 e troca os valores entre os desequilíbrios real 1 - fantasma e real 2 - fantasma K_2 e K_3.

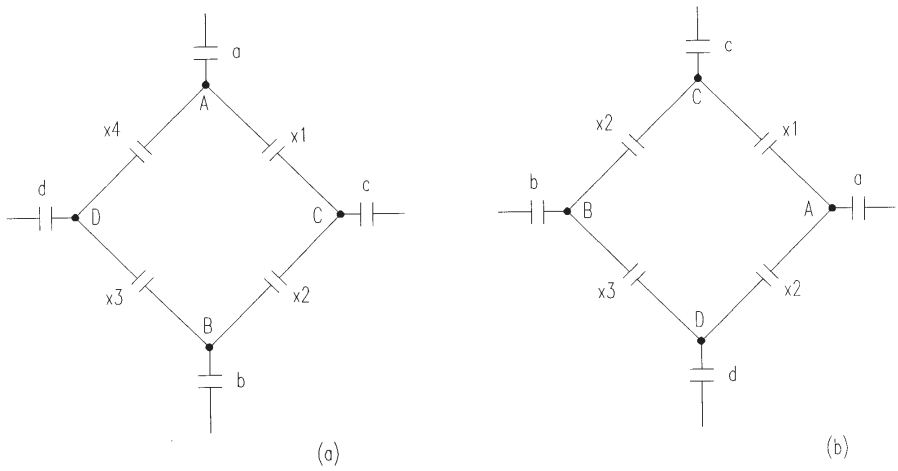


Figura 80 - Cruzamento de pares

As capacidades parciais X_4, **a** e **b** são substituídas pelas capacidades parciais X_2, **c** e **d** e vice - versa. Substituindo esses valores nas equações 5, obtêm-se as alterações atrás referidas. Generalizando para combinações de cruzamentos entre fios de cada par e entre pares de cada quadra num grupo de duas quadras a equilibrar em uma junta obtém-se, o quadro representado na figura 81.

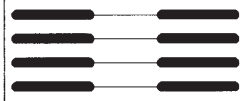
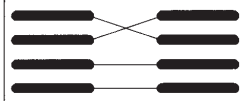
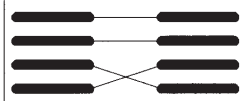
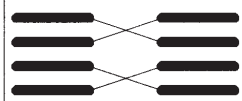
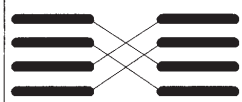
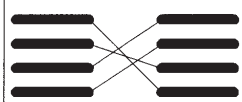
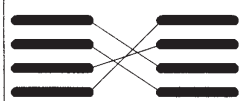
TIPO DE CRUZAMENTO	ESQUEMA	TIPO DE DESEQUILIBRIO					
		REAL–REAL K1	REAL1–FANTASMA K2	REAL2–FANTASMA K3	REAL1–TERRA E1	REAL2–TERRA E2	FANTASMA–TERRA E3
Pares e fio a direito		+K1	+K2	+K3	+E1	+E2	+E3
Fios do par 1 cruzados		–K1	–K2	+K3	–E1	+E2	+E3
Fios do par 2 cruzados		–K1	+K2	–K3	+E1	–E2	+E3
Fios dos dois pares cruzados		+K1	–K2	–K3	–E1	–E2	+E3
Fios cruzados pares a direito		+K1	+K3	+K2	+E2	+E1	–E3
Pares cruzados e fios do par 1 cruzados		–K1	–K3	+K2	–E2	+E1	–E3
Pares cruzados e fios do par 2 cruzados		–K1	+K3	–K2	+E2	–E1	–E3
Pares e fios dos dois pares cruzados		+K1	–K3	–K2	–E2	–E1	–E3

Figura 81 - Tabela de cruzamentos para equilibragem

Este quadro mostra, de uma forma sucinta, a técnica de equilibragem por cruzamentos que consiste, pois, em escolher a ligação adequada por forma a minimizar por soma algébrica os desequilíbrios resultantes da ligação entre duas quadras. É possível, com o auxílio de um PC, calcular a equilibragem de uma junta, fazendo o varrimento para cada combinação e para cada quadra do grupo de equilibragem. Podem assim ser usados vários algoritmos para cálculo do mesmo grupo de equilibragem e assim optarmos pelas combinações que se julgue mais adequadas ao tipo de transmissão.

6.1.5 - Velocidade de Propagação em Cabos de Comunicações

Quadro 150 - Valores medidos para Velocidade de Propagação em Cabos de Comunicações

Tipo de Cabo	Velocidade de Propagação	
	% de c	m / μs
Cabo Coaxial Isolado a Polietileno Sólido.	69	207
Cabo Coaxial Isolado a PE em espiral e ar.	85	255
Cabo Coaxial Isolado a Teflon	78	234
TVHV-RDIS	54	162
TVHV	54	162
TVV-RDIS	57	170
TVV	57	170
TFVHV	51	152
UTP	65	195
FTP	62	186
TE1HE - TE1HES - TE1HEAE / V	66	197
T1EG1HE - T1EG1HEAE / V	60	180
TFVQV	48	145
TVHIV	49	148
TE1HE - RDIS	66	197
T1EG1HE - RDIS	60	180

Equação para cálculo:

$$\vartheta p = \frac{300}{\sqrt{\varepsilon r \mu r}} \left[m / \mu s \right]$$

em que:

εr = Constante dieléctrica relativa média do isolante entre condutores.

μr = Permitividade magnética do isolante entre condutores.

6.1.6 - Cabos de Telecomunicações com Condutores Metálicos

T a b c d e f g h i j l

Campo - 1 Campo - 2

T – Cabo de telecomunicações com condutores metálicos

Campo 1 – Caracteriza o tipo construtivo do cabo

Campo 2 – Caracteriza a constituição do cabo

Quadro 151 - Tipo construtivo do cabo (Descrição do campo 1)

Identificação	Designação	Símbolo
a - Condutores	Cobre macio	Nenhuma letra
	Cobre duro ou semi duro	K
	Liga de cobre	1K
	Condutores bimetálicos	W
	Alumínio	L
	Liga de alumínio	1L
b - Grau de flexibilidade	Condutores rígidos	Nenhuma letra
	Condutores flexíveis	F
c - Isolamento	Papel	P
	Policloreto de vinilo	V
	Polietileno	E
	Polietileno celular ou "foam skin"	1E
d - Enchimento	Geleia de petróleo (ou equivalente)	G
	Fita hidroexpansiva	1G
e - Blindagem	Comum não estanque	H
	Estanque	1H
	Transversal+estanque	2H
f - Bainha	Chumbo	C
	Alumínio	L
	Policloreto de vinilo	V
	Polietileno	E
	Matérias de comportamento melhorado no caso de fogo	G
g - Elementos para abaixamento do factor de redução	Fio redondo	1R
	Fitas	1A
h - Reforço mecânico	Armadura de fitas de aço	A
	Armadura de fios de aço	R
	Armadura de barrinhas de aço	M
	Armadura de fita de aço corrugada	2A
	Trança de cobre	Q
	Trança de aço galvanizado	1Q
i - Indicações diversas	Condutores dispostos paralelamente	D
	Cabos auto-suportados com tensor metálico	S
	Cabos auto-suportados com tensor dieléctrico	1S

Quadro 152 - Constituição do cabo (Descrição do campo 2)

Identificação	Designação	Símbolo
j - Condutores	Nº de elementos do cabo (pares, quadras, etc) X Nº de condutores desses elementos X Diâmetro nominal	Não aplicável
l - Tipos de elementos (veja-se 2.1.1)	Para alta frequência Blindados Para baixa frequência ou cabos PCM Para ensaios	AF H Nenhuma letra E

Tipos de Elementos

As indicações referentes aos tipos de elementos são colocadas entre parêntesis a seguir aos dados correspondentes aos elementos a que respeitam.

Indicações referentes a elementos de tipos diferentes são separadas pelo sinal +.

A ordenação das indicações relativas aos diferentes tipos de elementos deve ser feita do modo seguinte:

1º - Elementos para alta frequência

2º - Elementos blindados

3º - Elementos para baixa frequência

4º - Elementos para ensaios

Exemplo: TE1HE 7x4x1,27 (AF)+22x4x0,9+2x1x0,9 (E)

Cabo constituído por 7 quadras para alta frequência com condutores de cobre macio de 1,27 mm de diâmetro isolados a polietileno, com 22 quadras para baixa frequência com condutores de 0,9 mm de diâmetro isolados a polietileno, com 2 condutores para ensaio, de 0,9 mm de diâmetro e bainha de polietileno.

6.1.7 - Rede Telefónica Local

Distâncias Máximas Admissíveis

Todas as ligações deverão respeitar as seguintes condições:

• Resistência de lacete máxima — 1400 Ω

• Atenuação de linha máxima — 10.50 dB

A atenuação e a resistência de lacete poderão ser calculadas com as seguintes fórmulas:

• Atenuação = $\sum_{i=1}^{n} \alpha i di$

• Resistência de lacete = $\sum_{i=1}^{n} ri di$

em que:

• n - número de troços com calibres distintos;
• αi - atenuação por km para o calibre a que se refere;
• ri - resistência por km para o calibre a que se refere;
• di - distância respectiva para o troço.

Para os cabos actualmente usados no mercado Português deve-se usar os valores indicados na tabela abaixo.

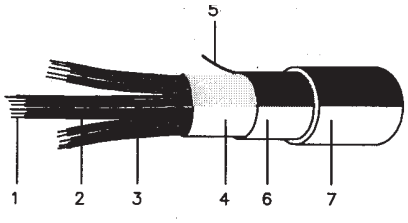
Quadro 153 - Valores de Atenuação

Diâmetro do Condutor (mm)	α (dB/Km)	r (Ω/Km)
0.4	1.98	280
0.5	1.40	180
0.6	1.18	126
0.9	0,71	56

A título de exemplo podemos referir que um cabo dos tipos TE1HE, TE1HES ou TE1HEAV com condutores de 0,4 mm de diâmetro poderá ser usado numa distância máxima de 5 km uma vez que cumpre as condições acima referidas.

6.1.8 - Cabos Telefónicos da Rede Local

Figura 82 - Cabos tipo TE1HE



1 - Condutor cobre macio
2 - Isolamento de polietileno
3 - Fita de identificação
4 - Cinta
5 - Fio de rasgar
6 - Fita de blindagem de alumínio/polietileno
7 - Bainha de polietileno

Utilização:

Instalações telefónicas exteriores de acordo com os requisitos base da especificação da Portugal Telecom ET-2.029 «Cabos Isolados e Revestidos a Polietileno». Utiliza-se em redes telefónicas para ligações locais tais como ligações entre o assinante e a central. Aplica-se ainda em ligações de automação e instrumentação nas versões de baixo número de pares.

Características Eléctricas:

Resistência dos Condutores Máxima, a 20°C: 0.4-150 Ω / km

0.5-95.9 Ω / km

0.6-66.6 Ω / km

0.9-29 Ω / km

Desequilíbrio de Resistência Máximo: 2% (0.9) e 2.5% (0.4; 0.5 e 0.6)

Rigidez Dieléctrica Mínima Fio / Fio 1 minuto: 1.5 kV dc.

Rigidez Dieléctrica Mínima Fio / Écran 1 minuto: 3 kV dc.

Resistência de Isolamento Mínima Écran de Cada Fio: 10000 MΩ . km.

Capacidade Mútua Média Máxima: 55 nF / km.

Capacidade Mútua Individual Máxima: 64 nF / km.

Desequilíbrios de Capacidade Par / Par (acoplamento) Máximo: 400 pF / km para 0.4; 0.5 e 0.6. e 270 pF / km para 0.9.

Desequilíbrios de Capacidade Par / Terra Máxima: 3000 pF / km.

Rigidez Dieléctrica da Bainha Mínima: 12 kV dc.

Impedância Característica: 100 ± 20Ω ≥ 800 kHz.

Impedância Característica a 800 Hz aproximadamente: 0.4 - 900 Ω

0.5 - 720 Ω

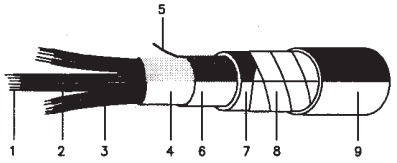
0.6 - 600 Ω

0.9 - 400 Ω

Quadro 154 - Características Dimensionais

Nº de Pares	0.4mm ∅		0.5mm ∅		0.6mm ∅		0.9mm ∅	
	Esp. mín. da bainha (mm)	∅ exterior máximo (mm)	Esp. mín. da bainha (mm)	∅ exterior máximo (mm)	Esp. mín. da bainha (mm)	∅ exterior máximo (mm)	Esp. mín. da bainha (mm)	∅ exterior máximo (mm)
10	1.4	11.5	1.4	12.5	1.4	14.0	1.4	18.5
20	1.4	13.5	1.4	15.0	1.4	17.0	1.4	23.0
30	1.4	15.0	1.4	17.0	1.4	19.5	1.6	27.5
50	1.4	17.5	1.4	20.0	1.4	23.0	1.6	33.5
100	1.4	22.5	1.4	25.5	1.6	30.5	1.8	45.0
150	1.4	26.0	1.6	30.5	1.6	35.5	2.0	54.0
200	1.6	29.5	1.6	34.0	1.8	40.5	2.2	61.0
300	1.6	34.5	1.8	40.5	1.8	48.0	2.4	72.5
400	1.8	39.5	1.88	46.0	2.0	55.0	---	---
600	1.8	46.5	2.0	55.0	2.2	65.5	---	---
800	2.0	53.5	2.2	62.5	2.4	74.0	---	---
900	2.0	56.0	2.2	65.5	2.4	77.5	---	---
1000	2.0	58.5	2.2	68.5	2.4	81.0	---	---
1200	2.2	63.5	2.4	74.0	---	---	---	---
1600	2.4	71.5	---	---	---	---	---	---
1800	2.4	75.5	---	---	---	---	---	---
2000	2.4	78.5	---	---	---	---	---	---
2400	2.4	84.0	---	---	---	---	---	---

Figura 83 - Cabos tipo **TE1HEAE**



1 - Condutor cobre macio
2 - Isolamento de polietileno
3 - Fita de identificação
4 - Cinta
5 - Fio de rasgar
6 - Fita de blindagem de alumínio/polietileno
7 - Baínha de polietileno
8 - Armadura em fitas de aço
9 - Bainha de PE

Utilização:

Instalações telefónicas exteriores de acordo com os requisitos base da especificação da Portugal Telecom ET-2.029 «Cabos Isolados e Revestidos a Polietileno». Utiliza-se em redes telefónicas para ligações locais tais como ligações entre o assinante e a central. Aplica-se ainda em ligações de automação e instrumentação nas versões de baixo número de pares. Por ser armado pode-se instalar directamente no solo.

Características Eléctricas:

Resistência dos Condutores Máxima, a 20ºC: 0.4-150 / 0.5-95.9 / 0.6-66 / 0.9-29 Ω/km

Desequilíbrio de Resistência Máximo: 2% (0.9) e 2.5% (0.4; 0.5 e 0.6)

Rigidez Dieléctrica Mínima Fio / Fio 1 minuto: 1.5 kV dc.

Rigidez Dieléctrica Mínima Fio / Écran 1 minuto: 3 kV dc.

Resistência de Isolamento Mínima Écran de Cada Fio: 10000 MΩ . km.

Capacidade Mútua Média Máxima: 55 nF / km.

Capacidade Mútua Individual Máxima: 64 nF / km.

Desequilíbrios de Capacidade Par / Par (acoplamento) Máximo: 400 pF / km p/ 0.4; 0.5 e 0.6. e 270 pF / km p/ 0.9.

Desequilíbrios de Capacidade Par / Terra Máximo: 3000 pF / km.

Rigidez Dieléctrica da Bainha Mínima: 12 kV dc.

Impedância Característica: 100 ± 20Ω ≥ 800 kHz.

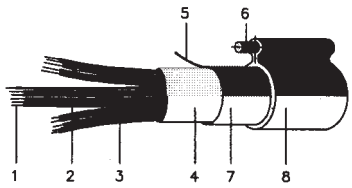
Impedância Característica a 800 Hz aproximadamente: 0.4 - 900 Ω/ 0.5 - 720 Ω / 0.6 - 600 Ω / 0.9 - 400 Ω

Atenuação a 800 Hz max: 0.4 - 1.98 / 0.5 - 1.40 / 0.6 - 1.18 / 0.9 - 0.71 dB/km

Quadro 155 - Características Dimensionais

Composição	Esp. mínima da bainha interior *(mm)*	∅ máximo da bainha interior *(mm)*	Esp. nominal das fitas de aço *(mm)*	Esp. mínima da bainha exterior *(mm)*	∅ exterior máximo *(mm)*
10x2x0.4	1.4	11.5	0.20	1.6	17.0
20x2x0.4	1.4	13.5	0.20	1.6	19.0
30x2x0.4	1.4	15.0	0.20	1.6	20.5
50x2x0.4	1.4	17.5	0.20	1.6	23.0
100x2x0.4	1.4	22.5	0.20	1.6	27.5
150x2x0.4	1.4	26.0	0.20	1.6	31.5
200x2x0.4	1.6	29.5	0.20	1.8	35.5
300x2x0.4	1.6	34.5	0.50	1.8	41.5
400x2x0.4	1.8	39.5	0.50	2.1	47.5
600x2x0.4	1.8	46.5	0.50	2.1	54.5
800x2x0.4	2.0	53.5	0.50	2.3	61.5
900x2x0.4	2.0	56.0	0.50	2.3	64.0
1000x2x0.4	2.0	58.5	0.50	2.3	66.5
1200x2x0.4	2.2	63.5	0.50	2.5	71.5
1600x2x0.4	2.4	71.5	0.80	2.8	82.0
10x2x0.5	1.4	12.5	0.20	1.6	18.0
20x2x0.5	1.4	15.0	0.20	1.6	20.5
30x2x0.5	1.4	17.0	0.20	1.6	22.0
50x2x0.5	1.4	20.0	0.20	1.6	25.5
100x2x0.5	1.4	25.5	0.20	1.6	31.0
150x2x0.5	1.6	30.5	0.50	1.8	37.5
200x2x0.5	1.6	34.0	0.50	1.8	41.0
300x2x0.5	1.8	40.5	0.50	2.1	48.5
400x2x0.5	1.8	46.0	0.50	2.1	54.0
600x2x0.5	2.0	55.0	0.50	2.3	63.0
800x2x0.5	2.2	62.5	0.50	2.5	70.5
900x2x0.5	2.2	65.5	0.50	2.5	73.5
1000x2x0.5	2.2	68.5	0.50	2.5	76.5
10x2x0.6	1.4	14.0	0.20	1.6	19.5
20x2x0.6	1.4	17.0	0.20	1.6	22.0
30x2x0.6	1.4	19.5	0.20	1.6	24.5
50x2x0.6	1.4	23.0	0.20	1.6	28.5
100x2x0.6	1.6	30.5	0.50	1.8	37.5
150x2x0.6	1.6	35.5	0.50	1.8	42.5
200x2x0.6	1.8	40.5	0.50	2.1	48.5
300x2x0.6	1.8	48.0	0.50	2.1	56.0
400x2x0.6	2.0	55.0	0.50	2.3	63.5
600x2x0.6	2.2	65.5	0.50	2.5	73.5
10x2x0.9	1.4	18.5	0.20	1.6	24.0
20x2x0.9	1.4	23.0	0.20	1.6	28.5
30x2x0.9	1.6	27.5	0.20	1.8	33.0
50x2x0.9	1.6	33.5	0.50	1.8	40.5
100x2x0.9	1.8	45.0	0.50	2.1	52.5
150x2x0.9	2.0	54.0	0.50	2.3	62.0
200x2x0.9	2.2	61.0	0.50	2.3	69.0
300x2x0.9	2.4	72.5	0.50	2.5	80.5

Figura 84 - Cabos tipo **TE1HES**



1 - Condutor cobre macio
2 - Isolamento de polietileno
3 - Fita de identificação
4 - Cinta
5 - Fio de rasgar
6 - Cabo tensor
7 - Fita de blindagem de alumínio/polietileno
8 - Baínha de polietileno

Utilização:

Instalações telefónicas exteriores aéreas de acordo com os requisitos base da especificação da Portugal Telecom ET-2.029 «Cabos Isolados e Revestidos a Polietileno». Utiliza-se em redes telefónicas aéreas autosuportadas para ligações locais tais como ligações entre o assinante e a central.

Características Eléctricas:

Resistência dos Condutores Máxima, a 20ºC: 0.4-150; 0.5-95.9; 0.6-66.6; 0.9-29 Ω / km

Desequilíbrio de Resistência Máximo: 2% (0.9) e 2.5% (0.4; 0.5 e 0.6)

Rigidez Dieléctrica Mínima Fio / Fio 1 minuto: 1.5 kV dc.

Rigidez Dieléctrica Mínima Fio / Écran 1 minuto: 3 kV dc.

Resistência de Isolamento Mínima Écran de Cada Fio: 10000 MΩ / km.

Capacidade Mútua Média Máxima: 55 nF / km.

Capacidade Mútua Individual Máxima: 64 nF / km.

Desequilíbrios de Capacidade Par / Par (acoplamento) Máximo: 400 pF / km para 0.4; 0.5 e 0.6. e 270 pF / km para 0.9.

Desequilíbrios de Capacidade Par / Terra Máximo: 3000 pF / km.

Rigidez Dieléctrica da Bainha Mínima: 12 kV dc.

Impedância Característica: 100 ± 20Ω ≥ 800 kHz.

Impedância Característica a 800 Hz aproximadamente: 0.4 - 900 Ω

0.5 - 720 Ω

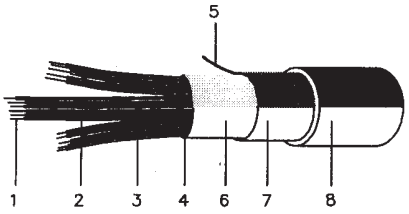
0.6 - 600 Ω

0.9 - 400 Ω

Quadro 156 - Características Dimensionais

	Tipo de Cabo	Nº Pares	Espess. mín. bainha s/ o conjunto blindado (e1) (mm)	∅ máx. da bainha s/ o cabo telefónico (d) (mm)	Tipo de Cabo Tensor	Espess. mín. da bainha s/ o cabo tensor (e2) (mm)	Altura máx. do conjunto (H) (mm)
A	Cabos c/ condut. de 0.4mm de ∅	10	1.4	11.5	0	1.1	21.0
		20	1.4	13.5	0	1.1	23.0
		30	1.4	15.0	0	1.1	24.5
		50	1.4	17.5	1	1.1	29.0
		100	1.4	22.5	1	1.1	34.0
		150	1.4	26.0	1	1.1	37.5
		200	1.6	29.5	1	1.3	41.5
		300	1.6	34.5	2	1.3	49.5
		400	1.8	39.5	2	1.4	55.0
B	Cabos c/ condut. de 0.5mm de ∅	10	1.4	12.5	0	1.1	22.0
		20	1.4	15.0	0	1.1	24.5
		30	1.4	17.0	1	1.1	28.5
		50	1.4	20.0	1	1.1	31.5
		100	1.4	25.5	1	1.1	37.0
		150	1.6	30.5	2	1.3	45.5
		200	1.6	34.0	2	1.3	49.0
		300	1.8	40.5	2	1.4	56.0
C	Cabos c/ condut. de 0.6mm de ∅	10	1.4	14.0	0	1.1	23.5
		20	1.4	17.0	1	1.1	28.5
		30	1.4	19.5	1	1.1	31.0
		50	1.4	23.0	1	1.1	34.5
		100	1.6	30.5	2	1.3	45.5
		150	1.6	35.5	2	1.3	50.5
		200	1.8	40.5	2	1.4	56.0
D	Cabos c/ condut. de 0.9mm de ∅	10	1.4	18.5	1	1.1	30.0
		20	1.4	23.0	1	1.1	34.5
		30	1.6	27.5	1	1.3	39.5
		50	1.6	33.5	2	1.3	48.5
		100	1.8	45.5	2	1.4	60.5

Figura 85 - Cabos tipo **T1EG1HE**



1 - Condutor cobre macio
2 - Isolamento de polietileno
3 - Fita de identificação
4 - Enchimento a geleia
5 - Fio de rasgar
6 - Cinta
7 - Fita de blindagem de alumínio/polietileno
8 - Bainha de polietileno

Utilização:

Instalações telefónicas subterrâneas com estanquecidade longitudinal de acordo com os requisitos base da especificação da Portugal Telecom ET-2.029 «Cabos Isolados e Revestidos a Polietileno». Utiliza-se em redes telefónicas para ligações locais tais como ligações entre o assinante e a central.

Características Eléctricas:

Resistência dos Condutores Máxima, a 20ºC: 0.4-150; 0.5-95.9; 0.6-66.6; 0.9-29 Ω/ km

Desequilíbrio de Resistência Máximo:2% (0.9) e 2.5% (0.4; 0.5 e 0.6)

Rigidez Dieléctrica Mínima Fio / Fio 1 minuto: 0.5 kV dc.

Rigidez Dieléctrica Mínima Fio / Écran 1 minuto: 1.5 kV dc.

Resistência de Isolamento Mínima Écran de Cada Fio: 5000 MΩ . km.

Capacidade Mútua Média Máxima: 55 nF / km.

Capacidade Mútua Individual Máxima: 64 nF / km.

Desequilíbrios de Capacidade Par / Par (acoplamento) Máximo: 400 pF / km para 0.4; 0.5 e 0.6. e 270 pF / km para 0.9.

Desequilíbrios de Capacidade Par / Terra Máximo: 3000 pF / km.

Rigidez Dieléctrica da Bainha Mínima: 12 kV dc.

Impedância Característica: 100 ± 20Ω ≥ 800 kHz.

Impedância Característica a 800 Hz aproximadamente: 0.4 - 900 Ω
0.5 - 720 Ω
0.6 - 600 Ω
0.9 - 400 Ω

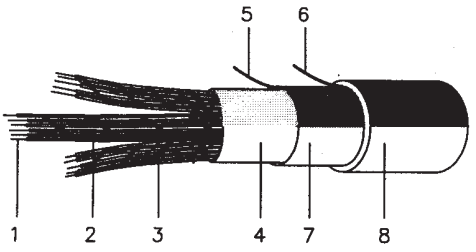
Atenuação, dB/km a 800 Hz max: 0.4 - 1.98
0.5 - 1.80
0.6 - 1.18
0.9 - 0.71

Quadro 157 - Características Dimensionais

Nº de Pares	0.4mm ∅		0.5mm ∅		0.6mm ∅		0.9mm ∅	
	Esp. mín. da bainha (mm)	∅ exterior máxi. (mm)	Esp. mín. da bainha (mm)	∅ exterior máxi. (mm)	Esp. mín. da bainha (mm)	∅ exterior máxi. (mm)	Esp. mín. da bainha (mm)	∅ exterior máxi. (mm)
10	1.4	11.5	1.4	12.5	1.4	14.0	1.4	18.5
20	1.4	13.5	1.4	15.0	1.4	17.0	1.4	22.5
30	1.4	15.0	1.4.	17.0	1.4	19.5	1.6	27.0
50	1.4	17.5	1.4	20.0	1.4	23.0	1.6	32.5
100	1.4	22.5	1.4	25.5	1.6	30.5	1.8	43.5
150	1.4	26.0	1.6	30.5	1.6	35.5	2.0	52.5
200	1.6	29.5	1.6	34.0	1.8	40.5	2.0	59.0
300	1.6	34.5	1.8	40.5	1.8	48.0	2.2	70.0
400	1.8	39.5	1.8	46.0	2.0	55.0	---	---
600	1.8	46.5	2.0	55.0	2.2	65.5	---	---
800	2.0	53.5	2.2	62.5	2.4	74.0	---	---
900	2.0	56.0	2.2	65.5	2.4	77.5	---	---
1000	2.0	58.5	2.2	68.5	2.4	81.0	---	---
1200	2.2	63.5	2.4	74.0	---	---	---	---
1600	2.4	71.5	2.6	82.0	---	---	---	---
1800	2.4	73.0	2.6	84.0	---	---	---	---
2000	2.4	76.0	---	---	---	---	---	---
2400	2.4	82.0	---	---	---	---	---	---

6.1.9 - Cabos Telefónicos de Assinante

Figura 86 - Cabos tipo **TVHV**



1 - Condutor cobre macio
2 - Isolamento de PVC
3 - Fita de identificação
4 - Cintagem em poliéster
5 - Fio de continuídade
6 - Fio de rasgar
7 - Fita de blindagem de alumínio /polietileno
8 - Bainha de PVC

Utilização:

Instalações do RITA.

Características Eléctricas:

Resistência Máxima do Condutor em c.c., a 20ºC: 96 Ω / km (0.5mm).
36.8 Ω / km (0.8mm).

Resistência Mínima de Isolamento a 20ºC: 500 M Ω . km

Rigidez Dieléctrica Fio/Fio e Fio/Écran: 1.5 kV dc.

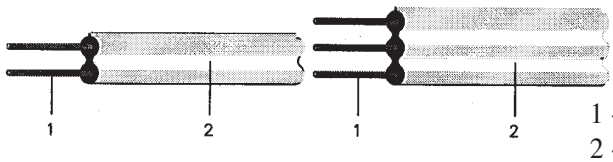
Capacidade Mútua Máxima a 800 Hz: 120 nF / km (> 6 pares).
132 nF / km (≤ 6 pares).

Desequilíbrios Capacitivos Máximos (entre pares): 400 pF por 500 metros.

Quadro 158 - Características Dimensionais

Composição	Condutores com 0.5mm de ∅		Condutores com 0.8mm de ∅	
	∅ Ext. Máximo *(mm)*	Peso *(Kg/Km)*	∅ Exterior Máximo (mm)	Peso *(Kg/Km)*
1x2	5.5	15	8.5	27
1x3	6.0	17	9.5	33
2x2	6.0	30	9.5	60
3x2	6.5	42	10.0	80
6x2	8.0	65	12.0	140
10x2	9.0	90	13.5	220
10x3	10.5	120	15.5	300
15x2	10.5	120	15.5	300
20x2	12.0	160	17.5	370
20x3	13.5	220	20.0	550
30x2	14.0	220	--	--
40x2	15.5	300	--	--
50x2	17.0	350	--	--
60x2	18.5	400	--	--
100x2	23.0	660	--	--
200x2	32.5	1200	--	--

Figura 87 - Cabos tipo **TVD**



1 - Cobre macio
2 - Isolamento de PVC

Utilização:

Ligações de assinante segundo o RITA.

Condutores:

Cobre macio de 0.6mm de diâmetro. Existem duas versões, nomeadamente:

- 1x2x0.6 - 2 condutores em paralelo;
- 1x3x0.6 - 3 condutores em paralelo.

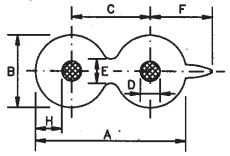
Isolamento:

PVC do tipo TI 51 da HD 624.1 com a cor Creme.

Dimensões:

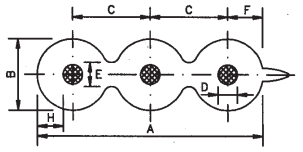
As dimensões estão indicadas nas tabelas I e II.

Tabela I



A	B	C	D	E	F	H
5.5	2.3	2.5	0.6	0.6	1.65	0.75
≤	±0.2	±0.5		±0.2	Aprox.	

Tabela II



A	B	C	D	E	F	H
7.8	2.3	2.5	0.6	0.6	1.65	0.75
≤	±0.2	±0.5		±0.2	Aprox	≥

Características Físicas e Eléctricas:

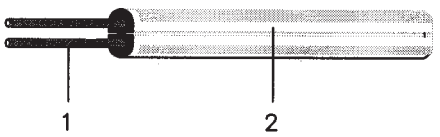
Força de ruptura do isolamento:	≥ 12.2 N / mm2
Retracção do isolamento a quente:	≤ 4%
Força de ruptura do condutor:	≥ 5 Kg
Alongamento à ruptura dos condutores:	≥ 20%

Peso:

TVD 1x2x0.6 é 22 kg / km.

TVD 1x3x0.6 é 33 kg / km.

Figura 88 - Cabos tipo **TKVD**



1 - Cobre duro
2 - Isolamento de PVC

Utilização:

Ligações telefónicas exteriores.

Condutores:

Dois condutores de cobre duro com 0.8mm de diâmetro.

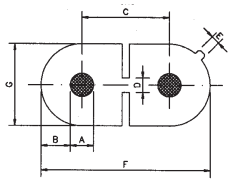
Isolamento:

PVC do tipo TI 51 da HD 624.1 com a cor Preta.

Dimensões:

As dimensões estão indicadas na Tabela III.

Tabela III



A (mm)	B (mm)	C (mm)	D (mm)	E (mm)	F (mm)	G (mm)
0.8	1.0	3.0	0.5	0.3	5.8	2.8
+0.08, -0.01	+0.1, -0.05	V. nominal	V. nominal	V. nominal	+0.4, -0.2	+0.2, -0.1

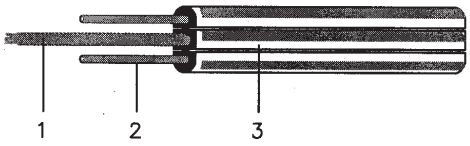
Características Eléctricas:

Força de ruptura do isolamento:	≥ 12.2 N / mm2
Alongamento à ruptura do isolamento:	≥ 150%
Retracção do isolamento a quente:	≤ 4%
Força de ruptura do condutor:	≥ 20 kgf
Alongamento à ruptura do condutores:	aprox. 1.5%

Peso:

O peso do TKVD 1x2x0.8 é 27 kg / km.

Figura 89 - Cabos tipo **TEDS**



1 - Cabo Tensor em aço galvanizado
2 - Condutor cobre macio
3 - Isolamento em polietileno

Utilização:

Ligações telefónicas aéreas entre o assinante e a rede local de cabos. Elevada resistência à tracção, adequado para uso em locais ventosos ou para grandes distâncias entre postes.

Condutores:

Cobre macio de diâmetro de 0.8 mm.

Isolamento:

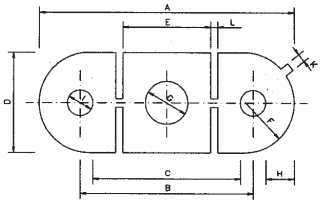
Polietileno Preto.

Cabo Tensor:

O cabo tensor é colocado entre os dois condutores de cobre e revestido em conjunto com estes, em polietileno. É constituído por 7 fios de aço galvanizado de 0.6mm.

Dimensões:

Tabela IV



A	D	H
8	3.5	1
± 0.4	± 0.2	± 0.1

Características Físicas e Eléctricas:

Alongamento à ruptura dos condutores:	≥ 15%
Alongamento à ruptura do isolamento:	≥ 300%
Aderência do tensor ao isolamento:	≥ 180N
Força de ruptura do cabo tensor :	≥ 1950N
Diâmetro do condutor:	0.8mm ± 1.5%
Resistência de isolamento a 500 Vdc, a 20ºC:	≥ 5000 MΩ . km
Capacidade mútua típica:	42 nF / km
Resistência dos condutores dc, a 20ºC:	≤ 35 Ω / km

Peso:

O peso TEDS 1x2x0.8 é 42 kg / km.

TE1SE 2x2x0,5

Cabo de cobre auto-suportado, de configuração circular, com dois pares de calibre 0,5 mm e qualidade de transmissão equiparada a categoria 3, para utilização na rede telefónica de acesso de distribuição. De acordo com a simbologia em vigor, o cabo é genericamente designado por TE1SE 2x2x0,5.

O diâmetro nominal dos condutores de cobre é de 0,50 mm, com uma tolerância de ±1,5%.

O isolamento de cada fio condutor deve é de polietileno sólido de média densidade (de 0,925 g/cm^3 a 0,940 g/cm^3).

A cor do isolamento de cada fio de cobre serve para a identificação dos condutores que constituem o cabo, respeitando o seguinte código de cores: Par 1 - (a) Branco (b) Azul; Par 2 - (a) Amarelo (b) Preto.

Os elementos de reforço em Kevlar conferem ao cabo a resistência mecânica aos esforços de tracção em utilização.

A bainha do cabo é de polietileno de média densidade, adequado para resistir aos agentes atmosféricos e em particular às radiações UV.

O material da bainha é de cor preta com 2% a 3% de teor de negro de carbono uniformemente distribuído. A espessura mínima da bainha deve ser de 0,5 mm.

Sob a bainha exterior está incorporado por aplicação longitudinal um fio de rasgar, em material não-metálico e não-higroscópio, com uma carga de rotura mínima de 80 N, que permite a fácil remoção da bainha sem danificar os pares nem os tensores.

O diâmetro exterior máximo do cabo é de 5,5 mm.

Características eléctricas de BF.

— Resistência eléctrica do fio condutor (a 20ºC) ≤ 95 ø/km.

— Desequilíbrio de resistência entre condutores do mesmo par ≤ 2,0%.

— Resistência de Isolamento (a 20ºC) ? 10 000 Mø.km.

— Capacidade Mútua (a 1 kHz) < 55 nF/km

— Desequilíbrio capacitivo par-par (a 1 kHz) < 300 pF/km.

— Desequilíbrio capacitivo par-terra (a 1 kHz) < 1000 pF/km.

Características de Transmissão:

Quadro 159 - Características de Transmissão

f (Hz)	ATT	Z	RL	NEXT	FEXT
800	< 1,5 dB/km	600±50 Ω	nd	nd	nd
64 K	< 8 dB/km	125±25 Ω	nd	nd	nd
256 K	< 11 dB/km	nd	nd	nd	nd
512 K	< 15,5 dB/km	nd	nd	nd	nd
772 K	< 18 dB/km	100±15 Ω	> 18 dB	> 64 dB	> 64 dB
1 M	< 21 dB/km	100±15 Ω	> 18 dB	> 62 dB	> 62 dB
4 M	< 43 dB/km	100±15 Ω	> 18 dB	> 53 dB	> 53 dB
10 M	< 66 dB/km	100±15 Ω	> 15 dB	> 47 dB	> 47 dB
16 M	< 82 dB/km	100±15 Ω	> 15 dB	> 44 dB	> 44 dB
nd - não definido					

Normas:

— Atenuação (perdas de inserção): EN 50289-1-8

— Impedância característica e perdas de retorno: EN 50289-1-11

— Paradiafonia (NEXT) e Telediafonia (FEXT): EN 50289-1-10

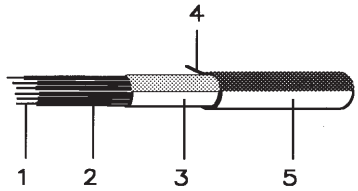
— Condutores de cobre IEC 60028

— Ensaios de baixa frequência IEC 60189

O cabo TE1SE 1x2x0,8 utiliza-se em maiores distâncias entre o assinante e a central. Este cabo, como a designação indica, só difere no numero de pares e no calibre.

6.1.10 - Cabo para Redes Informáticas

Figura 90 - **UTP 4PR24AWG - Cat. 5 - 100 Ω**



1 - Condutor cobre macio
2 - Isolamento em Pe
3 - Cintagem em poliester
4 - Fio de rasgar
5 - Bainha de PVC

Utilização:

Aplica-se em cablagens estruturadas para instalação horizontal e suporta os requisitos das seguintes normas de meios de comunicação:

- IEEE 802.3, 10 Base T;
- IEEE 802.5;
- ISDN, FDDI, ATM, CDDI;
- Fast Ethernet;
- Cablagem classe D da ISO/IEC 11801, EIA/TIA 568A TSB 36, EN 50173.

Construção:

Diâmetro dos condutores:	24AWG (0.51mm)
Isolamento:	PE (HD 624.3 e HD 624.5)
Número de pares:	Em geral 4. Outras composições a pedido
Norma:	EN 50167 (não blindado) para cablagem horizontal

Cableagem:

Em pares simétricos torcidos entre si, e por sua vez em forma de quadra-estrela.

Código de Cores:

De acordo com EN 50167 / IEC 189.

- Par 1 — Branco / Azul
- Par 2 — Branco / Laranja
- Par 3 — Branco / Verde
- Par 4 — Branco / Castanho

Cintagem:

Se aplicada será em fita poliéster ou polipropileno.

Blindagem:

Não aplicável.

Bainha Exterior:

A bainha exterior é em PVC tipo TM51 como definido no HD 624.2. É em cor cinzenta clara conforme o RAL 7001.

Fio de Rasgamento:

Sob a bainha exterior existe um fio de rasgar com força de rotura mínima de 160 N.

Força de Traccionamento:

A força de traccionamento do cabo deverá ser inferior a 80 N.

Características de Transmissão:

Parâmetros Primários

Resistência de lacete dc, 20ºC: ≤ 191 Ω / km a 20ºC

Desequilíbrio de resistência: ≤ 2%

Capacidade mútua 1 Khz típico: 51 nF / km

Resistência de isolamento: ≥ 10000 MΩ . km

Parâmetros Secundários

Impedância característica a f ≥ 1 MHz: 100 ± 15 Ω

Velocidade de propagação típico: 195 m / μs NVP 65%

Quadro 160 - Paradiafonia (NEXT) e Atenuação (ATT)

Frequência	Atenuação dB/100m máximo segundo EN 50167, 1994	NEXT (dB)		ACR dB/100m	
		Valor Nominal dB	Requisito (dB) categoria 5 (min) segundo EN 50167, 1994	Valor Nominal	Requisito EN 50167, 1994
1	2.1	81	64	78.9	59.9
4	4.3	70	53	65.7	48.7
10	6.6	65	47	58.4	40.4
16	8.2	60	44	51.8	35.8
20	9.2	55	42	45.8	32.8
31-25	11.8	51	40	39.2	28.2
62-5	17.1	45	35	27.9	17.9
100	22.0	40	32	18.0	10.0

Quadro 161 - Acoplamento Capacitivo

	Típico	Requisito EN 50167, 1994.
Acoplamento capacitivo par / par a 1 Khz	≤ 5 pF / 100m	≤ 160 pF / 100m
Acoplamento capacitivo par / terra a 1 Khz	≤ 50 pF / 100m	Não definido.

Temperatura de Operação:
-30 a + 70ºC.

Rigidez Dieléctrica:
Fio / fio ≥ 1500 V dc, 1 minuto.

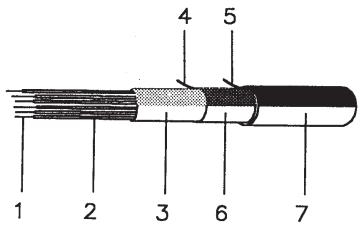
Impedância de Transferência:
Não aplicável.

Especificação de Construção:
EN 50167
EIA / TIA 568A TSB 36
ISO / IEC 11801
EN 50173

Diâmetro Exterior:
5.5mm.

Peso:
30 kg / km.

Figura 91 - **FTP 4PR24AWG - Cat. 5 - 100 Ω**



1 - Condutor cobre macio
2 - Isolamento de PE
3 - Cintagem em poliester
4 - Fio de continuidade
5 - Fio de rasgar
6 - Fita de blindagem de alumínio/poliester
7 - Bainha de PVC

Utilização:

Aplica-se em cablagens estruturadas blindadas para instalação horizontal e suporta os requisitos das seguintes normas de meios de comunicação:

— Fast Ethernet
— IEEE 802.3, 10 Bse T
— IEEE 802.5
— ISDN, FDDI, ATM, CDDI
— Cablagem Classe D ISO/IEC 11801; EIA/TIA 568A TSB 36; EN 501173

Devido à blindagem de baixa impedância de transferência, este cabo tem excelentes características de imunidade ao ruído em ambientes industriais.

Construção:

Diâmetro dos condutores:	24AWG (0,51 mm)
Isolamento:	PE (HD 624.3 e HD 624.5)
Número de pares:	Em geral 4

Cableagem:

4 pares simétricos torcidos entre si.

Código de Cores:

— Par 1 ⟶ Branco/Azul
— Par 2 ⟶ Branco/Laranja
— Par 3 ⟶ Branco/Verde
— Par 4 ⟶ Branco/Castanho

Cintagem:

Fita poliester ou polipropileno.

Blindagem:

Fita de alumínio revestida com polímero. Fio de cobre estanhado 0,5 mm Ø aplicado sob a fita alumínio directamente em contacto com esta.

Bainha Exterior:

A bainha exterior é em PVC em cor cinzenta claro conforme o RAL 7001.

Fio de Rasgamento:

Sob a bainha exterior existe um fio de rasgar com força de rotura mínima de 160 N.

Força de Traccionamento:

A força de traccionamento do cabo deverá ser inferior a 80 N.

Características de Transmissão:

Parâmetros Primários

Resistência de lacete dc, a 20ºC:	≤ 191Ω/km
Desequilíbrio de resistência:	≤ 2%
Capacidade mútua 1 kHz típico:	52 nF/km
Resistência de isolamento:	≥ 10000 M Ω . km

Parâmetros Secundários

Impedância característica a f ≥ 1 MHz: 100 ± 15 Ω

Velocidade de propagação típico: 186 m/ μs NVP 62%

Quadro 162 - Paradiafonia (NEXT) **e Atenuação** (ATT)

Frequência Mhz	Atenuação dB/100m máximo segundo EN 50167, 1994	NEXT (dB)		ACR dB/100m	
		Valor Nominal dB	Requisito (dB) categoria 5 segundo EN 50167, 1994	Valor Nominal	Requisito EN 50167, 1994
1	2.1	81	64	78.9	59.9
4	4.3	70	53	65.7	48.7
10	6.6	65	47	58.4	40.4
16	8.2	60	44	51.8	35.8
20	9.2	55	42	45.8	32.8
31.25	11.8	51	40	39.2	28.2
62.5	17.1	45	35	27.9	17.9
100	22.0	40	32	18.0	10.0

Quadro 163 - Acoplamento Capacitivo

	Tipico	Requisito EN 50167, 1994.
Acoplamento capacitivo par / par a 1 Khz	≤ 5 pF / 100m	≤ 160 pF / 100m
Acoplamento capacitivo par / terra a 1 Khz	≤ 50 pF / 100m	Não definido.

Temperatura de Operação:

- 30 a + 70ºC.

Rigidez Dieléctrica:

Fio / fio ≥ 1500 V dc, 1 minuto.

Fio / blindagem ≥ 3000 V dc, 1 minuto.

Impedância de Transferência:

Zt (a 10 MHz) ≤ 10 mΩ / m (EN 50167, 50168, 50169).

Especificação de Construção:

EN 50167.

EIA / TIA 568 TSB 36.

ISO / IEC 11801.

EN 50173

As características de transmissão e eléctricas são medidas de acordo com HD 608 e IEC 189.

Peso:

O peso aproximado é 46 kg/km.

6.2 - Cabos de Fibra Óptica

6.2.1 - Sistema de Designação de Cabos de Telecomunicações em Fibra Óptica

A designação Nacional para os cabos de Fibra Óptica, baseia-se em dois campos, que a seguir se descrevem:

TO a b c d e	f g	h	ijlm n o p

Campo 1 Campo 2

TO – Cabo de telecomunicações em fibra óptica
Campo 1 – Caracteriza o tipo construtivo do cabo
Campo 2 – Caracteriza a constituição do cabo

Quadro 164 - Tipo construtivo do cabo (Descrição do campo 1)

Identificação	Designação	Símbolo
a - Elemento central	Metálico	M
	Não metálico (dieléctrico)	N
	Cordão óptico	C
b - Enchimento	Geleia de petróleo (ou equivalente)	G
c - Blindagem	Fita de alumínio/polietileno	1H
d - Bainha interior	Polietileno	E
	Policloreto de vinilo	V
e - Reforço mecânico	Elementos não metálicos	Z
f - Reforço mecânico adicional	Armadura de fitas de aço	A
	Armadura de fita de aço corrugada	2A
	Protecção anti-balística	2Z
g - Bainha exterior	Polietileno	E
	Policloreto de vinilo	V
h - Indicações diversas	Cabos auto-suportados com tensor metálico	S
	Cabos auto-suportados com tensor dieléctrico	1S

Quadro 165 - Constituição do cabo (Descrição do campo 2)

Identificação	Designação	Símbolo
i - Tipo de revestimento secundário	"Loose" "Tight"	L T
j - Nº de fibras ou nº de tubos x nº de fibras/tubo	Exemplo: 6 fibras Exemplo: 48 fibras	6 4 x 12
l - Tipo de fibra	Multimodo Unimodo (monomodo)	M U
m - Atenuação máxima	0,40 dB/Km 0,25 dB/Km	4 2
n - Comprimento de onda (janela de trabalho)	Primeira (850 ηm) Segunda (1310 ηm) Terceira (1550 ηm) Primeira e Segunda (850 ηm/1310 ηm) Segunda e Terceira (1310 ηm/1550 ηm)	P S T PS ST
o - Largura de banda mínima	Exemplo: 300 MHz.Km Exemplo: 1200 MHz.Km	3 12
p - Nº e tipo dos elementos adicionais a incluir no cabo **(*)**	Exemplo: 2 condutores de cobre X 0,6 mm Exemplo: 3 elementos cegos (indicação facultativa)	2C 3E
(*) Esta indicação é separada da anterior pelo sinal +.		

Quadro 166 - Características das Fibras Ópticas

PARÂMETRO	VALOR
Atenuação	@ 1310nm: 0.430 dB / km @ 1550nm: 0.280 dB / km
Dispersão	1271 - 1360nm: $\leq 3.5 ps.nm^{-1}.km^{-1}$ 1550nm: $\leq 18 ps.nm^{-1}.km^{-1}$
Diâmetro do campo modal @ 1310nm @ 1550nm	 9.3 ± 0.5μm 10.5 ± 1μm
Comprimento de onda de corte em cabo terminado	1150nm a 1270nm
Diâmetro da bainha	125 ± 1μm
Desvio de circularidade da bainha	≤ 2%
Desvio de concentricidade	≤ 1μm
Desvio de circularidade do campo modal	≤ 6%
Desvio de circularidade do revestimento primário	≤ 2%
Diâmetro do revestimento primário	245 ± 10μm
Desvio de concentricidade do revestimento primário	≤ 12.5μm
Tipo de Vidro	Sílica de alto grau sem fósforo
Prova de elongação	0.5% (mínimo 5N durante 1 segundo)
Ciclos térmicos	A Atenuação não deve variar em mais de 0.05dB a 1550nm
Ensaio de tracção sobre cabo terminado	A Atenuação deve ser inferior a 0.05dB/1550nm com aplicação das seguintes forças: • Cabo condutor: 2000N • Cabo aéreo: 5000N

6.2.2 - Construção de Cabos de Fibra Óptica

1 - Cores para Identificação de Fibras

As fibras são identificáveis pela coloração do seu revestimento primário, cujo código de cores se encontra no Quadro 167, devendo as cores indicadas corresponder às cores padrão definidas na norma ICE 304.

Quadro 167 - Identificação das Fibras

ÍNDICE	COLORAÇÃO	ABREVIATURA
1	Branco (natural)	BR
2	Vermelho	VM
3	Verde	VD
4	Azul	AZ
5	Preto	PT
6	Amarelo	AM
7	Laranja	LR
8	Cinzento	CZ
9	Castanho	CT
10	Violeta	VT
11	Rosa	RS
12	Turquesa	TQ

2 - Cores para Identificação de Tubos

A coloração dos tubos, dos condutores de cobre e dos elementos cegos, correspondem ao seguinte esquema:

Tubos — Piloto → Vermelho
— Intermédio → Natural
— Referência → Verde
Condutores de Cobre → Branco
→ Laranja
Elementos cegos → Amarelo

A referência a fibras individuais é efectuada na seguinte forma:

N/XX

N - Nº de Referências do tubo.

XX - Abreviatura da coloração de acordo com a NP (pr) 3397.

3 - Configuração dos Cabos de Fibra Óptica

A constituição do cabo relativamente a número de tubos, elementos cegos e distribuição das fibras está indicada no Quadro 168.

Quadro 168 - Configuração dos Cabos de Fibra Óptica

CABOS COM 8 ELEMENTOS			
Número de fibras no cabo	Tubos	Fibras por tubo	Cegos
4	4	1	4
6	6	1	2
8	4	2	4
12	6	2	2
16	4	4	4
20	5	4	3
24	6	4	2

CABOS COM 10 ELEMENTOS			
Número de fibras no cabo	Tubos	Fibras por tubo	Cegos
28	7	4	3
32	8	4	2
40	10	4	0
48	8	6	2
60	10	6	0
72	6	12	4
84	7	12	3
96	8	12	2
120	10	12	0

Nos Cabos até 32 fibras, caso seja requerido, podem ser inseridos 2 (dois) condutores de cobre que ocupam o lugar de elementos cegos.

4 - Características Dimensionais e Ponderais dos Cabos de Fibra Óptica

Cabo para Conduta

Quadro 169 - Pesos e Dimensões dos Cabos para Conduta

COM REFORÇO METÁLICO				
	8 elementos		10 elementos	
	4 - 12 fibras	16 - 24 fibras	28 - 60 fibras	72-120 fibras
Diâmetro exterior máximo (mm)	13	16	18	21
Peso máximo (kg/km)	180	250	300	380

COM REFORÇO NÃO METÁLICO				
	8 elementos		10 elementos	
	4 - 12 fibras	16 - 24 fibras	28 - 60 fibras	72-120 fibras
Diâmetro exterior máximo (mm)	13	16	18	21
Peso máximo (kg/km)	160	220	280	360

Cabo Auto-Suportado

Quadro 170 - Pesos e Dimensões dos Cabos Auto-Suportados

COM REFORÇO METÁLICO			
	8 elementos		10 elementos
	4 - 12 fibras	16 - 24 fibras	28 - 40 fibras
Diâmetro exterior máximo (mm)	24	26	28
Peso máximo (kg/km)	250	320	340

COM REFORÇO NÃO METÁLICO			
	8 elementos		10 elementos
	4 - 12 fibras	16 - 24 fibras	28 - 40 fibras
Diâmetro exterior máximo (mm)	24	28	30
Peso máximo (kg/km)	230	290	320

Quadro 171 - Exemplo de Construção de Cabo Óptico de 4 Fibras Subterrâneo Armado

Características	Valor
Material do tensor	metálico não zincado
diâmetro do tensor	2.05mm
Material de bainha do tensor	Polietileno preto
fibras por tubo	1
cor da fibra	natural
número de tubos	4
diâmetro dos tubos	2.0 ± 0.2mm
identificação dos tubos	vermelho, natural, natural, verde
Número de tubos cegos	4
cor dos tubos cegos	amarelo
Construção do cabo (tubos)	vermelho, natural, natural, verde e 4 cegos
Geleia dentro e entre tubos	ponto de gota mínimo 70ºC
Cintagem	fita de Poliéster, sobreposição ≥ 5mm
Fio de rasgar	força de rotura > 150N
Blindagem longitudinal	fita de Alumínio com duplo copolimero tipo PE/AL/PE com espessura PE 50μm e AL 150μm
Bainha interior	Polietileno preto
Armadura	fita de aço corrugada aplicada longitudinalmente. Sobreposição > 5mm
Bainha exterior	polietileno preto. Densidade ≥ 0.935 g/cm³
Espessura da bainha exterior	1.8 ± 0.2mm
Gravação na bainha	"Fabricante - Ano - Cliente - TOMG1HE2AEL4U4ST - Metros"

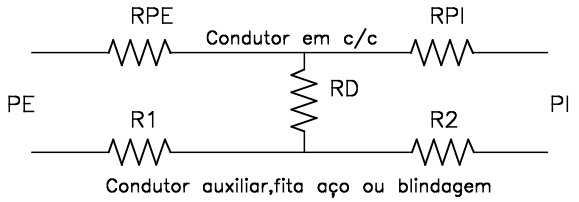
6.3 - Método de Ponte de alta impedância a 4 fios.

Por este método poderá localizarem-se curto-circuitos em condutores de cabos de energia ou telefónicos.

Equipamento necessário:
Ponte digital de medida de resistência óhmica a 4 fios ou qualquer Multímetro que permita medições de resistência a 4 fios.

Considerações:
Os condutores ou fios em curto-circuito devem apresentar impedância de defeito tão baixa quanto possível podendo no entanto chegar a algumas centenas de K.Ohm sem provocarem um erro de medida significativo. Podem ser localizados condutores em curto-circuito e partidos simultaneamente embora apenas seja possível determinar a distância ao curto-circuito.

A seguir apresenta-se o esquema de princípio para este tipo de defeito.



PE - Ponta exterior do cabo.
PI - Ponta interior do cabo.
RPE - Resistência do condutor defeituoso entre a PE e o ponto de defeito.
RPI - Resistência do condutor defeituoso entre a PI e o ponto de defeito.
RD - Resistência de contacto do defeito a tensão reduzida (< 50 mv).
RC - Resistência total do condutor defeituoso.

Como o microohmimetro é de alta impedancia de entrada, permite-nos utilizar a resistência de contacto RD para ligação ao condutor defeituoso no ponto de c/c, uma vez que a queda de tensão em RD é muito menor que a queda de tensão quer em RPE quer em RPI. Ou seja:

$$\triangle VRD \ll \triangle VRPE$$

$$\triangle VRD \ll \triangle VRPI$$

As leituras a efectuar são as seguintes:

1 - Leitura RPE.
2 - Leitura RPI.
3 - Leitura RC.

Procedimento geral:

As ligações que permitem as leituras 1, 2 e 3 serão feitas como se indica a seguir:

1 - Ligar as garras de corrente ás extremidades do condutor defeituoso.
2 - Ligar as garras de tensão na ponta exterior do condutor auxiliar e no condutor defeituoso.
3 - Fazer a medida da resistência, estas ligações permitem a leitura de RPE.
4 - Manter as ligações das garras de corrente. Passar a garra de tensão do condutor em c/c da PE para PI.
5 - Fazer a medida da resistência.
Estas ligações permitem a leitura de RPI.
6 - Ler a resistência ohmica do condutor em c/c pelo método dos 4 fios.
Para tal ligar duas garras, uma de tensão e outra de corrente, em ambas as extremidades do condutor em c/c.

Cálculos:

Com base nos valores de RPE, RPI e RC podemos calcular a distancia do ponto de defeito Lx da seguinte forma;

$$Lx = L \frac{RPE}{RC}$$

sendo L em (m), **RPE** e **RC** em (ohm).

A localização deverá ser testada pela seguinte relação:

$$RC = RPE + RPI$$

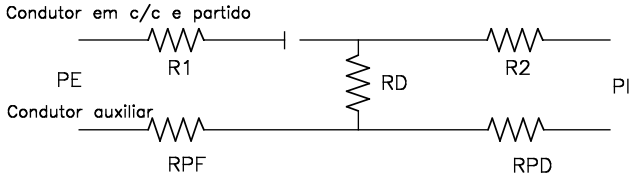
O erro do método, excluindo o erro inerente ao comprimento L é:

$$e = \left(\frac{RPE + RPI}{RC} - 1 \right) x\ 100$$

É importante ter em conta que a blindagem ou fitas de aço não devem ser usadas como condutor principal por apresentarem por vezes resistências não uniformemente distribuídas.

Localização de curto-circuito com condutor partido

Ligações:
Para o caso de um condutor em c/c e partido o esquema de princípio para ligações é o seguinte:

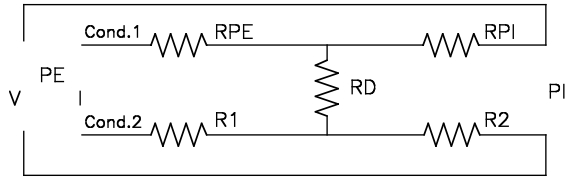


Procedimento operativo.

Usar o procedimento anterior mas trocando o condutor defeituoso pelo auxiliar. Desta forma o condutor defeituoso funciona como divisor resistivo sendo o transdutor de comprimento o condutor designado como auxiliar.
Os cálculos para obtenção do valor de Lx e do erro são os mesmos.

Medição da resistência de contacto.

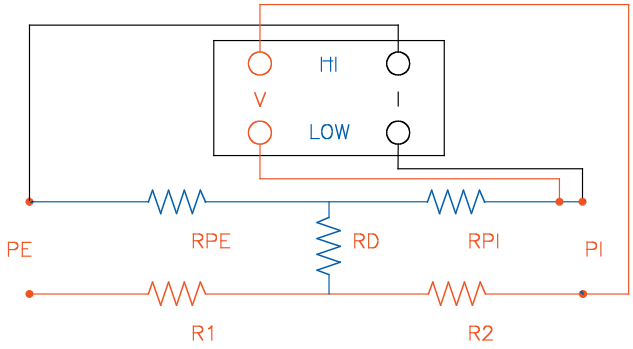
Para medir directamente a resistência de contacto por exemplo de c/c entre dois condutores, ligar a ponte conforme se indica no esquema seguinte:



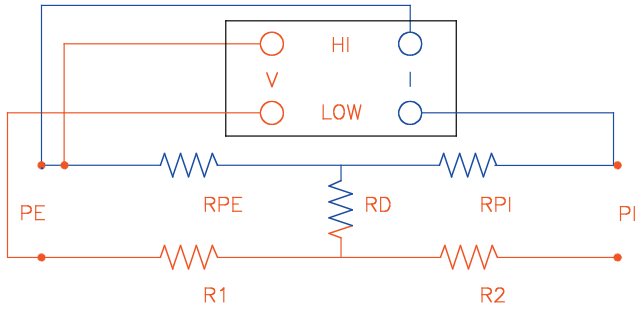
Em que **RD** é:

RD = Resistência de defeito ou contacto entre dois elementos condutores.

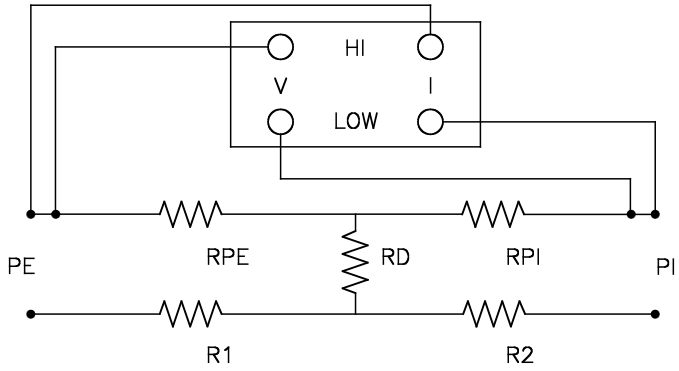
Esquema de ligações para medir RPI.



Esquema de ligações para medir RPE.

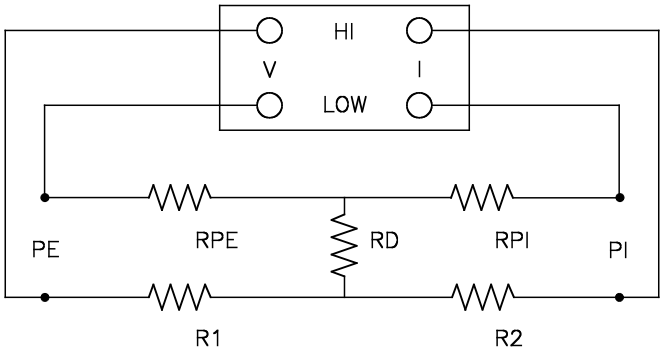


Esquema de ligações para medir RPE + RPI.



Nota: As duas garras de tensão (V) ficam ligadas sempre por entre as garras de corrente (I), em qualquer medição de RPE, RPI e RPE + RPI.

Esquema de ligações para medir resistência de defeito RD.

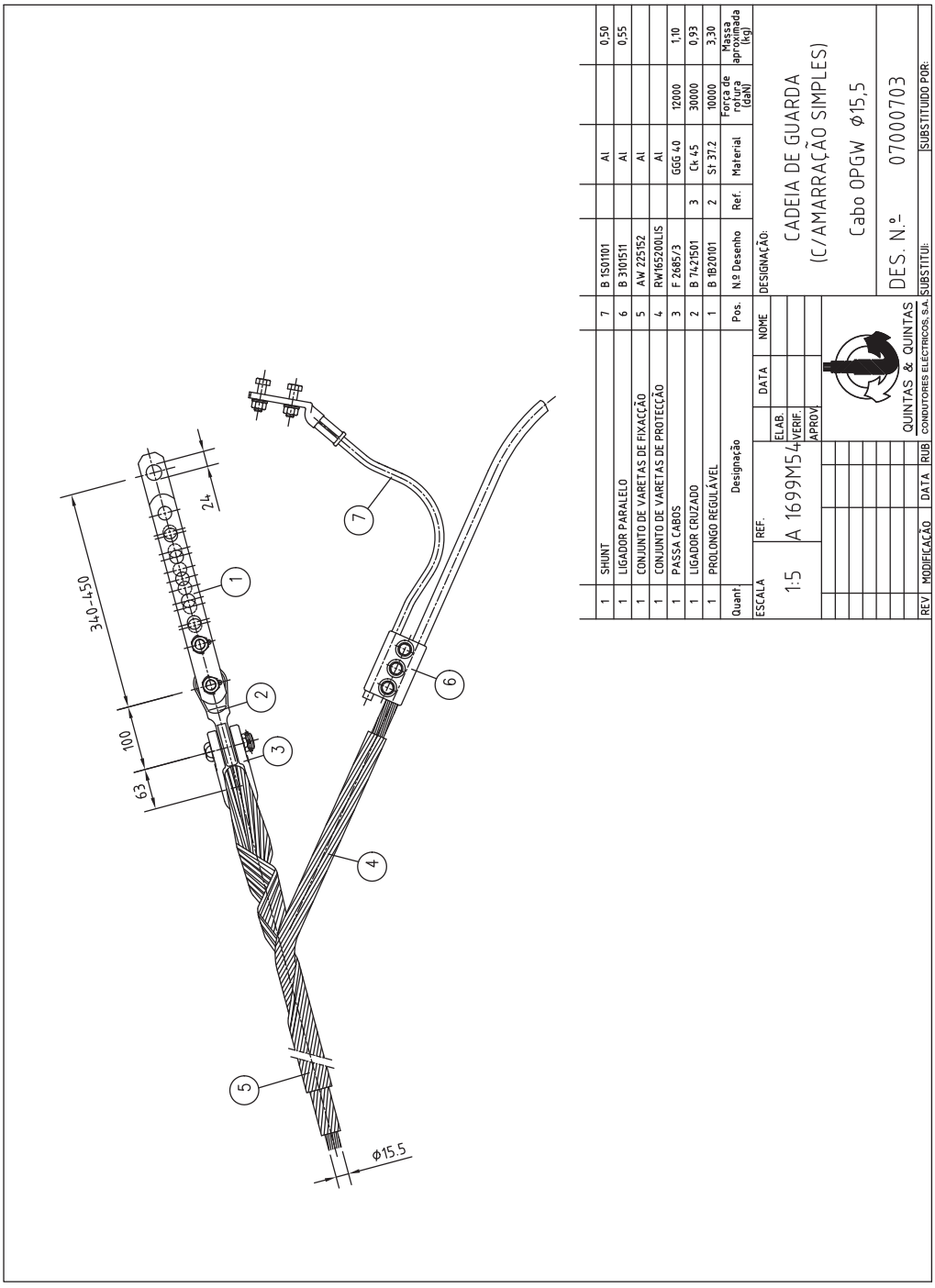


Nota: As duas garras de tensão (V) ficam ligadas sempre por entre as garras de corrente (I), excepto na medição de RD (Resistência de defeito).

Acessórios Eléctricos

Capítulo VII

7.1 - Acessorios para Cabos com Fibra Optica (OPGW)



	Quant.	Designação	Pos.	Nº Desenho	Ref.	Material	Força de rotura (daN)	Massa aproximada (kg)
	1	SHUNT	7	B 1501101		Al		0,50
	1	LIGADOR PARALELO	6	B 3101511		Al		0,55
	1	CONJUNTO DE VARETAS DE FIXACÇÃO	5	AW 225152		Al		
	1	CONJUNTO DE VARETAS DE PROTECÇÃO	4	RW165200LIS		Al		
	1	PASSA CABOS	3	F 2685/3		GGG 40	12000	1,10
	1	LIGADOR CRUZADO	2	B 7421501	3	Ck 45	30000	0,93
	1	PROLONGO REGULÁVEL	1	B 1B20101	2	St 37.2	10000	3,30

ESCALA	REF.		DATA	NOME
1:5	A 1699M54	ELAB.		
		VERIF.		
		APROV.		

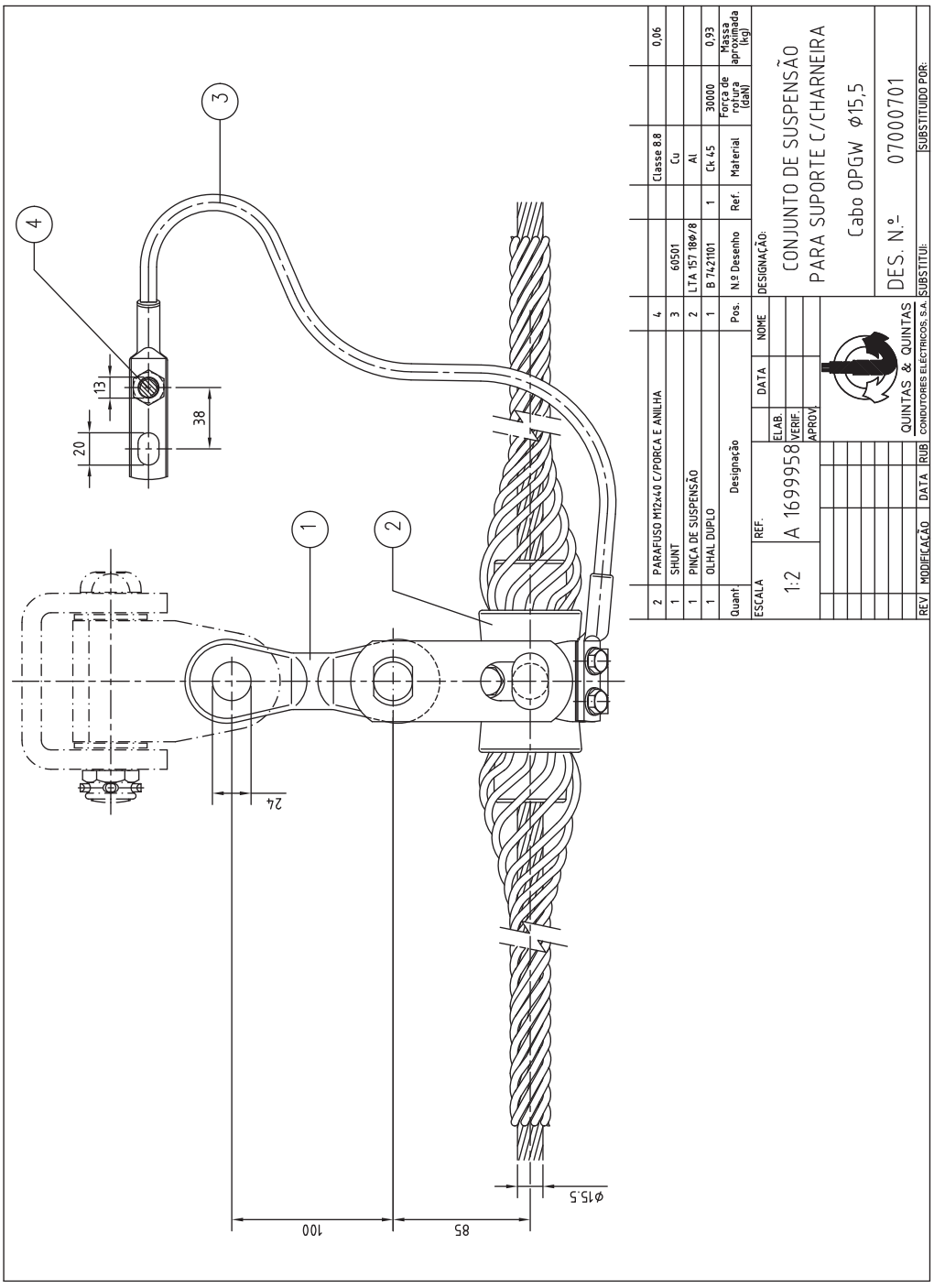
DESIGNAÇÃO:
CADEIA DE GUARDA
(C/AMARRAÇÃO SIMPLES)
Cabo OPGW ϕ15,5

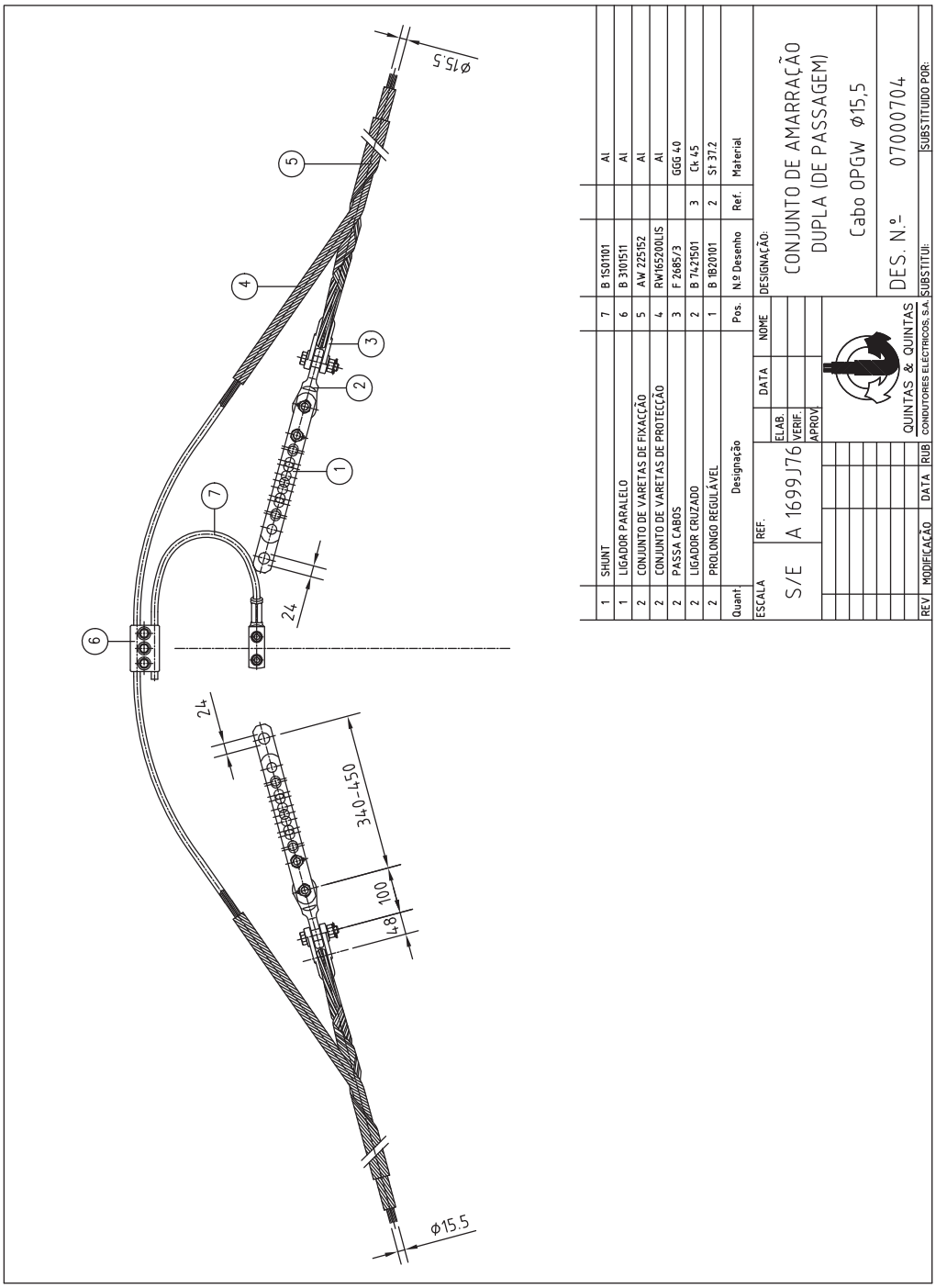
QUINTAS & QUINTAS
CONDUTORES ELÉCTRICOS, S.A.

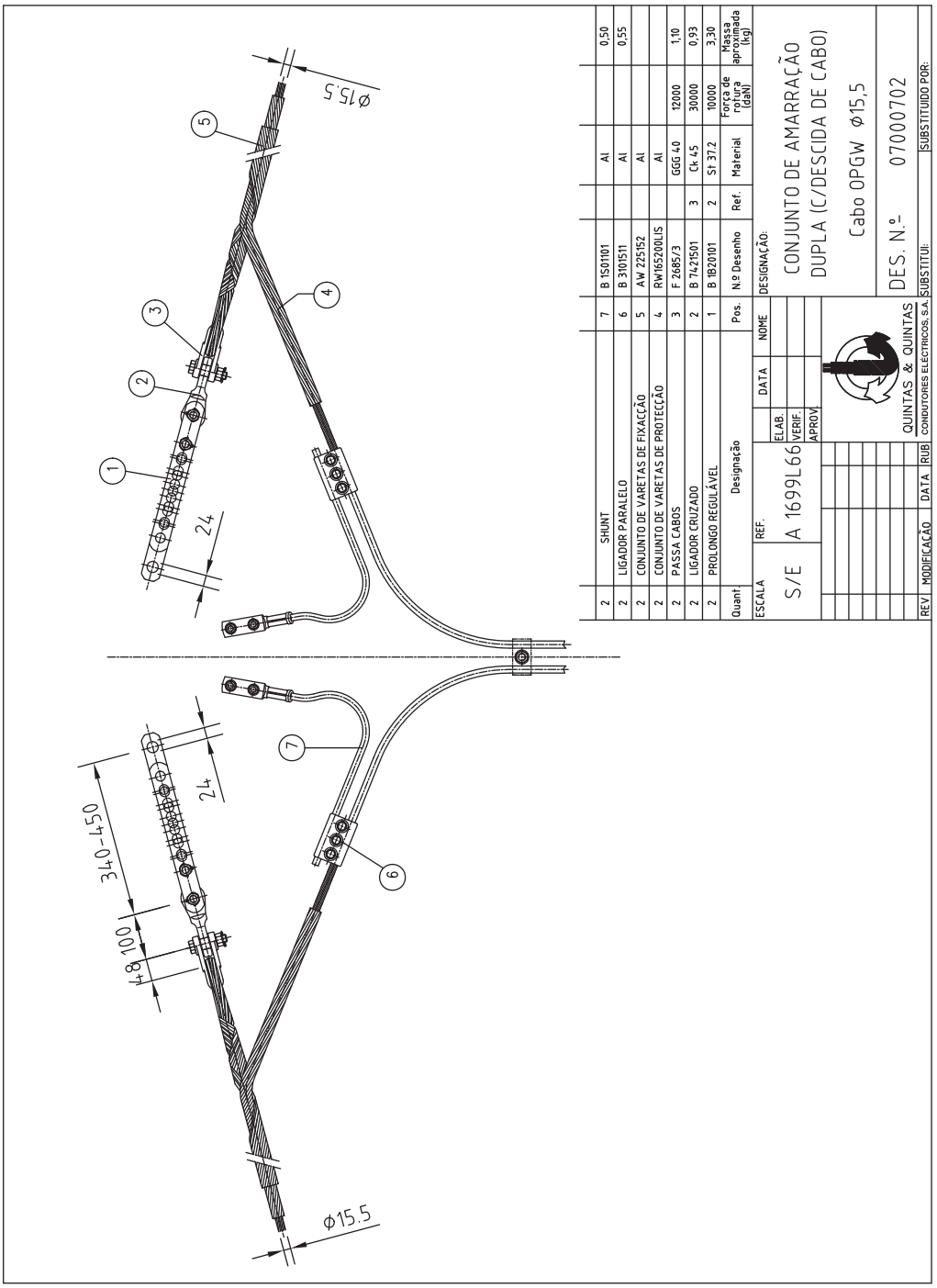
DES. N.º 07000703

SUBSTITUI:
SUBSTITUÍDO POR:

REV	MODIFICAÇÃO	DATA	RUB


3
4
1
2
13
38
20
24
100
85
Ø15.5
2 PARAFUSO M12x40 C/PORCA E ANILHA 4 Classe 8.8 0,06
1 SHUNT 3 60501 Cu
1 PINÇA DE SUSPENSÃO 2 LTA 157 180/8 Al
1 OLHAL DUPLO 1 B 7421101 1 Ck 45 30000 0,93
Quant. Designação Pos. N.º Desenho Ref. Material Força de rotura (daN) Massa aproximada (kg)
ESCALA 1:2
REF: A 1699958
ELAB.
VERIF.
APROV.
DATA
NOME
DESIGNAÇÃO:
CONJUNTO DE SUSPENSÃO
PARA SUPORTE C/CHARNEIRA
Cabo OPGW ø15,5
DES. N.º 07000701
QUINTAS & QUINTAS
CONDUTORES ELÉCTRICOS, S.A.
SUBSTITUI:
SUBSTITUÍDO POR:
REV. MODIFICAÇÃO DATA RUB.


Ø15,5
24
340-450
100
48
24
Ø15,5
1 SHUNT 7 B 1S01101 Al
1 LIGADOR PARALELO 6 B 3101511 Al
2 CONJUNTO DE VARETAS DE FIXACÇÃO 5 AW 225152 Al
2 CONJUNTO DE VARETAS DE PROTECÇÃO 4 RW165200US Al
2 PASSA CABOS 3 F 2685/3 GGG 40
2 LIGADOR CRUZADO 2 B 7421501 3 Ck 45
2 PROLONGO REGULÁVEL 1 B 1B20101 2 St 37.2
Quant. Designação Pos. Nº Desenho Ref. Material
ESCALA REF. DATA NOME
S/E A 1699J76 ELAB.
VERIF.
APROV.
DESIGNAÇÃO:
CONJUNTO DE AMARRAÇÃO
DUPLA (DE PASSAGEM)
Cabo OPGW ø15,5
DES. Nº 07000704
QUINTAS & QUINTAS
CONDUTORES ELÉCTRICOS, S.A.
REV. MODIFICAÇÃO DATA RUB.
SUBSTITUI:
SUBSTITUÍDO POR:



2	SHUNT	7	B 1SD1101		Al		0,50
2	LIGADOR PARALELO	6	B 3101511		Al		0,55
2	CONJUNTO DE VARETAS DE FIXACÇÃO	5	AW 225152		Al		
2	CONJUNTO DE VARETAS DE PROTECÇÃO	4	RW165200LIS		Al		
2	PASSA CABOS	3	F 2685/3		GGG 40	12000	1,10
2	LIGADOR CRUZADO	2	B 7421501	3	Ck 45	30000	0,93
2	PROLONGO REGULÁVEL	1	B 1B20101	2	St 37.2	10000	3,30
Quant.	Designação	Pos.	Nº Desenho	Ref.	Material	Força de rotura (daN)	Massa aproximada (kg)

ESCALA — REF.: S/E A 1699L66 — DATA — NOME

ELAB. / VERIF. / APROV.

DESIGNAÇÃO: CONJUNTO DE AMARRAÇÃO DUPLA (C/DESCIDA DE CABO)

Cabo OPGW ø15,5

DES. Nº 07000702

QUINTAS & QUINTAS

CONDUTORES ELÉCTRICOS, S.A.

REV.	MODIFICAÇÃO	DATA	RUB.

SUBSTITUI:

SUBSTITUÍDO POR:

7.2 - Acessórios para cabos secos de alta tensão

A génese dos acessórios aplicados em cabos de alta tensão consiste em assegurar a transmissão de corrente eléctrica sem prejuízo do desempenho, fiabilidade e segurança da ligação.

Actuando em zonas de ruptura da simetria do campo eléctrico, a sua concepção e execução deverá garantir a reconstituição desta mesma simetria. A Figura 92 descreve a ruptura da simetria do campo eléctrico numa extensão de cabo desprovida de semicondutor exterior.

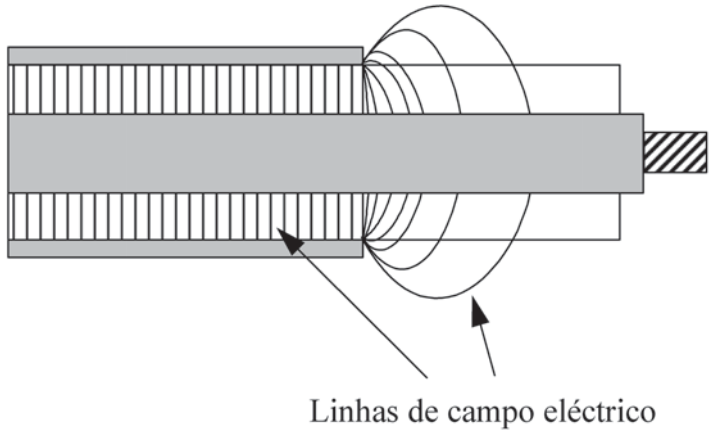


Figura 92
Linhas do campo eléctrico numa zona desprovida de semicondutor exterior.

O controle das linhas de campo eléctrico é estabelecido por via de dispositivos que permitem suavizar a concentração das mesmas nas zonas onde se regista a ruptura da sua simetria. Para a terminação de cabos de alta tensão o controle das linhas de campo eléctrico é frequentemente realizado por dispositivos baseados num princípio geométrico. Um apêndice em material semicondutor permite prolongar e alargar o semicondutor interior na zona de cabo desprovida deste elemento. Este apêndice em forma de cone é inserido num bloco de material isolante e elástico, e a este conjunto designamos bloco deflector de campo. A Figura 93 representa um corte longitudinal deste tipo de dispositivos.

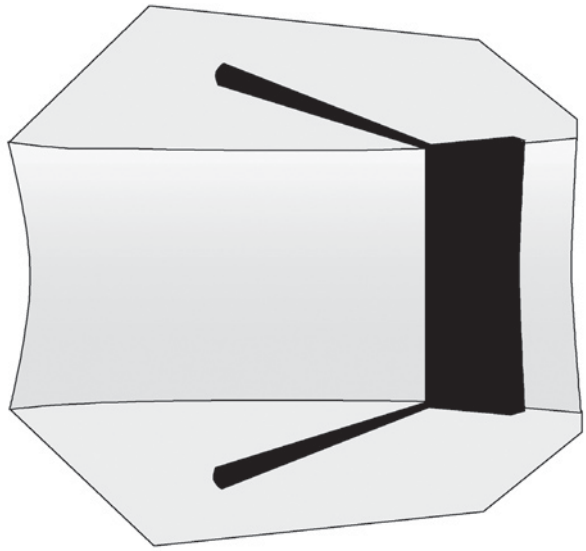


Figura 93 - Bloco deflector de campo.

A tecnologia de blocos deflectores pré-fabricados é hoje uma solução muito comum em extremidades de cabos secos de alta tensão.

7.2.1 - Extremidades

O conjunto dos vários tipos de extremidades disponíveis no mercado é vasto, e como tal iremo-nos concentrar apenas em alguns exemplos.

7.2.1.1 - Extremidades cerâmicas

Um bloco deflector é introduzido sobre a interface entre o semicondutor exterior e a extensão de cabo desprovida deste elemento. De forma a evitar descargas eléctricas na sua superfície, o bloco é envolvido com isolador exterior em cerâmica cheio com óleo ou silicone líquida. A Figura 94 mostra um desenho genérico deste tipo de extremidades

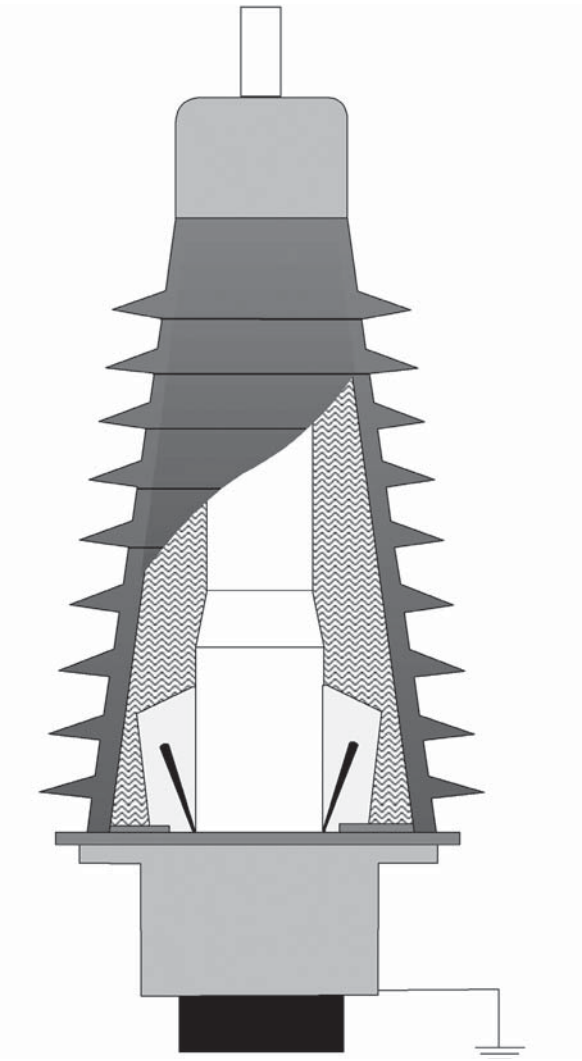


Figura 94 - Extremidade exterior cerâmica

7.2.1.2 - Extremidades compósitas

O conceito deste tipo de extremidades assenta no mesmo princípio das cerâmicas, mas o isolador exterior é agora de material sintético. Esta opção permite obter extremidades significativamente mais leves do que as suas homologas cerâmicas (uma redução de cerca de 1/3 no peso). Esta característica torna a sua aplicação mais simples e segura, já que o material compósito não quebra em resultado de impactos fortuitos. A Figura 95 mostra um desenho tipo deste tipo de extremidades.

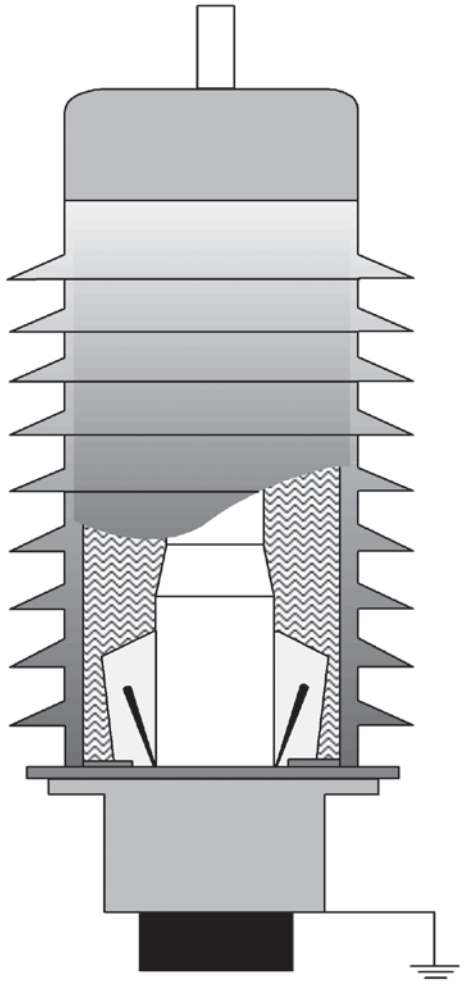


Figura 95 - Extremidade exterior compósita.

7.2.1.3 - Extremidades pré-fabricadas

Todos os componentes são pré-fabricados e integrados a frio na execução da extremidade. O conceito é simples permitindo uma execução rápida e uma instalação em qualquer posição (ângulo). O elemento de controle de campo é fabricado em material isolante sintético no qual é inserido um cone deflector em material semicondutor. A Figura 96 apresenta um exemplo genérico de uma destas extremidades.

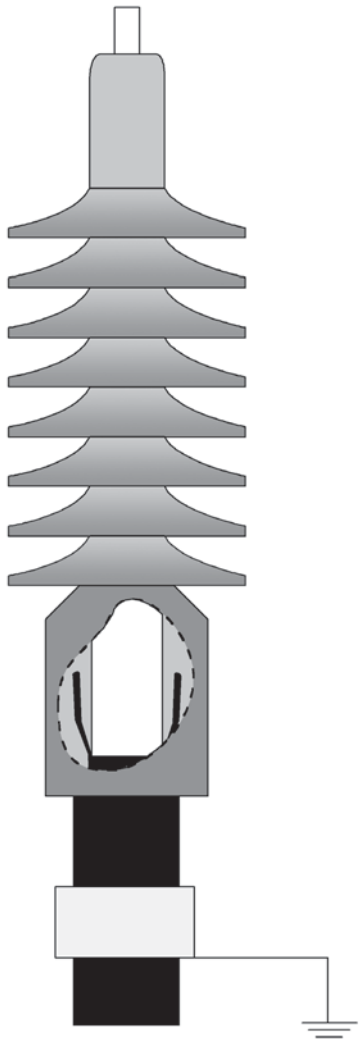


Figura 96 - Extremidade exterior pré-fabricada

7.2.2 - Junções

Tal como para as extremidades, a oferta de soluções técnicas para a junção de cabos eléctricos secos de alta tensão é vasta. Neste capítulo iremos abordar algumas destas soluções.

O objectivo das junções consiste em estabelecer a continuidade eléctrica ao nível do condutor entre dois troços de cabo. No que diz respeito à blindagem, a junção pode garantir a continuidade eléctrica da mesma ou a sua interrupção – para esquemas de ligação à terra em "cross-bonding", ou "single-point".

Em todo o caso a junção deverá garantir o desempenho e fiabilidade da ligação.

7.2.2.1 - Junções enfitadas

A reconstituição do isolamento e dos mecanismos de controle do campo eléctrico, é assegurada pela aplicação de fitas elásticas. Para além das necessárias características eléctricas, estas fitas deverão possuir suficiente elasticidade de forma a acompanhar a deformação do cabo resultante do seu regime de carga.

Como exemplo, apresentamos na Figura 97 uma junção enfitada com continuidade da blindagem.

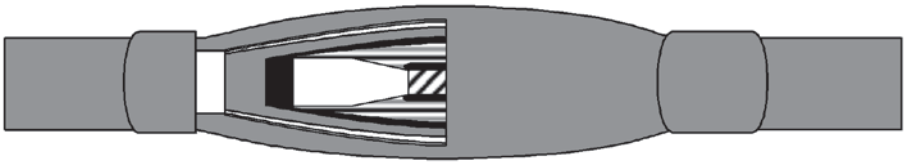


Figura 97 - Junção enfitada sem ligação à terra

7.2.2.2 - Junções pré-fabricadas

Ao contrário das enfitadas, as junções pré-fabricadas exigem componentes específicos em função das dimensões e características dos cabos eléctricos. Todos os elementos de reconstituição do isolamento e de controle de campo são pré-fabricados de acordo com as características do cabo. Os materiais utilizados nestes componentes deverão possuir as desejadas características eléctricas e um comportamento elástico que garanta a sua absoluta aderência ao cabo apesar das flutuações térmicas impostas pelo regime de carga.

O esquema da Figura 98 demonstra o conceito da execução de junções pré-fabricadas.

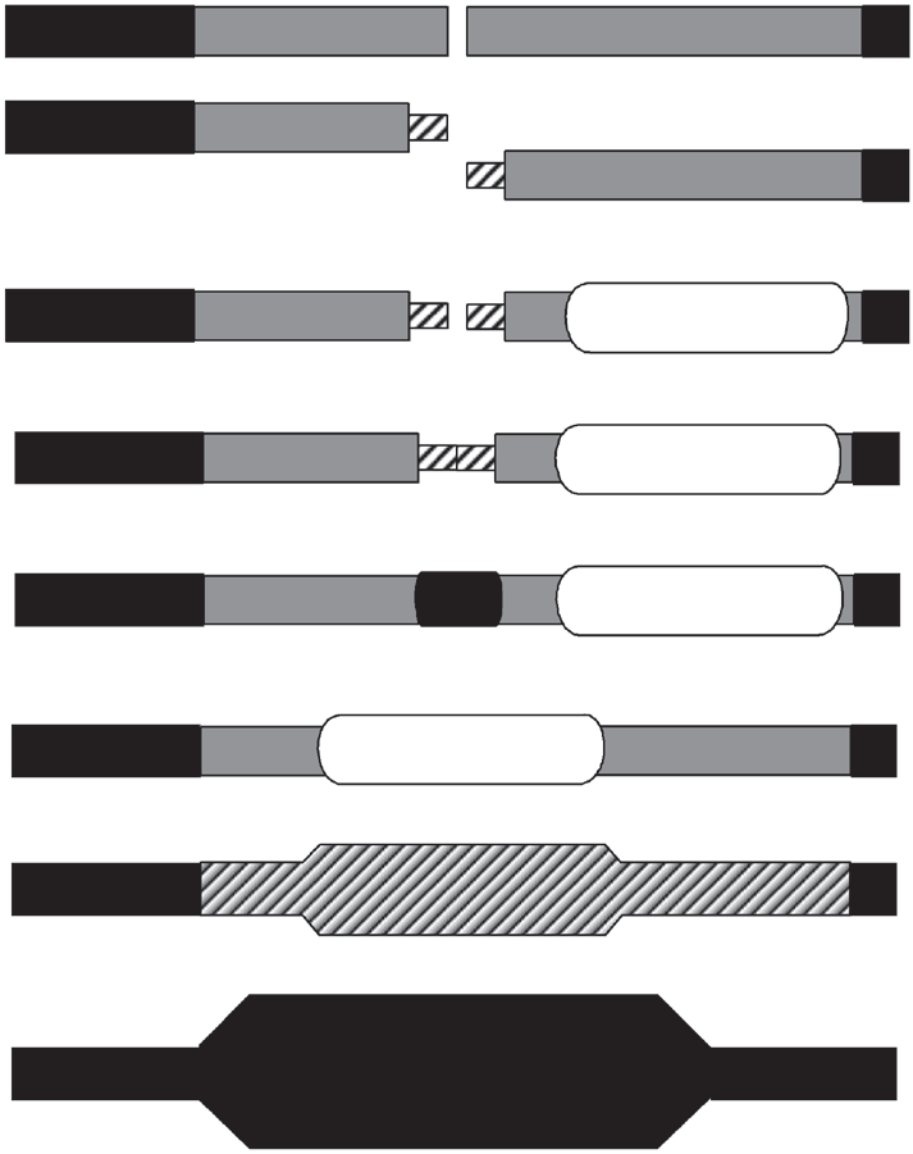


Figura 98 - Execução de uma junção pré-fabricada sem ligação à terra

7.2.2.3 - Junções termo-retrácteis

A reconstituição do isolamento e dos elementos de controle de campo eléctrico é efectuada com mangas termo-retrácteis. A aplicação de calor reduz o diâmetro das mangas para um valor específico, garantindo uma perfeita adesão e uniformidade dos elementos em questão.

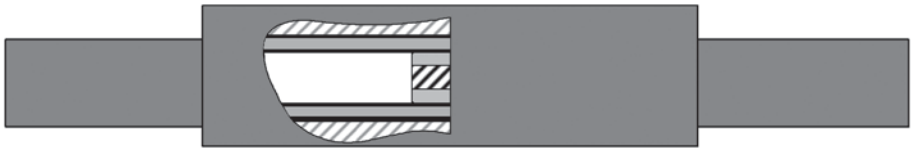


Figura 99 - Junção termo-retráctil sem ligação à terra

As características elásticas destes elementos permitem acompanhar as deformações resultantes dos ciclos térmicos associados ao regime de carga da ligação.

Regras de Uso

Capítulo VIII

8 - Preâmbulo

Estas Regras de Uso salientam algumas recomendações para o armazenam ento, transporte e instalação dos cabos nús e dos cabos isolados a dieléctrico sólido extrudido de média e alta tensão, tendo em vista optimizar o seu uso nas diferentes fases, evitando que lhes sejam provocados danos que possam por em causa o seu normal funcionamento.

Outras recomendações, normalmente associadas a exigências de segurança, nomeadamente o Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão, de instalação, características do projecto (acessórios, postes, etc.) e equipamentos de montagem não são consideradas nestas Regras de Uso.

8.1 - Recomendações Relativas à Embalagem, Identificação, Manuseamento, Armazenagem e Transporte dos Cabos

8.1.1 - Embalagem

Os cabos são fornecidos embalados em bobinas de madeira ou de ferro, sólidas, com características de boa construção e em bom estado de conservação, permitindo resistirem às operações normais de armazenagem, carga, manuseamento, transporte, descarga e utilização.

As bobinas, quando contendo cabo, levam uma protecção exterior feita, no caso dos cabos de alumínio-aço, por meio de ripas de madeira pregadas na periferia das suas abas, ou de esteiras de madeira prensada, caso dos cabos isolados. Consegue-se assim reforçar a embalagem e proteger o produto nela contido.

No fornecimento de cabos isolados as respectivas extremidades são protegidas com resina ou capacetes termo retrácteis adequados, que serão mantidos até à montagem.

Estas protecções devem permanecer em todas as fases, até à montagem dos respectivos acessórios.

8.1.2 - Identificação e rastreabilidade

Todas as bobinas, em qualquer fase, devem permanecer com as suas etiquetas e chapas de características de origem, permitindo conhecer, em qualquer instante, as referências da bobina e do cabo nela contido. Estas considerações aplicam-se também às bobinas parcialmente cheias, isto é, às quais lhes foram retirados troços de cabo. Nesta situação, aconselha-se manter um controlo das quantidades de cabo já utilizado.

Durante a instalação dos cabos deve ser realizado o registo da matrícula das bobinas com referência ao local e à linha (traçado, fase, postes, etc.) onde os cabos são instalados. Estes elementos associados aos documentos de aprovisionamento (Ordem de Compra. Guia de Remessa, Factura, etc.) permitem um rastreio eficaz do cabo no caso da existência de eventuais situações anómalas.

8.1.3 - Manuseamento

A bobina deve ser manobrada sempre com o seu eixo na posição horizontal. Não manipular ou armazenar a bobina na posição de deitada.

A elevação e a movimentação das bobinas deve fazer-se com cuidado, utilizando equipamentos específicos, tais como empilhador, guincho mecânico ou ponte rolante, qualquer deles com a capacidade suficiente e os acessórios adequados à função.

Quando são utilizados guinchos ou pontes rolantes há a necessidade de colocar no orifício central da bobina um varão ou tubo redondo resistente e um travessão superior, ambos com comprimentos adequados, ligeiramente superiores à largura da bobina. Os cabos de amarração, de capacidade adequada, devem ser montados de modo a não provocarem esforços sobre as abas. É incorrecta e inaceitável a queda brusca de bobinas no solo.

Quando estão em causa pequenas distâncias, é possível rolar manualmente a bobina no chão se este for suficientemente liso e sólido. Esta acção deve ser desenvolvida no sentido das setas pintadas nas abas, a que corresponde o sentido de enrolamento do cabo na bobina.

Na eventualidade de não se utilizar a totalidade do comprimento do cabo existente na bobina proceder do seguinte modo:

- No caso dos cabos de alumínio-aço, amarrar a ponta final do cabo com braçadeiras metálicas, antes do corte. As braçadeiras devem ser colocadas sobre fita, de preferência autocolante rigidamente aplicada sobre o cabo; após o corte, fixar a mesma ponta final, firmemente, à face interior da aba da bobina, de modo a evitar a existência de espiras soltas ou frouxas;
- Para os cabos isolados, aplicar imediatamente após o corte, um "capacete" termo retráctil para protecção da ponta final do cabo; fixar esta extremidade, firmemente, à face interior da aba da bobina;
- Referenciar, na face exterior da aba da bobina, o comprimento remanescente, por exemplo em etiqueta durável;
- Aplicar novamente a protecção exterior da bobina.

8.1.4 - Armazenagem

Durante o armazenamento as bobinas devem repousar em terreno plano, não inclinado e estável, convenientemente calçadas com cunhas de madeira. São admitidas pequenas inclinações, havendo nestes casos necessidade de adequar o tipo e número de calços a aplicar. Evitar calçar as bobinas com pedras, já que estas podem, com o tempo, partir-se e danificar o cabo.

O empilhamento de bobinas, sempre que necessário, é possível desde que a armazenagem se faça em terreno sem inclinação, sejam bobinas da mesma dimensão, tenham aplicadas as ripas de madeira e se coloquem as abas sobrepostas umas sobre as outras. Não é aconselhável mais do que um nível de sobreposição, acima das bobinas de base.

É ajustado armazenar os produtos em locais isentos de fumos, matérias corrosivas, poeiras agressivas, nomeadamente de cimento, de carvão ou de outros elementos que provoquem eventuais danos aos cabos.

Deve evitar-se a armazenagem das bobinas, por longos períodos de tempo, em contacto directo com o solo. Se assim acontecer, convém interpor-se elementos de separação e protecção apropriados, tais como pranchas de madeira, placas de ferro ou betão.

Tanto quanto possível é aconselhável não manter por muito tempo as bobinas no exterior, ao sol, à chuva, ou a outras condições ambientais adversas.

8.1.5 - Transporte

O transporte das bobinas deve ser feito com o cuidado devido, evitando-se qualquer movimento brusco, pelo que deve ter-se em conta as seguintes condições principais:

- A base de apoio deve ser sólida, plana e resistente;
- Devem ser aplicados amarras entre as bobinas e destas à base de apoio;
- Todas as bobinas devem ser calçadas firmemente;
- O eixo das bobinas deve estar na horizontal;
- As abas das bobinas devem ser encostadas entre si, topo a topo.

8.2 - Cabos nús para linhas aéreas

8.2.1 - Recomendações relativas a este tipo de cabo

Estes cabos devem ser usados em ambiente exterior para instalações fixas, apoiadas em postes, através de acessórios adequados. São utilizados nas linhas eléctricas aéreas de média, alta e muito alta tensão.

Em qualquer fase da sua instalação, os cabos devem apresentar-se isentos de quaisquer sujidades, partículas e elementos estranhos que possam colocar em risco a sua adequada utilização.

Em regime permanente, recomenda-se que a gama de temperaturas a que o cabo deve estar sujeito, quer na componente ambiental, quer na de serviço, se situe entre -40ºC e + 100°C.

8.2.2 - Condições de instalação e de utilização dos cabos

8.2.2.1 - Operações de desenrolamento

Os cabos devem ser instalados de forma a que os mesmos não rocem directamente no solo ou sobre obstáculos agressivos, evitando assim que sejam alteradas as suas características, provoquem danos ou esmagamento dos cabos ou dos fios de alumínio. Do mesmo modo deve evitar-se também que os cabos sofram danos por fricção ou atrito, nos equipamentos utilizados. Dever-se-ão utilizar os métodos e os equipamentos mais recomendados pela prática, de modo a não expor o cabo ao perigo de eventuais e irreparáveis danos.

As operações necessárias à instalação das linhas, nomeadamente as de desenrolamento e esticamento dos cabos devem ser realizadas de modo a evitar a existência de situações anómalas, tais como torções, nós, encaracolamentos e abertura ou rotura dos fios de alumínio. Nestas operações serão utilizados dispositivos anti-giratórios, em bom estado de conservação, que evitem e compensem os esforços de torção, surgidos com frequência nos cabos, durante aquelas operações.

O desenrolamento é efectuado pelo lado superior da bobina através de um sistema eficaz de travagem de modo a controlar a operação e evitar a formação de espiras folgadas.

a) O uso de roldanas

As roldanas utilizadas na instalação, normalmente construídas em alumínio ou de liga de alumínio, deverão ser largamente dimensionadas para evitar o esmagamento do cabo. Recomenda-se um diâmetro mínimo, no fundo da gola, igual a 25 vezes o diâmetro do cabo e uma profundidade nunca inferior a 1, 2 vezes o diâmetro do cabo.

É aconselhado que as golas das roldanas sejam forradas no seu interior com material adequado. Deverão apresentar as zonas de contacto com o cabo perfeitamente lisas, provocando um efeito de atrito, em relação ao cabo, muito reduzido.

Em termos mecânicos, as roldanas deverão ter uma inércia mínima que lhe permita girar sob um pequeno esforço tangencial, não se permitindo assim a introdução de perturbações no seu rolamento ou erros na regulação dos cabos. Deverão dispor de rolamentos de esferas, frequentemente lubrificados e vistoriados.

Em termos de fixação aos apoios, as roldanas devem poder oscilar livremente nas duas direcções (perpendicular e paralela à linha), de modo a que o cabo fique alinhado na gola, evitando assim esforços de flexão e torção.

Para evitar fenómenos de corrosão galvânica no cabo, por eventual contaminação, não é permitida a utilização de roldanas utilizadas na instalação de cabos de cobre.

b) A utilização de máquinas de puxo

No caso de serem utilizadas máquinas tensoras, recomenda-se que os respectivos tambores tenham golas múltiplas com diâmetros, no fundo da gola, nunca interiores a 25 vezes o diâmetro do cabo.

O traccionamento do cabo durante a instalação deve ser tal que permita a realização das operações respectivas sem lhe provocar danos.

Recomenda-se a aplicação da seguinte força de tracção (N), à saída do tambor da máquina tensora, ou se este não existir, à saída da bobina:

$$F = T \times S$$

Em que

$T = 110\ N/mm^2$ – Tensão máxima do alumínio, na sua característica elástica (N)

S – Secção do alumínio correspondente à última camada do cabo (mm^2).

Recomenda-se que entre os equipamentos de desenrolamento em tensão (máquinas tensoras e de puxo) e o apoio mais próximo, seja mantida uma distância mínima de 4 vezes a altura desse apoio. Tomar em linha de conta as diferenças de cota entre os pontos de fixação das máquinas e de implantação dos postes.

O ângulo de enrolamento do cabo não deverá exceder 30º.

A distância mínima entre a máquina tensora (freio) e o dispositivo onde a bobina é montada para desenrolamento do cabo é de 5 metros.

É recomendável que a velocidade máxima de desenrolamento se situe em 1 m/s.

O desenrolamento deve processar-se de uma forma regular, sem impulsos ou travagens violentas.

Sempre que haja necessidade de cortar o cabo e antes de realizar esta operação, deve proceder-se à aplicação de braçadeiras metálicas (3 a 5) de ambos os lados da zona de corte. Esta aplicação faz-se sobre fita, de preferência autocolante, rigidamente enrolada sobre o cabo. A distância entre braçadeiras deve ser de aproximadamente de um passo de cableamento dos fios da camada exterior do cabo.

8.3 - Cabos isolados de media e alta tensão - linhas subterrâneas

8.3.1 - Temperaturas de funcionamento

Os materiais utilizados, as condições de instalação e de utilização bem como os respectivos acessórios (junções, extremidades, etc.) devem permitir o funcionamento dos cabos nas seguintes condições e temperaturas máximas da alma condutora:

Quadro 172 - Temperaturas de funcionamento

Nominal (em permanência)	Sobrecarga (a)	Curto-circuito (b)
90ºC	120ºC	250ºC

a) - Sobrecarga de curta duração (24 horas por ano em fracções máximas de 3 horas)

b) - Duração máxima de curto-circuito trifásico – 5 segundos

8.3.2 - Considerações gerais sobre o desenrolamento

Os cabos devem ser instalados de maneira a que não sofram alterações das suas características, danos ou esmagamentos. Dever-se-ão utilizar os métodos e os equipamentos mais recomendados pela prática, de modo a não expor o cabo ao perigo de eventuais e irreparáveis danos.

O desenrolamento deve ser efectuado pelo lado superior da bobina, através de um sistema eficaz de travagem de modo a controlar a operação e evitar a formação de espiras folgadas e afrouxamentos na rotação do cabo.

A bobina deverá estar livre para rodar em torno de um eixo introduzido no orifício central e montado sobre macacos. Durante a operação o cabo não deverá ser desenrolado com um raio de curvatura inferior a 25 vezes o seu diâmetro.

Convém prever nas junções e nas extremidades comprimentos suficientes, dependendo do tipo de cabo, para a montagem dos acessórios. Além disso, a fim de permitir uma eventual modificação posterior da disposição das extremidades, é aconselhável prever um comprimento superior e enrolá-lo próximo da ponta.

Durante o desenrolamento do cabo são requeridas certas precauções, dependendo do trajecto do cabo e do equipamento utilizado. No entanto, deverão ser tidas em conta no desenrolamento do cabo as seguintes regras:

Os cabos não deverão ser desenrolados com temperaturas ambientes inferiores a 5°C. Se a temperatura estiver compreendida entre -5°C e +5°C, os cabos poderão ser desenrolados desde que previamente seja efectuado um aquecimento das bobinas que contêm os cabos, durante pelo menos 24 horas, num local mantido a temperaturas vizinhas de 20 °C.

Providenciar a instalação de um sistema de comunicação ao longo do trajecto do cabo, nomeadamente entre a bobina, a ponta do cabo e a máquina de puxo.

Nesta operação as extremidades dos cabos devem ser protegidas contra a penetração de humidade.

8.3.3 - Raios de curvatura admissíveis

Indicam-se a seguir os raios de curvatura mínimos que poderão ser aplicados:

— Durante a instalação 25 d

— Após instalação 20 d

(d - diâmetro exterior do cabo)

Se a instalação do cabo decorrer num ambiente de baixas temperaturas (inferior a + 5 °C), o raio de curvatura mínimo deverá ser incrementado em pelo menos 25%.

8.3.4 - Métodos de desenrolamento

O método utilizado depende do traçado do terreno, do cabo e do pessoal disponível. Normalmente o desenrolamento pode ser efectuado de três maneiras:

a) A partir de uma plataforma móvel (camião ou vagão)

Este método só é possível nos casos em que o traçado acompanha a via de comunicação e não há obstáculos entre eles. Os pontos particulares a ter em atenção são a fixação dos suportes da bobina na plataforma, o controlo e a travagem da rotação da bobina e a colocação do cabo.

b) Manualmente

Serão necessários meios humanos para controlar as passagens difíceis (tubos, esquinas, obstáculos..,), em número suficiente, repartidos pelas dificuldades do percurso e pela posição dos roletes. Convém cuidar, particularmente, pela manutenção de uma cadência regular e uniforme e evitar o roçar ou o choque do cabo com solo ou outros obstáculos.

c) Utilizando um guincho

A força de tracção aplicada no cabo deve ser monitorizada constantemente usando um dinamómetro. É conveniente que o cabo seja rebocado pela alma condutora, por intermédio de uma pinça de tracção apropriada, tendo acopulado ao mesmo pelo menos um destorcedor que inviabilize o risco de torção exagerada do condutor. Não é aconselhável a utilização de uma auto manga de aperto, colocada sobre a bainha exterior do cabo.

A força de tracção deve ser aplicada uniformemente, evitando-se assim esticões no cabo.

O esforço de tracção não deverá exceder os seguintes limites:

Quadro 173 - Esforço de tracção admissível por mm^2 do metal condutor (daN)

Tipo de cabo	Cabo de alumínio	Cabo de cobre
MT	3	5
AT	6	8

8.3.5 - O uso de roletes

Durante o desenrolamento utilizar para o efeito roletes, que deverão ser posicionados com firmeza nos locais por onde o cabo vai passar. Com o uso desta ferramenta o esforça de tracção será menor e a bainha ficará mais protegida do atrito contra os objectivos pontiagudos que possa encontra pelo caminho.

Para evitar que o cabo toque o solo, logo à saída da bobina, é recomendável a utilização de um rolete de maior largura (cerca de 1 metro, ou mais) de maneira a permitir que o cabo se possa movimentar livremente, à medida que se vai processando o seu desenrolado, de uma aba à outra da bobina.

Os roletes deverão ter uma superfície macia e rodar livremente nos seus eixos. O número de roletes a utilizar depende do comprimento do cabo. A distância entre roletes deve ter em conta o peso do cabo e a sua rigidez mecânica,

de modo a evitar-se a existência de vãos acentuados do condutor entre roletes contíguos. Aconselha-se um posicionamento com 2 m a 5 m de intervalo, para percursos em linha recta.

Nestas situações, os locais em causa devem ser bem estudados. Um número adequado de roletes de ângulo deverá ser posicionados em cada curva ou mudança de direcção que o cabo executar. Este tipo de ferramenta, devido à sua concepção, com roletes posicionados na horizontal e na vertical, impede que o cabo saia do seu trajecto normal para ir roçar nas superfícies laterais. Nestes pontos, é convenientes ter-se em conta que a disposição dos roletes não deve permitir que o cabo faça um raio de curvatura inferior a 25 vezes o seu diâmetro.

8.3.6 - Protecção dos cabos depois do desenrolamento

Sempre que possível deverá ser realizada uma verificação para assegurar que a bainha exterior e os capacetes aplicados na extremidade do cabo não foram danificados, imediatamente após a conclusão do desenrolamento.

8.3.7 - Colocação dos cabos em tubos

8.3.7.1 - Generalidades

Este método de instalação proporciona um maior nível de protecção mecânica para os cabos.

O diâmetro interior dos tubos deve ser, no mínimo, 1,5 vezes o diâmetro exterior do cabo.

Aconselha-se colocar um cabo por tubo, já que a fricção mútua durante o desenrolamento poderá causar danos irremediáveis nas bainhas. No caso dos cabos trançados, uma vez que não existe a risco fricção entre eles poder-se-á utilizar apenas um tubo.

8.3.7.2 - Estrutura e construção

Os tubos plásticos, cobertos por cimento, são dispostos numa configuração triangular ou em esteira, sendo aplicados, em termos ideais, com uma distância mínima de 5 cm entre o ponto mais perto dos dois tubos adjacentes.

Se os tubos se situarem a profundidade da superfície não é conveniente que a camada de cimento fique ao nível do pavimento. Para evitar a transmissão de vibrações à instalação, aconselha-se meter de permeio uma camada de terra que sirva de almofada amortizadora.

As uniões entre dois tubos devem ser realizadas com todo o cuidado, de modo a que não fiquem rebarbas ou rugosidades susceptíveis de danificar o cabo durante o enfiamento. Se os tubos forem encaixados uns nos outros, o sentido de enfiamento do cabo deverá coincidir com o dos encaixes.

8.3.7.3 - Controlo do estado do interior das tubagens

Na montagem dos tubos convém deixar no seu interior um cabo guia (uma corda, por exemplo), que permita uma posterior utilização, como reboque.

Antes da colocação dos cabos deve-se fazer passar pelo tubo um mandril (calibre) com um diâmetro igual a 90% do diâmetro interior do tubo. Tal operação permitirá certificar a não existência de reduções exageradas no diâmetro dos tubos.

Aconselha-se, como boa prática, acompanhar a manobra atrás referida com a passagem de uma esponja de diâmetro ligeiramente superior ao do tubo. É uma forma prática de varrer o interior do tubo, ao arrastar para o exterior qualquer objecto estranho (pedra, pedaço de cimento, ou areia) que possa lá existir.

8.3.7.4 - A colocação do cabo

Para evitar a fricção do cabo no bordo da abertura do tubo é ajustado colocar à entrada um conjunto de roletes cónicos.

Como forma de reduzir o atrito do cabo, no interior da tubagem, é convenientes aplicar sobre a bainha um produto lubrificante neutro, que poderá ser sabão líquido, ou massa apropriada para o efeito.

8.3.8 - Colocação dos cabos em caleiras

8.3.8.1 - Construção das caleiras

Os canais devem ser construídos de acordo com as seguintes especificações:

—As dimensões interiores devem permitir um espaço livre de pelo menos 7 cm entre o cabo e a fase interior das coberturas.

—A largura deve ser adequada de modo a permitir um espaço livre de pelo menos 1 cm entre os cabos.

—A superfície interior deverá ser perfeitamente lisa, não comportando nenhuma aspereza.

—Os elementos constituintes das caleiras devem ter encaixes suficientes para evitar o risco de desalinhamento.

8.3.8.2 - Instalação das caleiras

O fundo da caleira é geralmente enterrado a uma profundidade de 1 m. Prevendo-se movimento de terras, os referidos elementos devem ser colocados num tapete de betão de modo que fiquem solidários uns com os outros.

8.3.8.3 - Cobertura e colocação das caleiras

A caleira é fechada com lajes de betão armado apropriadas e betão armado.

Um dispositivo avisador, utilizando uma grelha plástica ou fita, é colocado horizontalmente 20 cm acima das lajes de betão armado. A vala é cheia com areia. Deve ter-se cuidado para evitar esmagamento quando se utiliza equipamentos de compactagem.

8.3.8.4 - Pontos especiais no trajecto do cabo

a) Curvas

O fundo da vala deve estar preparado com uma fundação de cimento, sendo iguais ao fundo das secções das caleiras. Depois da colocação dos cabos, será construído um muro de cada lado da canalização.

A estrutura deve ser perfeitamente lisa. Esta estrutura é depois cheia com areia de qualidade e coberta com lajes de betão armado apropriadas.

Este tipo de construção é preferível ao uso de caleiras curvas, pois não existe qualquer risco de danificar os cabos nas extremidades.

b) Travessias de estrada

O cabo é colocado em tubos plásticos cobertos com betão, com um cabo por tubo.

Os tubos devem encontrar-se distanciados para evitar a criação de pontos quentes no cabo.

A interligação da travessia à caleira é feita por alvenaria, construídas segundo as especificações descritas acima, para as curvas do cabo.

c) Junções

A junção dos cabos é instalada em valas de betão preenchidas com areia e cobertas com lajes de betão armado apropriadas.

8.3.9 - Colocação dos cabos directamente no solo

8.3.9.1 - Construção da vala

A fim de ser eliminada toda a rudeza do terreno susceptível de deteriorar a bainha exterior dos cabos, o fundo da vala deverá ser preparado convenientemente. Os cabos devem ser protegidos da queda de pedras ou materiais susceptíveis de deteriorar a bainha exterior do cabo com um escoramento apropriado. Os cabos são colocados entre duas camadas de areia fina e de boa qualidade.

Estas camadas de areia devem ser de pelo menos 15 cm de espessura cada.

Quadro 174 - Profundidade mínima de colocação no solo

Tipo de cabo	Condições normais	Travessias de estradas
MT	0,7 a 1 m	1 m
AT	1 m	2,2 m

Após o desenrolamento cobrir os cabos com uma camada de areia fina, de pelo menos 10 cm.

Um dispositivo avisador, utilizando uma grelha plástica ou fita, é colocado horizontalmente 20 cm acima dos cabos.

A protecção mecânica pode ser realizada, colocando lajes de betão armado apropriadas no cimo da última camada de areia. As lajes de betão armado podem ser unidas com cimento.

8.3.9.2 - Pontos especiais no trajecto do cabo

a) Curvas

No estabelecimento destes pontos, devem ter-se em conta os valores dos raios de curvatura indicados anteriormente.

b) Travessias de estradas

Os cabos devem ser colocados em tubos plásticos e cobertos com cimento, com um cabo por tubo (ver instalação em tubos para mais detalhes sobre este tipo de instalação).

Os tubos individuais devem ser espaçados para evitar a criação de pontos quentes no cabo.

c) Junções

A junção dos cabos é instalada em valas cobertas com areia e cobertas com lajes de betão armado apropriadas.

8.3.10 - Instalação dos cabos ao ar livre

Nas galerias e túneis visitáveis, os cabos deverão ser apoiados em prateleiras, em caminhos de cabos ou então suspensos por acessórios específicos.

Os caminhos de cabo são, normalmente, construídos em cimento ou metal. Neste último caso, são de preferência perfurados, a fim de permitirem uma melhor circulação do ar à volta dos cabos. É aconselhável, no caso de canalizações que veiculem uma grande potência e que sejam realizadas com cabos unipolares, colocar estes de uma forma ondulada. Os cabos podem, assim, efectuar movimentos de dilatação e de contracção sucessivos sem correr o risco de se encontrarem sob tensão mecânica.

Outro método recomendado é o da suspensão, tendo em consideração a expansão do cabo ou esforço de retracção, de acordo com os ciclos de cargas ou curto-circuito. Adoptando sempre a configuração triangular estes sistemas podem ser articulados com a mudança de direcções para assegurar o ângulo de viragem o mais largo possível.

O intervalo entre 2 sistemas de suspensão depende do peso do cabo e trajecto. Geralmente a distância de aproximadamente 2 metros é adoptada para instalações dos cabos de alta tensão. Os cabos são segurados entre cada sistema de suspensão numa configuração triangular através de uma ou mais abraçadeiras.

Em certos pontos do trajecto do cabo (mudança do ângulo de declive ou direcção) os cabos podem ser fixados através de ganchos, segurando o cabo firmemente sem distorção.

8.4 - Gestão Ambiental – Para uma prática de OBRA LIMPA.

Os colaboradores directamente envolvidos nos trabalhos em obra devem ser sensibilizados para a separação dos resíduos nesses locais e para o correcto encaminhamento dos mesmos. Além do aspecto legal, que obriga as empresas a darem tratamento adequado aos resíduos gerados, é um cuidado que devemos ter para com a sociedade e o meio-ambiente.

- Ao destinarem os materiais e as ferramentas para as obras tenham em atenção a necessidade de disponibilizarem embalagens para os resíduos que resultarem das actividades que vão levar a cabo. Elas devem ser resistentes e ter capacidade de contenção adequada. É ajustado o uso de sacas plásticas.
- À medida que o trabalho vai provocando a formação de resíduos, providenciem de imediato a sua segregação no local. Sempre que possível, utilizem embalagens de cores diferentes para assim melhor poderem identificar o tipo de resíduo segregado.
- A separação correcta dos diferentes tipos de resíduos das obras pode permitir a sua valorização, através da reutilização ou reciclagem, com a consequente redução dos custos daí resultante.
- Prevenindo derrames no solo em obra, as embalagens contendo óleos ou outros líquidos perigosos devem ser colocadas em bacias de retenção.
- Armazenem os materiais de limpeza (panos, papéis, ou cartões) contaminados com óleo ou outros produtos perigosos, em recipiente próprio. Não os misturem com o lixo normal!
- Se necessitarem de lavar ferramentas ou recipientes contendo resíduos de produtos químicos, não o façam em linha de água. Armazenem a água de lavagem contaminada em recipiente apropriado, para posterior tratamento. Não esqueçam de lhe colocar uma etiqueta, referindo o seu conteúdo.
- Todos devemos estar preparados para acudir a pequenas emergências ambientais. No trabalho diário pode acontecer haver incidentes, nomeadamente derrames de produtos químicos no chão, que convém ter em conta para evitar a contaminação do solo, das águas e até de outros produtos.

Edição:
SOLIDAL - Condutores Eléctricos, S.A.
QUINTAS & QUINTAS - Condutores Eléctricos, S.A.
10ª Edição revista e actualizada

Execução Gráfica:
NORPRINT

Maio 2007

Dep. Legal 233441/05

Proíbida a reprodução total ou parcial sem autorização das empresas.

Tiragem: 2000 ex.

- NOTAS -

- NOTAS -

SOLIDAL Condutores Eléctricos S.A.

Sede Social e Instalações Fabris:
Lugar do Paço - Gandra • Apartado 27 • 4741-909 Esposende - Portugal

Serviços Comerciais:
Tel. 253 969 440 / 1
Serviços Fabris: Tel.: 253 969 420 (Busca Automática) • Fax 253 964 910

Delegação Comercial:
Avenida Afonso Costa, 22 - S/L Esq.
1900-036 Lisboa - Portugal
Tel.: 218 402 242 / 5 / 7 / 8 / 54
Fax 218 402 420
E-mail: solidal@solidal.pt • hppt:www.solidal.pt

QUINTAS & QUINTAS Condutores Eléctricos S.A.

Sede Social:
Rua Comendador Francisco Alves Quintas • 4494-909 Póvoa de Varzim - Portugal

Instalações Fabris e Serviços Comerciais:
Lugar do Paço - Gandra • Apartado 18 • 4741-909 Esposende - Portugal
Tel.: 253 969 130 (Busca Automática) • Fax 351 253 969 139
E-mail: quintasequintas@quintascondutores.pt • hppt:www.quintascondutores.pt