

CABOS DE ENERGIA

J. Neves dos Santos

DE1 / 4º Ano LEEC



Índice:

1. Introdução: Definições.
2. Constituição dos Condutores Isolados e Cabos de Energia.
3. Breve Referência ao Processo de Fabrico de Cabos Eléctricos.
4. Características Eléctricas Lineares.
5. Estabelecimento da Expressão da Corrente Máxima Admissível num Cabo em Regime Permanente.
6. Tabelas de Intensidades de Corrente Máximas Admissíveis numa Canalização.
7. Factores de Correção.
8. Cabos Ignífugos: Breve Referência.
9. Cabos de Utilização Corrente em MT e AT: Constituição, Características e Correntes Admissíveis.

1. INTRODUÇÃO: DEFINIÇÕES

- **ALMA CONDUTORA (de um condutor isolado ou cabo)**

- Elemento destinado à condução eléctrica, podendo ser constituído por:
 - Um fio (condutor unifilar ou simplesmente fio);
 - Um conjunto de fios devidamente reunidos e não isolados entre si (condutor multifilar);
 - Perfis adequados (caso de almas condutoras sectoriais maciças).

- **CONDUTOR (em sentido lato)**

- Designação que abrange os condutores nus, os condutores isolados e os cabos.

- **CONDUTOR ISOLADO**

- Alma condutora revestida de uma ou mais camadas de material isolante, que asseguram o seu isolamento eléctrico (ver figura).

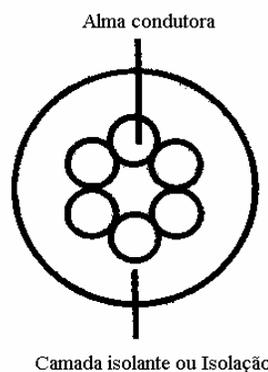


Fig.: Condutor Isolado.

- **CONDUTOR NU**

- Condutor que não possui qualquer isolamento eléctrico exterior: condutor próprio para linhas aéreas ou condutor com a forma de barra, tubo, vareta ou outro perfil adequado (usado, por exemplo, em postos de transformação) - ver figura .



Fig.: Alguns Tipos de Perfis.

• **ISOLANTE / ISOLAMENTO / ISOLAÇÃO / ISOLADOR**

- Estas quatro palavras, embora parecidas, traduzem conceitos diferentes que convém não confundir:
 - ISOLANTE: Refere-se a um material com características isolantes;
 - ISOLAMENTO: Refere-se à performance de um determinado isolante; é uma característica, melhor ou pior, de um material;
 - ISOLAÇÃO: Refere-se à camada isolante de um condutor isolado ou cabo;
 - ISOLADOR: Refere-se a um equipamento usado como apoio de condutores.
- Exemplos de aplicação em linguagem corrente:
 - “Hoje em dia, os isolantes têm excelentes características”;
 - “O material usado para revestir o equipamento...garante um bom isolamento”;
 - “A isolação do cabo tem uma espessura de alguns milímetros”;
 - “Os isoladores de porcelana são usados em vários casos”.

• **CABO ISOLADO ou simplesmente CABO**

- Dois casos podem ser considerados (ver figuras):
 - a) Condutor isolado dotado de revestimento exterior (cabo unipolar ou monopolar ou monocondutor); O revestimento exterior pode consistir de várias camadas (baínhas) com diferentes funções.
 - b) Conjunto de condutores isolados, devidamente agrupados, providos de uma envolvente comum (cabo multipolar).

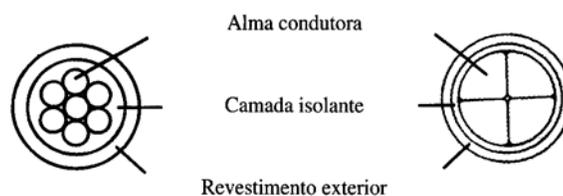


Fig.: Cabo Unipolar.

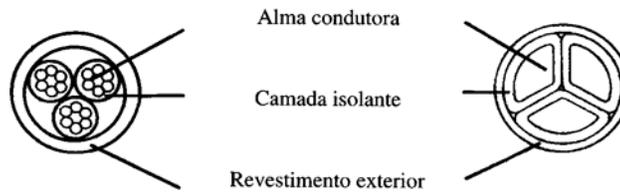


Fig.: Cabo Tripolar.

• **CORES DE IDENTIFICAÇÃO DOS CONDUTORES NOS CABOS**

| Composição/ Número de condutores isolados | Código de cores actual | | | | Novo código de cores (HD 308.S2) | |
|--|------------------------|------------|----------------------|------------|----------------------------------|------------|
| | Condutores rígidos | | Condutores flexíveis | | Condutores rígidos e flexíveis | |
| | C/cond.V/A | S/cond.V/A | C/cond.V/A | S/cond.V/A | C/cond.V/A | S/cond.V/A |
| 2 | | | | | | |
| 3 | | | | | | |
| 4 | | | | | | |
| 5 | | | | | | |

Legenda de Cores : P=Preto; C= Castanho; A= Azul; V= Verde-Amarelo; Z= Cinza)

Quadro :Cores dos Condutores Isolados e Respectiva Ordem Sequencial.

- **TUBOS DE USO CORRENTE EM BT**



Fig. : Tubo Anelado.



Fig. : Tubo VD.



Fig. : Tubo Anelado Pré-cablado.

| Tubo | Ø int. min (mm) | Ø ext. min (mm) | Peso (g/m) |
|--------|-----------------------|-----------------------|---------------|
| VD 12 | 9,2 | 12 | 60 |
| VD 16 | 13,0 | 16 | 89 |
| VD 20 | 16,9 | 20 | 117 |
| VD 25 | 21,4 | 25 | 175 |
| VD 32 | 27,8 | 32 | 247 |
| VD 40 | 35,4 | 40 | 322 |
| VD 50 | 44,3 | 50 | 387 |
| VD 63 | 56,5 | 63 | 640 |
| VD 75 | 67,7 | 75 | 824 |
| VD 90 | 81,9 | 90 | 1081 |
| VD 110 | 101,1 | 110 | 1475 |

Quadro :Características Dimensionais do *Tubo VD*.

2. CONSTITUIÇÃO DOS CONDUTORES ISOLADOS E CABOS DE ENERGIA

A. ALMA CONDUTORA

- A alma condutora pode ser caracterizada pelos seguintes aspectos:
 - Natureza do metal condutor:
 - ✓ Cobre recozido, podendo ser, eventualmente, estanhado;
 - ✓ Alumínio ou, em certas aplicações, ligas de alumínio – tal como o *Almelec* – para melhorar a resistência mecânica;
 - Secção nominal;
 - Composição, a qual vai condicionar, nomeadamente, a flexibilidade (aspecto a ver em detalhe mais adiante);
 - Forma (aspecto a ver em detalhe mais adiante).

- No quadro estão inscritas as características mais relevantes daqueles dois materiais:

| Características | Cobre Recozido | Alumínio ¾ duro |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Grau de Pureza, % | > 99,9 | >99,5 |
| Resistividade a 20° C, ohm, mm ² /m..... | 17,241 . 10 ⁻³ | 28,264 . 10 ⁻³ |
| Coefficiente de variação da resistência óhmica com a temperatura, a 20°C, por °C..... | 3,93 . 10 ⁻³ | 4,03 . 10 ⁻³ |
| Densidade a 20°C..... | 8,89 | 2,70 |
| Coefficiente de dilatação linear a 20° C, por °C..... | 17 . 10 ⁻⁶ | 23 . 10 ⁻⁶ |
| Tensão de ruptura, MPa..... | 230 a 250 | 120 a 150 |
| Alongamento à ruptura, %..... | 20 a 40 | 1 a 4 |
| Temperatura de Fusão, °C..... | 1080 | 660 |

Quadro: Características do Cobre e do Alumínio.

- Uma análise cuidada dos valores deste quadro, permite estabelecer as seguintes conclusões:
 - Considerando que o comprimento (ℓ) e a corrente são fixos, então, se admitirmos que há igualdade de perdas, deverá ser:

$$R_{Al} = R_{Cu} \Rightarrow \rho_{Al} \frac{\ell}{S_{Al}} = \rho_{Cu} \frac{\ell}{S_{Cu}}$$

Desta equação resulta que:

$$S_{Al} = \frac{\rho_{Al}}{\rho_{Cu}} S_{Cu}$$

Substituindo as resistividades, pelos valores inscritos no quadro anterior, obtém-se o seguinte valor para a razão das secções geométricas:

$$S_{Al} / S_{Cu} = 1,635$$

Conclusão 1: O cobre permite usar cabos de menor secção, o que é uma vantagem nas canalizações entubadas (menores diâmetros dos tubos) e/ou embebidas (menores rasgos nas paredes).

- Sendo a tensão de ruptura do cobre superior à do alumínio, assim como o alongamento à ruptura (maior flexibilidade), conclui-se que o cobre deverá ser usado sempre que tais características mecânicas sejam determinantes (**Conclusão 2**).
- A massa de uma porção de cabo de alumínio de comprimento ℓ e secção S_{Al} , é dada por:

$$M_{Al} = 2,70 S_{Al} \ell$$

Para o cobre vem:

$$M_{Cu} = 8,89 S_{Cu} \ell$$

Substituindo, na 1ª expressão, S_{Al} por $1,635 S_{Cu}$, e eliminando, posteriormente, o termo $(S_{Cu} \ell)$ à custa da 2ª expressão, vem:

$$M_{Al} = \left(1,635 \frac{2,70}{8,89} = 0,5 \right) M_{Cu}$$

Conclusão 3: Em igualdade de perdas, a utilização do alumínio, permite uma redução de 50% no peso dos condutores. Por isso, o alumínio é muito usado em linhas aéreas, pese embora as suas piores características mecânicas. Para melhorar estas, é comum a associação do aço ao alumínio, obtendo-se os chamados *cabos Alumínio/Aço*.

Por outro lado, o facto de, em igualdade de perdas, se poderem usar cabos de alumínio com cerca de 50% da massa dos correspondentes cabos em cobre, é um factor que aponta para que a utilização do alumínio seja mais económica. Por isso, o alumínio é muito usado em redes subterrâneas de distribuição em baixa tensão (**Conclusão 4**).

- Composição e Forma da Alma Condutora:
 - Em função da secção nominal e do grau de flexibilidade desejado, a alma condutora poderá ser, quanto à composição:
 - ✓ Maciça, isto é, constituída por um único condutor sólido, normalmente, para secções não muito elevadas;
 - ✓ Multifilar, isto é, constituída por diversos fios cableados entre si, o que, à partida, confere ao conjunto, uma maior flexibilidade;

- o Numa alma condutora multifilar, os fios estão dispostos em hélice, numa ou várias camadas distintas, sendo o sentido de cableamento alternado, entre camadas sucessivas. O número total de fios das várias camadas pode ser calculado pela regra seguinte: $N^{\circ} \text{ fios total} = 1 + 3n(n+1)$, em que n é o número de camadas. Aplicando esta expressão para vários números de camadas ($n = 0, 1, 2, 3 \dots$) vem:

$$n = 0 \rightarrow N^{\circ} \text{ fios total} = 1$$

$$n = 1 \rightarrow N^{\circ} \text{ fios total} = 7 \rightarrow \text{Camada a camada (centro para periferia): } 1+6$$

$$n = 2 \rightarrow N^{\circ} \text{ fios total} = 19 \rightarrow \text{Camada a camada (centro para periferia): } 1+6+12$$

$$n = 3 \rightarrow N^{\circ} \text{ fios total} = 37 \rightarrow \text{Camada a camada (centro para periferia): } 1+6+12+18$$

É fácil constatar que cada camada tem exactamente mais 6 fios do que a anterior.

- o Quanto à forma, podemos ter almas condutoras circulares ou sectoriais (ver figuras abaixo). Esta última disposição é usada, sobretudo, nos cabos com 3 e 4 condutores, permitindo uma melhor ocupação do espaço e, conseqüentemente, uma diminuição das dimensões e do peso dos cabos.
- o De referir, ainda, que as almas condutoras, em certos tipos de cabos, são compactadas (operação de compactação), com o objectivo de reduzir ao espaço ocupado pelos cabos.
- o Por outro lado, para as secções mais elevadas (normalmente acima de 800 mm^2), pode proceder-se à segmentação, em que a alma condutora é composta por vários elementos cableados, de forma sectorial, podendo ser ligeiramente isolados entre si. Esta estrutura tem por objectivo reduzir os efeitos pelicular e de proximidade, com a conseqüente redução da resistência óhmica em corrente alternada.

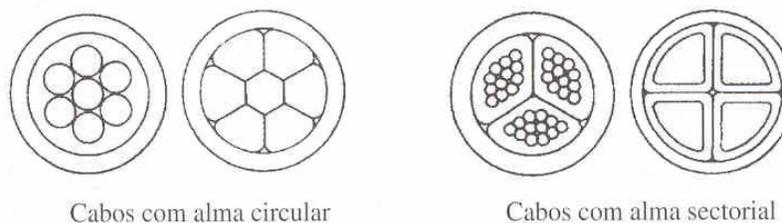


Fig.: Formas da Alma Condutora.

B. CAMADA ISOLANTE OU ISOLAÇÃO

- A camada isolante (também designada por “isolação”), é constituída por compostos dieléctricos sólidos, na maioria dos casos aplicados por extrusão. Aspectos como a espessura, marcação dos condutores, ou cores de fabrico, são determinados por normas próprias.
- Actualmente usamos exclusivamente isolantes sintéticos (isolantes secos); no entanto, merece referência, pela sua importância histórica, a utilização, no passado, do “papel impregnado a óleo”, para as tensões mais elevadas.
- Os diferentes isolantes sintéticos correntemente usados poderão ser agrupados, fundamentalmente, em duas grandes famílias:
 - ✓ Materiais Termoplásticos;
 - ✓ Elastómeros e Polímeros Reticuláveis.
- Nos materiais termoplásticos a temperatura provoca, de um modo reversível, uma variação na plasticidade. Os mais usados são:
 - ✓ Policloreto de Vinilo – conhecido pela sigla PVC;
 - ✓ Polietileno – conhecido pela sigla PE.
- Os Elastómeros e Polímeros reticuláveis apresentam 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 suplementares entre as cadeias moleculares. Alguns exemplos deste tipo de materiais:
 - ✓ Polietileno Reticulado – conhecido pela sigla PEX;
 - ✓ Borracha Etil-Propílica – conhecida pela sigla EPM;
 - ✓ Borracha de Silicone;
 - ✓ Outros.
- Os conceitos de extrusão, vulcanização e reticulação, por serem menos conhecidos, são esclarecidos de seguida:
 - Extrusão: Operação que consiste em forçar a saída por um orifício, sob a acção de forças de pressão, de um metal ou de um plástico sob a forma de fio.
 - Vulcanização: Combinação da borracha com o enxofre para a tornar resistente ao calor e ao frio, sem perda das propriedades elásticas.
 - Reticulado: Diz-se do órgão com elementos distribuídos em rede.

- No quadro são referidas as temperaturas limite de emprego de diversos materiais isolantes, informação que é da maior relevância para, por exemplo, estabelecer os valores das correntes máximas admissíveis em regime permanente (assunto a tratar mais adiante):

Temperaturas Limite de Emprego dos Principais Materiais Utilizados nas Camadas Isolantes e nas Bainhas

| Natureza do material | Papel impregnado | P.V.C. | | Ignífugos sem halogéneo | | | Polietileno | | | PEX | | |
|---|------------------|-------------------------------|---------|-------------------------|------------|-----|-------------|----------------|--------|--------------------|-----|----------------|
| Domínio de utilização | Isolante BT e MT | Isolante BT e MT | Bainha | Isolante reticulado BT | Bainha | | Isolante | | Bainha | Isolante | | |
| | | Tensão de serviço U ≤ 10kV | | Termoplástica | Reticulada | 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 | -10 | | -20 | -5 |
| | | | | | | | | ⁽²⁾ | | | | ⁽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: Temperaturas de Emprego de Materiais Isolantes.

- No quadro são apresentadas as características físicas mais relevantes de diversos materiais isolantes. De entre essas, há quatro características – *Resistividade Térmica*, *Factor de Perdas*, *Permitividade* e *Constante de Isolamento* – que, pela sua importância, merecem uma referência especial, o que será feito a seguir.

2 - 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 | | |
|---|---------------------|---------------------------|-----------------|----------------|---------------------|----------------|-------------------------|---|----------------|----------------|--|----------------------|------------------------|-----|
| | | BT | MT | MT | MT | AT | | BT | MT e AT | BT, MT e AT | | | | |
| Domínio da aplicação Temperatura máxima admissível na alma condutora, °C | MT | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 70 | 90 | 90 | 90 | 90 | BT | | |
| Densidade a 20°C Resistividade térmica, K.m/w | 12,2 - 1,5 6 | 1,3 - 1,5 6 | | | 0,92 f 3,5 | | | 0,92 - 1,20 3,5 | | | 1,10 - 1,35 3,5 | 1,10 - 1,30 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 | |
| Varição máxima das características | | ±20% | | ±20% | ±25% | ±30% | ±25% | ±25% | ±25% | ±25% | ±25% | ±30% | Cr ≥ 4 MPa A ≥ 120% | |
| Características Dielétricas 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 (tg δ) | 80.10 ⁻⁴ | 1000.10 ⁻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 dielétricos maciços e extrudidos, de tensão nominal ≤ 0,6/1kV.
- (3) Cabos isolados com dielétricos 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 dielétricos 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:Características Físicas de Materiais Isolantes.

- Resistividade Térmica (ρ_θ):
 - A resistividade térmica de um material é uma característica que indica a maior ou menor facilidade, com que o calor é conduzido através desse material. Exprime-se nas unidades, °C m/W (ou °K m/W).
 - Recorrendo à analogia com a corrente eléctrica, podemos estabelecer uma expressão para a chamada *Resistência Térmica*, R_θ, (em °C/W), com uma forma semelhante à da resistência eléctrica:

$$R_{\theta} = \rho_{\theta} \ell / S$$
 - A resistência térmica de uma porção de um determinado material, vai condicionar a diferença de temperatura (em °C) entre duas faces dessa porção, através da expressão (*Lei de Ohm Térmica*):

$$\Delta\theta = R_{\theta} Q = (\rho_{\theta} \ell / S) Q$$

sendo Q a potência calorífica (em W) que flui através daquela porção de material.

- Se na expressão anterior fizermos todos os valores unitários, obtemos uma conclusão interessante: Uma potência calorífica de 1 W, fluindo através de uma porção de material de, 1m de comprimento, 1m² de secção e 1 °C m/W de resistividade térmica, originará uma diferença de temperatura, entre as duas faces, de 1°C (ver figura):

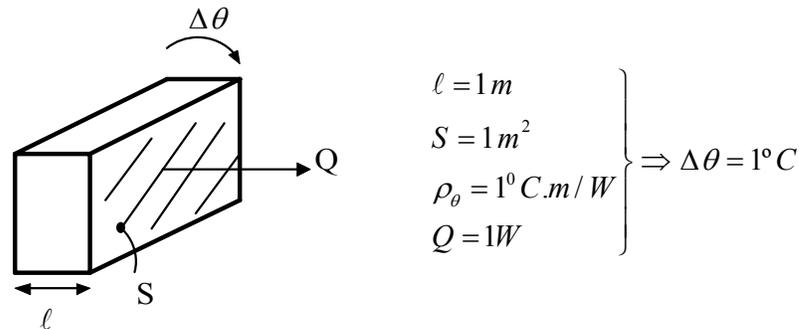


Figura: Lei de Ohm Térmica.

- A *Lei de Ohm Térmica* permite, ainda, concluir que, para uma dada potência calorífica gerada numa alma condutora (efeito das perdas Joule), $\Delta\theta$ será tanto menor, quanto menor for a resistência térmica da camada isolante. Logo, se admitirmos que a temperatura ambiente (no exterior da camada isolante) é fixa, então tanto menor será temperatura à superfície do condutor.
- Permitividade Relativa (ϵ):
 - É adimensional;
 - Quanto menor for o seu valor, menor será o valor da capacidade do cabo. Assim, para uma dada tensão, U, menor será a corrente de fugas capacitiva, I_c ($I_c = j\omega C U$) - ver figura .

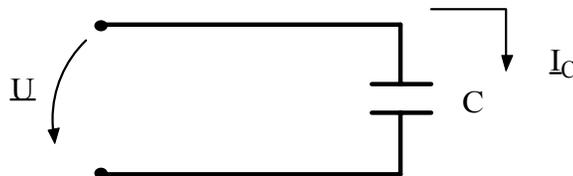


Figura: Corrente de Fugas Capacitiva.

- Factor de Perdas ($\text{tg } \delta$):

- É adimensional;
- Para um cabo de capacidade C , com corrente de fugas capacitiva, I_C , haverá ainda uma corrente de fugas resistiva, I_R , que pode exprimir-se em função daquela, à custa do factor de perdas (ver figura):

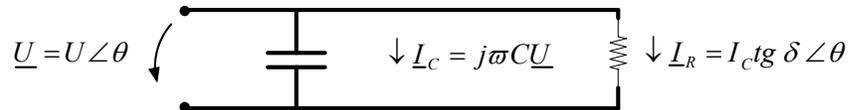


Figura: Correntes de Fugas num Cabo.

- No diagrama vectorial da figura seguinte estão representadas aquelas duas correntes e o ângulo δ :

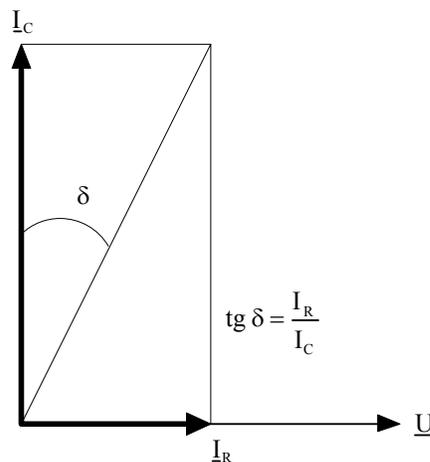


Figura: Factor de Perdas ($\text{tg } \delta$).

- É importante que o factor de perdas tenha um valor baixo, já que ele condiciona as perdas dieléctricas num cabo. De facto, da 1ª figura desta página, decorre facilmente que:

$$\text{tg } \delta \downarrow \Rightarrow I_R \downarrow \Rightarrow (\text{Perdas Dielectricas} = UI_R) \downarrow$$

- Se na expressão anterior substituirmos I_R pela expressão, $I_R = I_C \text{tg } \delta$, e, nesta, exprimirmos I_C em função de U ($I_C = \omega CU$), vem:

$$\text{Perdas Dielectricas} = UI_R = U I_C \text{tg } \delta = \omega CU^2 \text{tg } \delta$$

- Esta expressão diz-nos que as perdas dieléctricas crescem com o quadrado da tensão. Por esta razão, quando um material isolante tem um factor de perdas muito elevado (caso do PVC) não é usado para a gama de tensões mais elevadas.
- Constante de Isolamento (K_i):
 - Exprime-se em $M\Omega \cdot km$;
 - Com a Constante de Isolamento, podemos calcular a *Resistência de Isolamento* de um cabo de comprimento L (ver figura), através da expressão:

$$\text{Resistência de Isolamento} = K_i / L \quad M\Omega$$

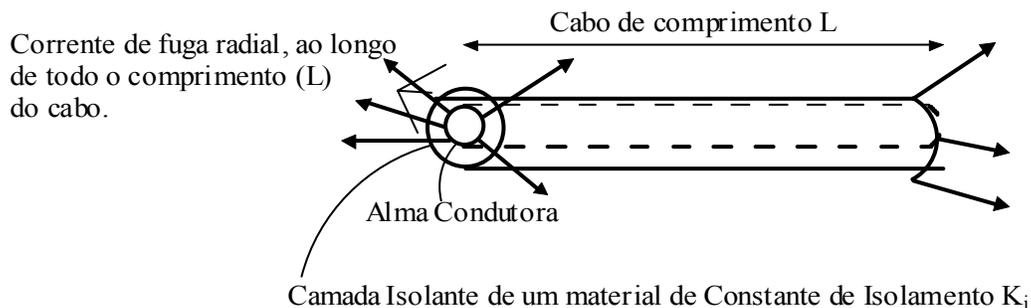


Figura 19: Constante de Isolamento.

C. COMPARAÇÃO DOS MATERIAIS ISOLANTES SINTÉTICOS MAIS COMUNS

- Policloreto de Vinilo (PVC):
 - ✓ Tem algumas boas características eléctricas, nomeadamente a *rigidez dieléctrica* e a *resistência de isolamento*, pois têm valores elevados para o PVC.
 - ✓ Em contrapartida, a $tg \delta$ é elevada pelo que as perdas dieléctricas são elevadas, podendo, mesmo, tornar-se críticas em média tensão. Também a *permissividade dieléctrica* e a *capacidade linear*, são muito elevadas.
 - ✓ Oferece, boas características mecânicas, nomeadamente as seguintes: *carga de ruptura*, *resistência à compressão* e *resistência aos choques*.

- ✓ No entanto, a flexibilidade do PVC é reduzida o que justifica que seja mais adequado para canalizações fixas de que para canalizações amovíveis.
 - ✓ Tem boa resistência ao envelhecimento térmico. As misturas usuais são previstas para uma temperatura máxima, em regime permanente, de 70°C. Existem, ainda, misturas que resistem até temperaturas de 85°C e mesmo de 105°C.
 - ✓ Tem boa resistência à água e à maioria dos produtos químicos correntemente encontrados (óleos, solventes, ácidos e outros).
 - ✓ É dificilmente inflamável. Todavia, a combustão do PVC é acompanhada pela libertação de gases nocivos.
 - ✓ Está disponível numa ampla gama de cores, mediante a utilização de corantes específicos.
 - ✓ É largamente usado, como isolante, em baixa tensão e também em média tensão, mas apenas até aos 10 kV (esta limitação é consequência do elevado valor da $tg \delta$).
 - ✓ É também usado como *bainha exterior* de cabos de baixa, média e alta tensão – utilização largamente generalizada, com esta função – o que se explica pelas boas propriedades gerais do PVC.
- **Polietileno (PE):**
 - ✓ Trata-se de um polímero de etileno fabricado por processos diversos, conduzindo a massas moleculares muito diversas.
 - ✓ O tipo de polietileno usado no isolamento dos cabos de alta tensão é do tipo *alta pressão*, o qual tem uma baixa densidade (entre 0,91 e 0,93), pelo que é designado por *Polietileno de Baixa Densidade*, também conhecido pela sigla PEBD.
 - ✓ Há também o *Polietileno de Alta Densidade* (densidade entre 0,94 e 0,96), também conhecido pela sigla PEAD.
 - ✓ O polietileno tem qualidades eléctricas excepcionais: $tg \delta$ e *permissividade dieléctrica* com valores baixos e independentes da temperatura; *resistência de isolamento* e *rigidez dieléctrica* muito elevadas.
 - ✓ As características mecânicas são igualmente favoráveis, como sejam, entre outras, uma boa *resistência aos choques* e uma certa *flexibilidade* (permitindo a colocação dos cabos com raios de curvatura normais).
 - ✓ Oferece elevada resistência à grande maioria dos agentes químicos usuais e aos agentes atmosféricos.

- ✓ Infelizmente o polietileno, apresenta uma fraca resistência à propagação da chama, o que o torna pouco atractivo para outras funções que não a de isolamento – por exemplo, para revestimento exterior de cabos.
 - ✓ É utilizado em cabos de alta e muito alta tensão (até 400kV), sendo mesmo largamente usado neste último escalão de tensões. Isto explica-se pelas propriedades dieléctricas notáveis do polietileno e ao equilíbrio das suas restantes características.
- **Polietileno Reticulado (PEX):**
 - ✓ Sem atingir o nível das do polietileno, as características eléctricas do PEX são, no geral, boas: *tg δ* e *permissividade dieléctrica* com valores baixos; *rigidez dieléctrica* relativamente elevada.
 - ✓ As vantagens decorrentes da *reticulação* do polietileno são, principalmente, uma melhor estabilidade térmica e melhores características mecânicas.
 - ✓ Assim, a utilização deste material permite admitir temperaturas máximas da alma condutora de 90°C, em regime permanente, de 110°C a 130°C (conforme as normas que são consideradas) em regime de sobre carga e de 250°C em regime de curto-circuito.
 - ✓ É utilizado, essencialmente como isolante, nas gamas de baixa, média e alta tensão.

D. SEMI-CONDUTORES

- As camadas semi-condutoras são utilizadas, normalmente, apenas a partir da média tensão (acima de 10 kV), com a função de criar zonas de transição perfeita entre o isolamento e a alma condutora e entre aquele e o écran metálico. Para o efeito, é habitualmente usado o polietileno com aditivos (por exemplo o carbono). Esta “dopagem” daquele material vai conferir-lhe alguma condutividade, permitindo assim obter um condensador perfeito. Tal não seria possível, sem a aplicação daquelas camadas, devido às irregularidades das almas condutoras multifilares, bem como à textura dos écrans metálicos.
- O semi-condutor interior é aplicado, por extrusão, sobre a alma condutora, enquanto que o semi-condutor exterior é aplicado, também por extrusão, sobre a camada de isolamento.
- Normalmente, as duas camadas semi-condutoras e a camada isolante, são aplicadas por um processo de tripla extrusão simultânea, para garantir uma perfeita adesão entre as três camadas.

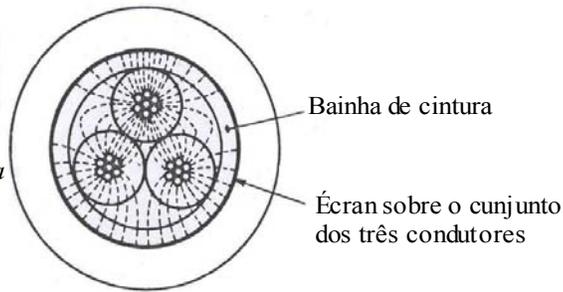
E. REVESTIMENTOS METÁLICOS

- Pela sua localização e função, distinguem-se os seguintes dois tipos de revestimentos metálicos:
 - ✓ Écran metálico sobre a camada isolante ou sobre o semi-condutor exterior, nos casos em que este exista;
 - ✓ Armadura metálica.

Se o écran tem uma função essencialmente eléctrica, a armadura tem uma função essencialmente mecânica (raramente a armadura desempenha simultaneamente as duas funções). Seguidamente, serão caracterizados, com mais detalhe, aqueles tipos de revestimentos.

- **Écran Metálico:**
 - É realizado em cobre ou alumínio, consistindo num conjunto de fios ou fitas, que são aplicados helicoidalmente (em hélice), de modo a que nenhum espaço livre seja visível.
 - Eventualmente pode constituir-se como uma *bainha* (*bainha*: revestimento formando um tubo de matéria contínua).
 - É geralmente ligado à terra.
 - Permite assegurar o escoamento das correntes capacitivas, bem como das correntes de curto-circuito – concretamente da componente homopolar da corrente de curto-circuito fase-terra.
 - Protege contra as perturbações electromagnéticas no caso de cabos de telecomunicações.
 - Garante a protecção das pessoas, em caso de perfuração do cabo por um corpo condutor exterior, já que este é colocado ao potencial da terra (admitindo que o écran está ligado à terra).
 - Permite criar uma superfície equipotencial e orientar, assim, as linhas de força do campo eléctrico. Dois casos podem surgir:
 - ✓ Cabos de campo não radial, em que o écran é colocado - no caso de um cabo tripolar - sobre uma bainha de regularização isolante (cintura) que envolve o conjunto dos condutores (ver figura):

Importante: O campo eléctrico apresenta uma componente tangencial não desprezável e a rigidez dieléctrica do isolante é menor nessa direcção !

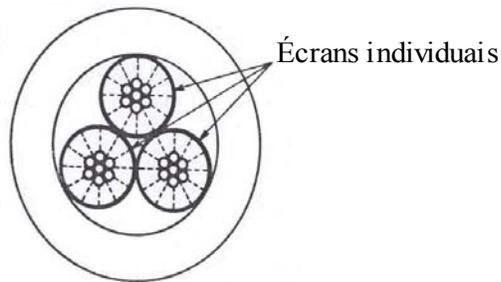


Distribuição das linhas de força num cabo de campo não radial, também chamado cabo de cintura..

Figura: Cabo de Campo Não Radial.

- ✓ Cabos de Campo Radial, caso dos cabos unipolares dotados de écran e dos cabos tripolares dotados de écrans individuais (ver figura):

Importante: Neste caso foi suprimida a componente tangencial do campo eléctrico.



Distribuição das linhas de força

Figura: Cabo de Campo Radial.

- **Armadura Metálica:**

- Assegura a protecção mecânica do cabo, quando este está submetido a importantes esforços transversais (compressão ou choques) ou longitudinais (tracção).
- Pode, eventualmente, ser utilizada com a função de écran metálico, desde que sejam tomadas certas disposições no plano eléctrico.

- Os principais tipos de armaduras usados em cabos multipolares são os seguintes:
 - ✓ Armadura em dupla fita de aço, aplicada helicoidalmente;
 - ✓ Armadura em fios de aço aplicados helicoidalmente;
 - ✓ Armadura em trança de fios de aço (fios cruzados) a usar em aplicações em que se exige particular flexibilidade.

- No caso de cabos unipolares não são usadas armaduras em aço, já que as características magnéticas deste tipo de armaduras desaconselham o seu uso em corrente alternada, por haver uma apreciável redução da capacidade de transporte da canalização. Como alternativa são usadas armaduras de alumínio em dupla fita de aço, aplicada helicoidalmente. Outra hipótese será dispensar a armadura, mas utilizar uma protecção mecânica exterior (por exemplo, um tubo).

F. REVESTIMENTOS NÃO METÁLICOS (BAÍNHAS)

- A designação, de “bainha”, provém do facto de os revestimentos formarem, normalmente, um tubo de matéria contínua.
- Distinguem-se, essencialmente, dois tipos de revestimentos, associados a outras tantas funções:
 - ✓ Bainha de enchimento (ou simplesmente, enchimento), também chamada “bainha de regularização” que tem por função preencher os espaços vazios entre condutores e dar ao conjunto uma determinada geometria, geralmente cilíndrica. Pode ser constituída por uma camada extrudida, por diversos tipos de fitas ou por perfis independentes mantidos em posição (por intermédio de fitas de amarração).
 - ✓ Bainha exterior que assegura a protecção química e mecânica do cabo.
- Os materiais mais usados nas bainhas são o PVC e o Polietileno (de baixa e de média densidade – PEBD e PEMD).

3. BREVE REFERÊNCIA AO PROCESSO DE FABRICO DE CABOS ELÉCTRICOS

- As indústrias de fabrico de cabos eléctricos, nomeadamente quando se dedicam às gamas da alta e muito alta tensões, utilizam tecnologia de ponta, por forma a garantir a excepcional qualidade dos cabos, particularmente da isolamento, já que esta está sujeita, para aqueles níveis de tensão, a excepcionais solicitações dieléctricas.
- Em Portugal há diversas empresas de fabrico de condutores isolados e cabos, algumas delas com linhas de produção verticais e fabricando desde a baixa tensão até à muito alta tensão.
- Uma *fábrica vertical* é aquela que recebe parte das matérias primas em bruto, transformando-as para chegar ao produto final acabado. No caso de uma fábrica de cabos, a linha de produção está, em geral, organizada segundo o esquema que podemos encontrar na figura, onde apenas estão representadas as etapas principais do processo:

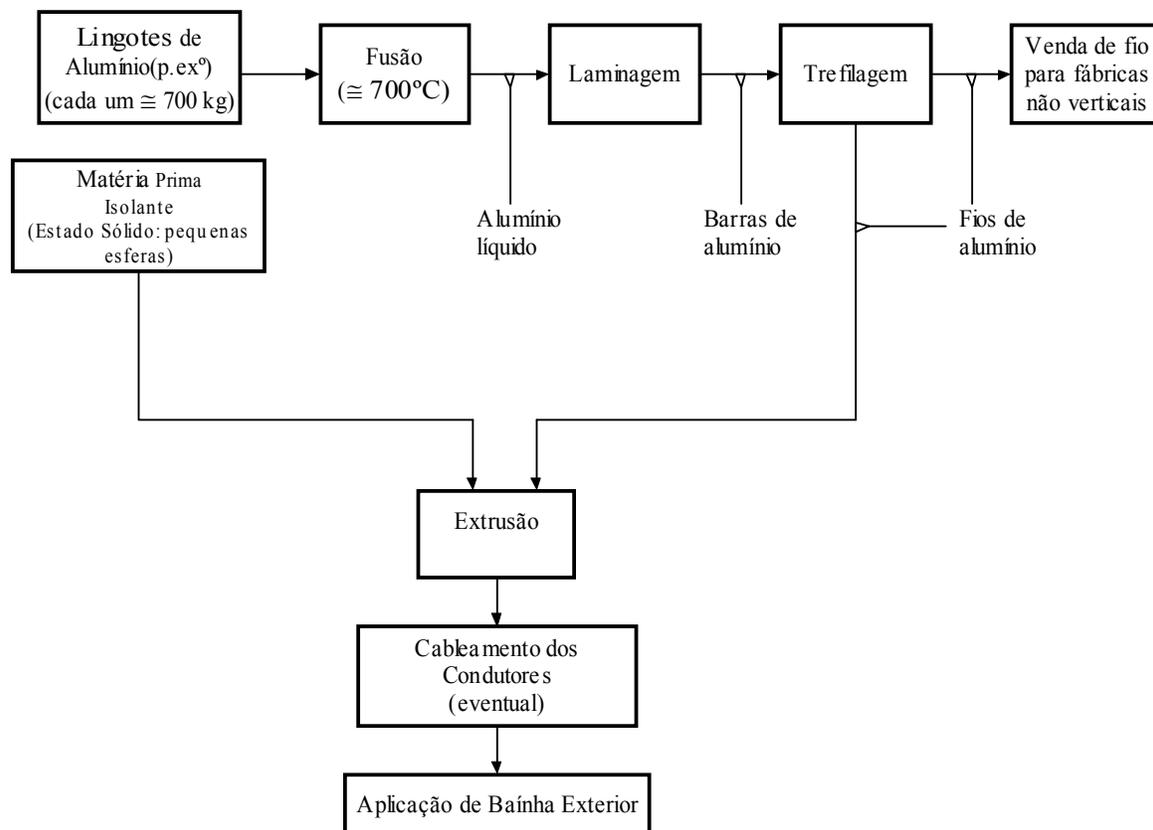


Figura: Linha de Produção Típica de Cabos Eléctricos.

- A operação de extrusão é realizada em máquinas adequadas, chamadas de *extrusoras* (ver figura), com velocidades de extrusão variáveis de acordo com o material isolante que é usado. Indicam-se a seguir, a título indicativo, algumas velocidades de extrusão típicas:

1000 metros / min, para o PVC (1,5 mm² ; BT)

20 a 30 centímetros / min, para o PE (225 kV ou 400 kV)

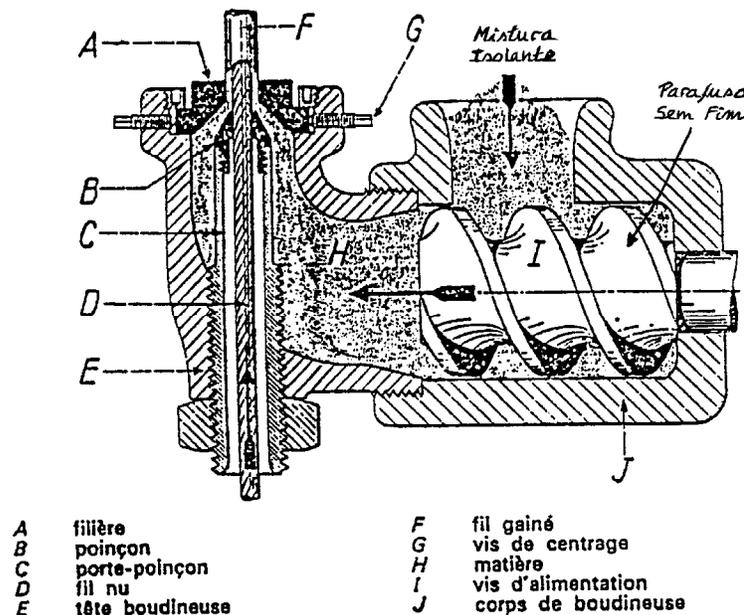


Figura: Aplicação de Isolantes Sintéticos por Extrusão.

- O condutor isolado sai da extrusora com uma elevada temperatura (pode atingir os 400 °C). A operação de arrefecimento, durante a primeira parte do trajecto, é realizada, normalmente, em ambiente de água ou de gás inerte (azoto), o que exige a utilização de tubagem própria para o efeito. Na parte final do trajecto, o arrefecimento é realizado ao ar. Enquanto não está concluído o arrefecimento, não é possível dobrar os condutores. Esta é a razão pela qual as naves industriais de uma linha de produção de cabos têm, normalmente, elevados comprimentos (da ordem dos 300 m).

4. CARACTERÍSTICAS ELÉCTRICAS LINEARES

A. RESISTÊNCIA LINEAR

- A expressão da resistência linear (por unidade de comprimento), em corrente contínua, é bem conhecida:

$$R'_{20} = \rho_{20} \frac{1}{S} \quad [\Omega/\text{Km}]$$

- Nesta expressão, S é a secção, em mm^2 , do condutor e ρ_{20} é a sua resistividade a 20°C , com os seguintes valores para o cobre e alumínio:

$$\rho_{20_{\text{Cu}}} = 17,241 \Omega \text{mm}^2/\text{Km}$$

$$\rho_{20_{\text{Al}}} = 28,264 \Omega \text{mm}^2/\text{Km}$$

- Se incluirmos na expressão da resistência três coeficientes que traduzem a influência de outros tantos efeitos, teremos:

$$R''_{20} = R'_{20} K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \quad [\Omega/\text{Km}]$$

Em que:

- ✓ K_1 é um coeficiente que depende da natureza do metal condutor, das transformações físicas que o mesmo sofre durante a fabricação da alma condutora e da presença eventual de um revestimento metálico de protecção (estanho por exemplo);
- ✓ K_2 é um coeficiente que representa a majoração do comprimento, devida ao cableamento dos fios constituintes da alma condutora (aplicável a almas multifilares);
- ✓ K_3 é um coeficiente que representa a majoração do comprimento devida à montagem dos condutores de fase no conjunto final (aplicável a cabos multipolares).

- Para uma temperatura, θ , diferente de 20°C, vem:

$$R_{\theta} = R_{20} [1 + \alpha_{20} (\theta - 20)] \quad [\Omega/\text{Km}]$$

Em que α_{20} é o coeficiente de variação da resistividade com a temperatura, com os seguintes valores para o cobre e alumínio

$$\alpha_{20_{\text{Cu}}} = 3,93 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

$$\alpha_{20_{\text{Al}}} = 4,03 \times 10^{-3} \text{ } ^\circ\text{C}^{-1}$$

- Até agora temos considerado a resistência em corrente contínua. Ora, em corrente alternada devem ser considerados dois novos efeitos, ambos contribuindo para um aumento da resistência. Um deles tem a ver com o facto de a densidade de corrente não ser uniforme, pois é mais elevada na periferia do que no centro da secção (*efeito pelicular*). O outro efeito tem a ver com o facto de haver vários condutores próximos, com fenómenos de indução entre eles, criando um novo desequilíbrio na repartição da densidade de corrente (*efeito de proximidade*). Do exposto resulta que:

$$R_{\theta} = R_{\theta}'' (1 + K_4 + K_5)$$

Em que K_4 é o coeficiente associado ao *efeito pelicular* e K_5 é o coeficiente associado ao *efeito de proximidade*.

- O método de cálculo dos coeficientes K_4 e K_5 , pode ser encontrado na “Publicação nº 287 da CEI”. No entanto, à frequência industrial (50 Hz), podem ser desprezados aqueles dois efeitos (ou seja, $K_4=0$ e $K_5=0$), para as secções dentro das gamas seguintes:

$$S \leq 300 \text{ mm}^2 \text{ (Cobre)}$$

$$S \leq 500 \text{ mm}^2 \text{ (Alumínio)}$$

- Em resumo, a resistência linear de um condutor, em corrente alternada, pode ser calculada pela expressão seguinte:

$$R_{\theta} = \rho_{20} \frac{1}{S} (K_1 \cdot K_2 \cdot K_3) [1 + \alpha_{20} (\theta - 20)] (1 + K_4 + K_5) [\Omega/\text{Km}]$$

- Note-se que poderá, ainda, ser necessário proceder a um ajuste (aumento) do valor obtido pela expressão anterior, caso o cabo comporte um écran metálico ou uma armadura. A razão é que estes componentes serão sede de *perdas de joule* suplementares, originadas pela circulação de correntes induzidas. Assim, o efeito destas perdas será tomado em consideração por um aumento fictício da resistência.

B. INDUTÂNCIA LINEAR

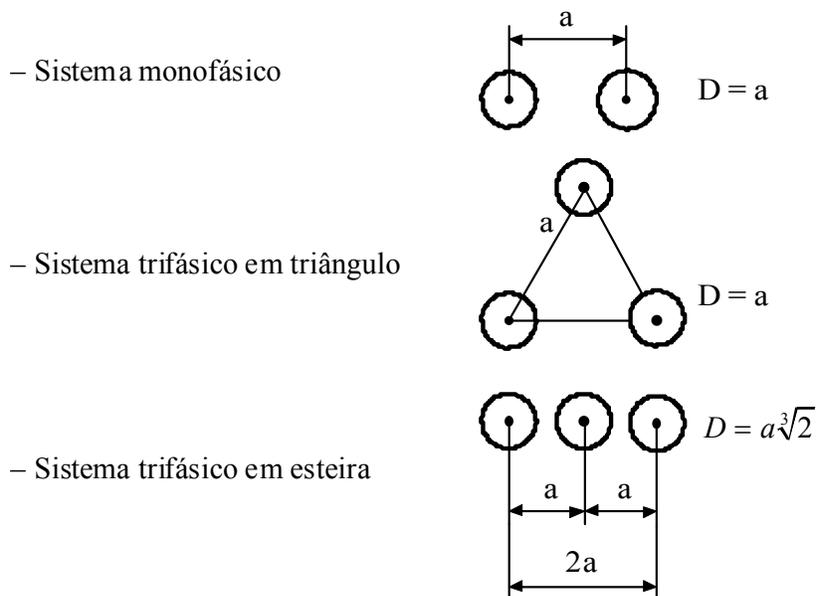
- A expressão da indutância linear (por unidade de comprimento) é bem conhecida:

$$L = (\mu_0/4\pi) \left(0,5 + 2 \ln \frac{D}{r} \right) \quad H/Km$$

Uma vez que a permeabilidade magnética do vazio, μ_0 , vale $4\pi \times 10^{-4} H/Km$, podemos escrever aquela expressão na seguinte forma:

$$L = 0,05 + 0,2 \ln \frac{D}{r} \quad mH/Km$$

- Nestas expressões tem-se:
 - ✓ L = Indutância a considerar para cada um dos condutores de fase de um sistema monofásico ou trifásico;
 - ✓ r = Raio da alma condutora de cada um dos condutores;
 - ✓ D = Média geométrica das distâncias entre eixos de condutores, sendo especialmente de interesse os três casos seguintes:



- No caso de um sistema monofásico, em que um dos condutores é “de ida” e o outro “de volta”, tem-se que a indutância total do circuito será o dobro do valor da indutância de cada um dos condutores, isto é:

$$L_{\text{total}} = 0,1 + 0,4 \ln \frac{D}{r} \text{ mH/km}$$

- De notar que os valores calculados pelas expressões apresentadas devem ser corrigidos (aumentos até cerca de 10%) quando os cabos comportarem armaduras magnéticas envolvendo o conjunto das fases.

C. CAPACIDADE LINEAR

- Por ser mais simples, vamos começar por estabelecer a expressão da capacidade linear de um cabo de campo radial. A figura seguinte ajuda à compreensão da dedução que é apresentada à frente.

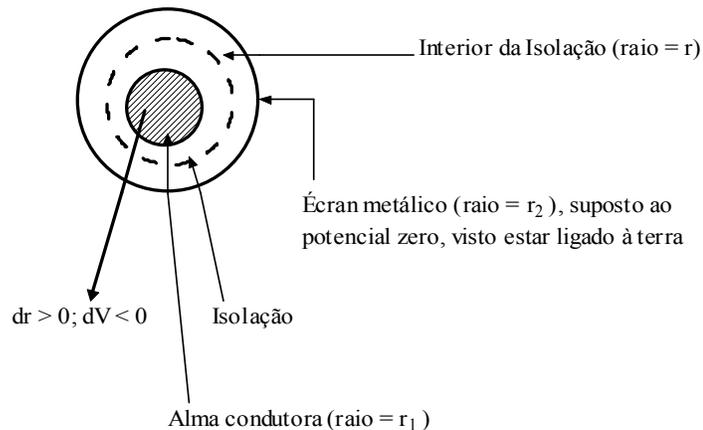


Figura: Corte Transversal de um Cabo de Campo Radial.

- Tem-se sucessivamente:
 - $E(r) = \frac{Q}{2\pi\epsilon'r}$, sendo Q (em cb/km) a carga por unidade de comprimento da alma condutora, $E(r)$ o campo eléctrico numa circunferência de raio r e ϵ' a permissividade do dieléctrico (isolante).
 - $-dV = \frac{Q}{2\pi\epsilon'r} dr$, tendo em conta que $E(r) = -dV/dr$.

- $\int_V^0 -dV = \int_{r_1}^{r_2} \frac{Q}{2\pi\epsilon' r} dr$, sendo V o potencial da alma condutora, em Volt.
 - $V = \frac{Q}{2\pi\epsilon'} \ln \frac{r_2}{r_1}$
 - $V = \frac{CV}{2\pi\epsilon'} \ln \frac{r_2}{r_1}$, tendo em conta que $Q=CV$, com C em F/km.
 - $C = \frac{2\pi\epsilon'}{\ln \frac{r_2}{r_1}} \text{ F/km}$
- Fazendo, na expressão acima, $\epsilon' = \epsilon \epsilon_0$, em que ϵ é a permissividade relativa do dielétrico e ϵ_0 é a permissividade dielétrica do vazio, de valor $\epsilon_0 = 8,8419 \times 10^{-9} \text{ F/km}$, vem finalmente:
 - $C = \frac{\epsilon}{18 \ln \frac{r_2}{r_1}} \mu\text{F/km}$
 - Esta expressão pode, obviamente, ser usada para cabos tripolares de campo radial, representando, neste caso, a capacidade por fase. No entanto, para cabos de campo não radial, não é mais possível usar aquela expressão, mas antes uma das expressões seguintes:

$$\text{-cabo com 2 condutores : } C = \frac{\epsilon}{18 \ln \left[\frac{2br_2^2 - b^2}{r_1 r_2^2 + b^2} \right]} (\mu\text{F/km})$$

$$\text{-cabo com 3 condutores : } C = \frac{\epsilon}{9 \ln \left[\frac{3b^2 (r_2^2 - b^2)^3}{r_1^2 r_2^6 + b^6} \right]} (\mu\text{F/km})$$

Em que:

- ✓ r_1 é o raio da alma condutora, em mm;
- ✓ r_2 é o raio sobre o invólucro isolante, em mm;
- ✓ b é a distância do eixo do condutor ao eixo do cabo, em mm.

- Estas expressões resultam da combinação de diferentes capacidades parciais que é possível encontrar num cabo de campo não radial. Por exemplo, no caso de cabos tripolares de cintura, com écran metálico envolvendo o conjunto dos condutores, podemos considerar as capacidades parciais representadas na figura. Se convertermos o triângulo de capacidades, C_1 , a uma estrela e depois fizermos o paralelo com a estrela de capacidades, C_0 , facilmente concluímos que a capacidade total por fase poderá ser calculada pela expressão:

$$C = C_0 + 3C_1$$

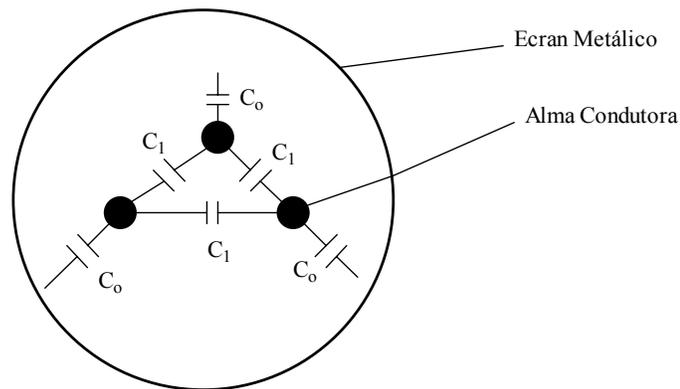


Figura: Corte Transversal de um Cabo de Cintura.

5. ESTABELECIMENTO DA EXPRESSÃO DA CORRENTE MÁXIMA ADMISSÍVEL NUM CABO EM REGIME PERMANENTE

- Consideremos um condutor isolado, percorrido pela corrente I , sendo r_1 o raio da alma condutora e r_2 o raio exterior da isolação sobre a alma condutora (ver figura). Sabe-se ainda que o material isolante tem uma resistividade térmica de ρ_θ (em $^\circ\text{C m/W}$) e que o meio exterior ao condutor isolado tem uma temperatura, θ_{exterior} .

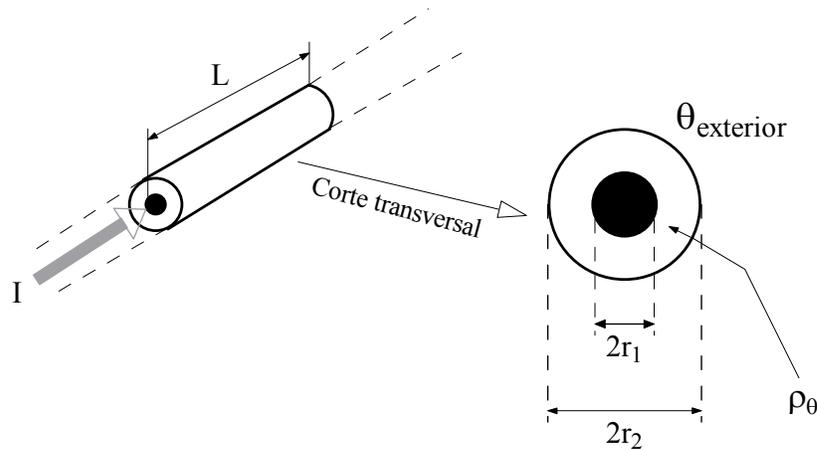


Figura: Características de um Condutor percorrido pela Corrente I .

- Numa porção de condutor, de comprimento L , ocorrem perdas de Joule na alma condutora, com o conseqüente aquecimento da mesma. Esta potência calorífica, P_j pode ser calculada pela expressão:

$$P_j = \rho \frac{L}{\pi r_1^2} I^2 \quad [\text{W}]$$

Em que ρ é a resistividade eléctrica do material da alma condutora, à temperatura de funcionamento.

- A potência calorífica, P_J , é conduzida para o exterior através da isolação (ver figura), estabelecendo-se uma sobrelevação da temperatura na alma condutora, relativamente ao exterior, que pode ser calculada, pela *lei de ohm térmica*:

$$\Delta\theta = R_\theta P_J$$

Com:

$$\bullet \Delta\theta = \theta_{\text{alma}} - \theta_{\text{exterior}} \quad [^\circ\text{C}]$$

$$\bullet R_\theta = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L} \rho_\theta \quad [^\circ\text{C}/\text{W}]$$

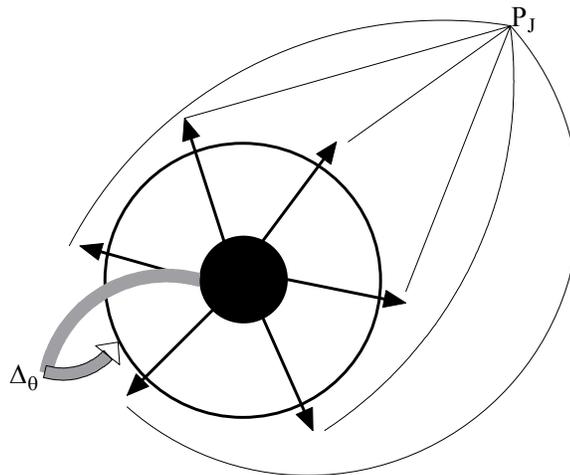


Figura: Lei de Ohm Térmica.

- Vamos, agora, deduzir esta última expressão de R_θ , partindo, para o efeito, da expressão que traduz a *lei de Ohm térmica* num elemento infinitesimal de espessura dr (ver figura):

$$d\theta = -\rho_\theta \frac{dr}{2\pi r L} P_J \quad (\text{Nota: } 2\pi r L \text{ é a área lateral de um cilindro de altura } L, \text{ sendo } r \text{ o raio da base})$$

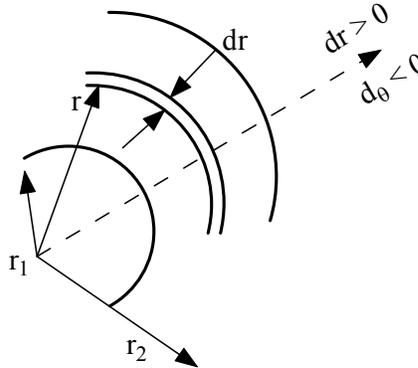


Figura: Elemento da isolação de espessura infinitesimal dr .

- Assim, vem sucessivamente:

- $d\theta = -\rho_\theta \frac{dr}{2\pi r L} P_J$
- $\int_{\theta_{\text{alma}}}^{\theta_{\text{exterior}}} -d\theta = \int_{r_1}^{r_2} \rho_\theta \frac{dr}{2\pi r L} P_J$
- $\theta_{\text{alma}} - \theta_{\text{exterior}} = \frac{P_J}{2\pi L} \rho_\theta \int_{r_1}^{r_2} \frac{dr}{r}$
- $\Delta\theta = \frac{P_J}{2\pi L} \rho_\theta (\ln r_2 - \ln r_1)$
- $\Delta\theta = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L} \rho_\theta P_J \quad \text{c.q.d.}$
- ↓
- R_θ

- Substituindo nesta última expressão, P_J , pela expressão da página anterior, vem:

$$\theta_{\text{alma}} - \theta_{\text{exterior}} = \frac{\ln \frac{r_2}{r_1}}{2\pi L} \rho_\theta \times \rho \frac{L}{\pi r_1^2} I^2$$

- Resolvendo esta última equação em ordem a I, vem:

$$I = \sqrt{\frac{\theta_{\text{alma}} - \theta_{\text{exterior}}}{\ln \frac{r_2}{r_1} \frac{1}{2\pi} \rho_{\theta} \times \frac{1}{\pi r_1^2} \rho}}$$

Sendo:

$$\begin{aligned} & \ln \frac{r_2}{r_1} \\ & \bullet \frac{1}{2\pi} \rho_{\theta} \\ & \bullet \frac{1}{\pi r_1^2} \rho \end{aligned}$$

Respectivamente, a *Resistência Térmica da Camada Isolante* em °C m/W e a *Resistência da Alma Condutora à Temperatura de Serviço*, em Ω/m

- Se na expressão acima, substituirmos θ_{alma} por θ_p (θ_p = temperatura máxima admissível na alma condutora, em regime permanente, sendo imposta pelo isolamento), vem $I = I_p$ (I_p = intensidade de corrente máxima admissível em regime permanente):

$$I_p = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta_{\text{exterior}}}{\ln \frac{r_2}{r_1} \frac{1}{2\pi} \rho_{\theta} \times \frac{1}{\pi r_1^2} \rho}}$$

- Em conclusão: I_p , é a intensidade de corrente máxima admissível num condutor isolado, colocado num meio envolvente de temperatura, θ_{exterior} (temperatura ambiente), cuja alma condutora tem resistividade, ρ e secção, πr_1^2 , e cuja camada isolante tem uma resistividade térmica, ρ_{θ} , espessura, $(r_2 - r_1)$ e temperatura máxima, em regime permanente, θ_p .

- Da expressão que acabamos de obter podemos tirar:

- Corrente máxima admissível para uma temperatura ambiente, $\theta'_{\text{exterior}}$, diferente de θ_{exterior} :

$$I'_p = I_p \sqrt{\frac{\theta_p - \theta'_{\text{exterior}}}{\theta_p - \theta_{\text{exterior}}}}$$

- b) Temperatura θ' atingida pela alma condutora para uma corrente a transmitir, I' , diferente de I_p :

$$\frac{I'}{I_p} = \sqrt{\frac{\theta' - \theta_{\text{exterior}}}{\theta_p - \theta_{\text{exterior}}} \times \frac{\rho}{\rho'}}$$

Com:

$$\frac{\rho}{\rho'} = \frac{1 + \alpha_{20}(\theta_p - 20)}{1 + \alpha_{20}(\theta' - 20)}$$

6. TABELAS DE INTENSIDADES DE CORRENTE MÁXIMAS ADMISSÍVEIS

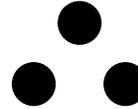
- *A intensidade de corrente máxima admissível, em regime permanente, numa canalização, é o valor da intensidade de corrente que provoca, no estado de equilíbrio térmico, o aquecimento das almas condutoras dos cabos, até ao valor máximo permitido. Como já foi referido atrás, a temperatura de funcionamento é imposta pela isolação, uma vez que aquela temperatura não pode ser superior à que está estabelecida pelas características do material isolante (por exemplo, 70° C para o PVC, ou 90° C para o PEX).*
- *A importância daquela corrente, resulta do facto de que o critério base para a fixação da secção de um condutor isolado, ou cabo, passa pela verificação de que a corrente de serviço previsível na canalização, é igual ou inferior à corrente máxima admissível no condutor isolado, ou cabo.*
- *A intensidade de corrente máxima admissível numa canalização depende, para além das características dimensionais, eléctricas e térmicas dos cabos, das condições de instalação dos mesmos (forma de agrupamento dos condutores, temperatura ambiente, etc) e do local onde se encontra colocada a canalização (enterrada ou ao ar livre; com, ou sem, entubamento), já que estes factores condicionam directamente a dissipação das perdas térmicas geradas nos cabos.*
- *As correntes admissíveis, em função do tipo de isolamento, do tipo de alma condutora, do número e secção dos condutores, considerando uma determinada temperatura ambiente de referência, e determinadas condições de instalação e de localização das canalizações, são indicadas na regulamentação de segurança e/ou catálogos de fabricantes, sob a forma de “Tabelas de Intensidades de Corrente Máximas Admissíveis”.*
- *Na figura é apresentada uma estrutura corrente para aquele tipo de tabelas. Depois, são tecidos alguns comentários sobre a estrutura e, mais adiante, é apresentado um exemplo concreto de uma tabela.*

- A propósito, convém recordar quais os modos habituais de colocação de cabos monopolares em sistemas trifásicos:

- ✓ Em Esteira



- ✓ Em Triângulo (Trevo)



- ✓ Em Esteira juntiva



- ✓ Em Triângulo (Trevo) juntivo



- As tabelas apresentam em rodapé a especificação das condições de instalação que foram consideradas para o cálculo das correntes máximas admissíveis, nomeadamente, se forem aplicáveis, as seguintes:

- ✓ Temperatura ambiente;
- ✓ Temperatura do solo;
- ✓ Resistividade térmica do solo;
- ✓ Profundidade do enterramento.

- Sempre que as condições de instalação de uma canalização, não coincidirem com aquelas que foram consideradas numa tabela em uso, será necessário afectar as correntes admissíveis, de factores de correcção, de valores adequados, como veremos adiante. No entanto, deve notar-se que há fabricantes que fornecem tabelas já com as correntes admissíveis corrigidas para as novas condições de utilização, o que dispensa a aplicação de factores de correcção. Assim, sugere-se alguma atenção e prudência, no uso das tabelas de intensidades de corrente máximas admissíveis.
- A título de exemplo, é apresentada de seguida uma tabela de intensidades de corrente admissíveis, retirada de um catálogo editado por um determinado fabricante de cabos nacional.

| TABELAS DE INTENSIDADES DE CORRENTES ADMISSÍVEIS | | | | | | | | |
|--|---|-------|----------------|-------|---------------------------|-------|----------------|-------|
| CABOS DE BAIXA TENSÃO | | | | | | | | |
| TIPO | PT – N05 VV – U / H05 VV – F / VV / VAV | | | | LVV / LSVV / LVAV / LSVAV | | | |
| SECÇÃO (mm ²) | COBRE | | | | ALUMÍNIO | | | |
| | 2 CONDUTORES | | 3-4 CONDUTORES | | 2 CONDUTORES | | 3-4 CONDUTORES | |
| | ENTERR. | AO AR | ENTERR. | AO AR | ENTERR. | AO AR | ENTERR. | AO AR |
| 0.5 | - | 14 | - | 12 | - | - | - | - |
| 1 | - | 17 | - | 15 | - | - | - | - |
| 1.5 | 30 | 22 | 25 | 20 | - | - | - | - |
| 2.5 | 40 | 30 | 35 | 28 | - | - | - | - |
| 4 | 50 | 40 | 45 | 36 | - | - | - | - |
| 6 | 65 | 50 | 60 | 48 | - | - | - | - |
| 10 | 90 | 70 | 80 | 65 | - | - | - | - |
| 16 | 120 | 95 | 110 | 90 | 95 | 75 | 90 | 70 |
| 25 | 155 | 125 | 135 | 110 | 125 | 100 | 110 | 90 |
| 35 | 185 | 150 | 165 | 130 | 150 | 120 | 130 | 105 |
| 50 | 220 | 180 | 190 | 150 | 175 | 145 | 150 | 120 |
| 70 | 280 | 225 | 245 | 195 | 225 | 180 | 195 | 155 |
| 95 | 335 | 270 | 295 | 235 | 270 | 215 | 235 | 190 |
| 120 | 380 | 305 | 340 | 270 | 305 | 245 | 270 | 215 |
| 150 | 435 | 350 | 390 | 310 | 350 | 280 | 310 | 250 |
| 185 | 490 | 390 | 445 | 355 | 390 | 310 | 355 | 285 |
| 240 | 570 | 455 | 515 | 410 | 455 | 365 | 410 | 330 |
| 300 | 640 | 510 | 590 | 470 | 510 | 410 | 470 | 375 |
| 400 | 760 | 610 | 700 | 560 | 610 | 490 | 560 | 450 |
| 500 | - | - | - | - | - | - | - | - |

As correntes indicadas são para as seguintes condições de instalação:

- Temperatura ambiente: 20° C (40° C para *Torçadas*)
- Temperatura do solo: 20° C
- Resistência térmica do solo: 70° C. cm/W
- Profundidade de enterramento: 0.5 a 0.7 m
- Temperatura no condutor: 70° C para isolamentos a PVC e 90° C para isolamentos a XLPE

Figura : Tabela Típica de Intensidades de Corrente Admissíveis.

7. FACTORES DE CORRECÇÃO

- Se as condições de instalação de uma canalização forem diferentes das que presidiram à elaboração de uma tabela de correntes máximas admissíveis em uso, há que corrigir estas correntes usando a expressão:

$$(I_Z)_{\text{real}} = I_Z \times K_a \times K_b \times K_c \times \dots$$

Com

- ✓ I_Z : Intensidade de corrente retirada da tabela.
 - ✓ $(I_Z)_{\text{real}}$: Intensidade de corrente corrigida.
 - ✓ K_i ($i=a, b, c, \dots$): factores (ou coeficientes) de correcção.
- Os factores de correcção, eventualmente a considerar, contemplam as seguintes situações:
 - a. Temperatura ambiente (só para canalizações ao ar);
 - b. Temperatura do solo (só para canalizações enterradas);
 - c. Profundidade de enterramento (só para canalizações enterradas)
 - d. Resistividade térmica do solo (só para canalizações enterradas)
 - e. Agrupamento de canalizações;
 - f. Cabos entubados;
 - g. Outras situações particulares de instalação.

Sempre que, relativamente a qualquer um destes itens ($i = a, b, c, \dots$), se verificar a concordância com as condições definidas na tabela em uso, será de usar um $K_i = 1$, na expressão anterior.

- De seguida, vamos detalhar, para cada um daqueles factores, alguns aspectos particulares.

a) Temperatura do Ar Ambiente

- A correcção da corrente máxima admissível para uma temperatura ambiente diferente da temperatura de referência, já foi tratada atrás. Recorda-se aqui a forma da expressão que foi estabelecida:

$$I'_p = I_p \sqrt{\frac{\theta_p - \theta'_{\text{ambiente}}}{\theta_p - \theta_{\text{referencia}}}}$$

Recorde-se, ainda, que θ_p é a temperatura máxima admissível na alma condutora, em regime permanente. Assim, deduz-se facilmente a expressão a usar para o cálculo do coeficiente de correcção, K:

$$K = \sqrt{\frac{\theta_p - \theta'_{\text{ambiente}}}{\theta_p - \theta'_{\text{referencia}}}}$$

b) Temperatura do Solo

- O Coeficiente de correcção a aplicar tem uma expressão semelhante à que acabamos de apresentar para a temperatura do ar ambiente, bastando substituir, naquela expressão, $\theta'_{\text{ambiente}}$ por θ'_{solo} .
- A consideração de outra temperatura de referência, que não esta, depende de algumas condicionantes, que devem ser avaliadas caso a caso. Concretamente, deve ser ponderada a influência de outras fontes de calor (provenientes de, por exemplo, condutas de água quente), nas proximidades das canalizações eléctricas.

c) Profundidade de Enterramento

- A quantificação da influência da profundidade de colocação de um cabo, sobre a intensidade admissível, é delicada. No entanto, sabe-se que a resistividade térmica do terreno envolvente do cabo, cresce com a profundidade, o que corresponde a uma diminuição da capacidade de transporte.

d) Resistividade Térmica do Solo

- A resistividade térmica do solo é um factor que influencia a corrente máxima admissível numa canalização, mas cujo valor é, muitas vezes, difícil de avaliar com precisão, pois depende de vários factores, como sejam, a resistividade própria dos materiais que constituem o solo, a sua maior ou menor compactação, a humidade, etc.
- Em função destes, e de outros factores, a resistividade térmica pode variar, tipicamente entre valores de 0,4 K.m /W e 3,0 K.m /W de acordo com o exposto no quadro seguinte:

| | |
|---|-----------------|
| • 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 |

Quadro: Resistividade Térmica para Vários Tipos de Terrenos.

- Todavia, em casos em que a resistividade térmica do solo é muito desfavorável, é recomendável substituir o terreno original por materiais de características térmicas mais vantajosas, especialmente na proximidade imediata dos cabos, onde a influência do solo é preponderante.

e) Agrupamentos de Canalizações

- Quando, pelo menos, uma canalização está colocada, lado a lado, com outra canalização, há que considerar o efeito do aquecimento mútuo entre canalizações, mediante a inclusão de um factor de correcção de valor inferior à unidade.
- No caso de canalizações enterradas, aquele efeito seria desprezável se o intervalo entre elas fosse, no mínimo, de um metro! No entanto, por razões económicas (custo proibitivo da abertura da vala), tal não é possível, sendo prática habitual dispor as canalizações em esteira horizontal, com uma distância de, até, 20 a 25 cm, entre canalizações adjacentes.

f) Cabos Entubados

- Por imperativos de colocação, é, muitas vezes, necessário instalar os cabos no interior de tubos: por exemplo, em canalizações enterradas - quando se trata da travessia de vias de comunicação - ou em canalizações embebidas.
- Desde que o comprimento do entubamento ultrapasse poucos metros, haverá uma redução, não desprezável, da corrente máxima admissível, visto que o reduzido volume de ar que rodeia o cabo, aquece sob acção das perdas térmicas dissipadas. É assim necessário proceder à correcção da corrente máxima admissível na canalização.

g) Cabos em Espaços Fechados

- Desde que o volume de ar que rodeia um cabo (ou grupo de cabos) seja reduzido, produz-se um aquecimento do ar, sob a acção das perdas térmicas dissipadas. É o caso das galerias técnicas de pequenas dimensões, não ventiladas, ou das caleiras de betão com tampa, que existem, frequentemente, nas fábricas, à superfície do solo.

8. CABOS IGNÍFUGOS: BREVE REFERÊNCIA

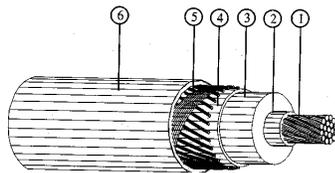
- Os cabos ignífugos são cabos com comportamento melhorado face a situações de fogo. A sua utilização é recomendada, sempre que os edifícios têm mais de 28 m de altura, já que, para estes casos, as imposições construtivas são mais severas, no que se refere à segurança contra incêndios. Ora, os cabos são uma peça chave dessa segurança, visto que, ao atravessarem, horizontalmente e verticalmente, os edifícios, são um meio privilegiado para a propagação (ou não) dos incêndios.
- As normas de segurança aplicáveis a estes cabos são as seguintes: *CEI 61034-1*, *CEI 61034-2*, *EN 50268-1* e *EN 50268-2*.
- As vertentes de segurança aumentada que é possível obter com a instalação deste tipo de cabos são as seguintes:
 - Gases e fumos libertados na combustão:
 - ✓ Opacidade (tão baixa quanto possível por forma a manter-se boa visibilidade);
 - ✓ Toxicidade (tão baixa quanto possível);
 - ✓ Acidez (tão baixa quanto possível, por forma a que a acção corrosiva seja reduzida);
 - Propagação do fogo:
 - ✓ Cabos retardantes à chama;
 - ✓ Cabos retardantes ao fogo;
 - Resistência ao Fogo:
 - ✓ Se um cabo é classificado como “resistente ao fogo”, então ele pode manter-se em serviço perante uma situação de incêndio.
- Uma comparação, entre os cabos convencionais e os cabos ignífugos, relativamente às três características antes referidas, *opacidade*, *toxicidade* e *acidez*, é feita a seguir:
 - ✓ Opacidade de cabo convencional, 70% a 80%.
Opacidade de cabo **ls** (iniciais de “low smoke”), < 40%.
 - ✓ Toxicidade de cabo convencional, 30%.
Toxicidade de cabo **It** (iniciais de “low toxicity”), 0,05%.
 - ✓ Acidez de cabo convencional, PH < 2.
Acidez de cabo **la** (iniciais de “low acid”), PH ≥ 4,3.

- Refira-se ainda que, ao contrário dos cabos convencionais, os cabos **la** geram fumos de baixa condutividade, pelo que são reduzidos os riscos de certos equipamentos sofrerem curto-circuitos, em situações de incêndio. De facto, como os fumos têm tendência a preencher todos os espaços livres, inclusive dentro dos equipamentos eléctricos, haveria o risco de danificação eléctrica dos mesmos, se os fumos fossem condutores!

9. CABOS DE UTILIZAÇÃO CORRENTE EM MT E AT: CONSTITUIÇÃO, CARACTERÍSTICAS E CORRENTES ADMISSÍVEIS

A. CONSTITUIÇÃO

- **Cabos para Média Tensão ($1000\text{ V} < U < 45000\text{ V}$)**
 - **Cabo Monopolar do Tipo LXHIV, LXHIOV, XHIV, XHIOV:**
(Tensões estipuladas: 6/10 kV ; 8,7/15 kV ; 12/20 kV ; 18/30 kV)

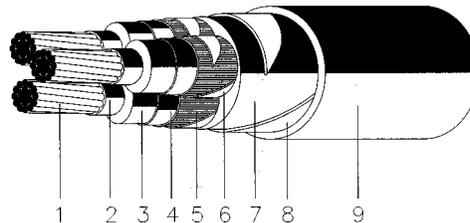


Descrição:

- 1 - Alma rígida em alumínio ou cobre
- 2 - Bainha semicondutora interior
- 3 - Isolação em PEX
- 4 - Camada semicondutora exterior
- 5 - Écran metálico em cobre (fita ou fios e fita)
- 6 - Bainha exterior em PVC (poderá ser em PE, sob encomenda)

○ **Cabo Tripolar do Tipo LXHIAV, LXHIOAV, XHIAV, XHIOAV:**

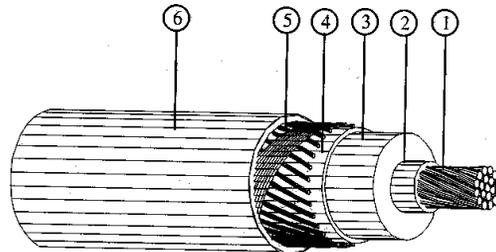
(Tensões estipuladas: 6/10 kV ; 8,7/15 kV ; 12/20 kV)



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

- **Cabos para Alta Tensão ($45000\text{ V} \leq U \leq 225000\text{ V}$)**
 - **Cabo Monopolar do Tipo LXHIV, LXHIOV, XHIV, XHIOV:**
(Tensões estipuladas: 64/110 kV ; 76/138 kV ; 87/150 kV)



Descrição:

- 1 - Alma rígida em alumínio ou cobre
- 2 - Bainha semicondutora interior
- 3 - Isolação em PEX
- 4 - Camada semicondutora exterior
- 5 - Écran metálico em cobre (fita ou fios e fita)
- 6 - Bainha exterior em PVC (poderá ser em PE, sob encomenda)

B. CARACTERÍSTICAS DE CABOS DE MÉDIA TENSÃO (MT) E ALTA TENSÃO (AT)

- TABELA A: Cabos Monopolares LXHIV /LXHIOV /XHIV /XHIOV para 8,7/15 kV (Instalação em Trevo Juntivo)**

| Características Dimensionais | | | | | Características Eléctricas | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|------|--|-------|--|-------|----------------------|----------------------|---------------------|------------------------------------|------|
| Secção Nominal (mm) | Espessura Isolação (mm) | Diâmetro sobre Isolação (mm) | Espessura Bainha (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 _{90c} (Ω/km) | |
| | | | | | Al | Cu | Al | Cu | Al | Cu | | | | Al | Cu |
| 35 | 4.5 | 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 | | 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 |

- TABELA B: Cabos Monopolares LXHIV /LXHIOV /XHIV /XHIOV para 12/20 kV (Instalação em Trevo Juntivo)**

| Características Dimensionais | | | | | Características Eléctricas | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|----------------------------|------|--|-------|--|-------|----------------------|----------------------|---------------------|------------------------------------|------|
| Secção Nominal (mm) | Espessura Isolação (mm) | Diâmetro sobre Isolação (mm) | Espessura Bainha (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 _{90c} (Ω/km) | |
| | | | | | Al | Cu | Al | Cu | Al | Cu | | | | Al | Cu |
| 35 | 5.5 | 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 | | 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: Outras tensões comuns (MT) para cabos monopolares: 6/10 kV e 18/30 kV.

• **TABELA C: Cabos Tripolares LXHIAV /LXHIOAV /XHIAV /XHIOAV para MT**
(Apenas Características Dimensionais)

| Secção nominal mm ² | 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 |

• **TABELA D: Cabos Monopolares LXHIV /LXHIOV /XHIV /XHIOV para 36/66 kV**
(Instalação em Trevo Juntivo)

| Características Dimensionais | | | | | Características Eléctricas | | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|------------------------------|----------------------|------------------------|----------------------------|-------|--|-------|--|-------|----------------------|----------------------|---------------------|------------------------------------|------|
| Secção Nominal (mm) | Espessura Isolação (mm) | Diâmetro sobre Isolação (mm) | Espessura Bañha (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 _{90c} (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 |

**TABELA E: Cabos Monopolares LXHIV /LXHIOV /XHIV /XHIOV para 64/110 kV
(Instalação em Trevo Juntivo)**

| Características Dimensionais | | | | | | Características Eléctricas | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|--|-------|--|-------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------------|------|
| Secção Nominal (mm) | Espessura Isolação (mm) | Diâmetro sobre Isolação (mm) | Espessura Bainha (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 _{0C} (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 |

• **TABELA F: Cabos Monopolares LXHIV /LXHIOV /XHIV /XHIOV para 87/150 kV
(Instalação em Trevo Juntivo)**

| Características Dimensionais | | | | | | Características Eléctricas | | | | | | | | | |
|------------------------------|-------------------------|------------------------------|-----------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------|--|-------|--|-------|----------------------|----------------------|---------------------|-----------------------------------|------|
| Secção Nominal (mm) | Espessura Isolação (mm) | Diâmetro sobre Isolação (mm) | Espessura Bainha (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 _{0C} (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: Outras tensões comuns (AT) para cabos monopolares: 26 / 45 kV , 64 / 110 kV , 76 / 138 kV.

C. INTENSIDADES ADMISSÍVEIS EM CABOS DE MÉDIA TENSÃO (MT) E ALTA TENSÃO (AT)

- **TABELA 1: Cabos Monopolares LXHIV, LXHIOV, XHIV, XHIOV (Média Tensão e Alta Tensão)**

| Secção nominal mm ² | Instalação subterrânea (1) | | Instalação ao ar (2) | |
|--------------------------------|----------------------------|------|----------------------|------|
| | Al | Cu | Al | Cu |
| 35 | 150 | 190 | 160 | 200 |
| 50 | 180 | 230 | 190 | 240 |
| 70 | 220 | 270 | 230 | 300 |
| 95 | 260 | 330 | 290 | 360 |
| 120 | 300 | 380 | 340 | 430 |
| 150 | 330 | 430 | 390 | 490 |
| 185 | 380 | 480 | 440 | 570 |
| 240 | 440 | 560 | 520 | 670 |
| 300 | 490 | 630 | 600 | 760 |
| 400 | 570 | 720 | 690 | 890 |
| 500 | 650 | 820 | 810 | 1020 |
| 630 | 750 | 930 | 950 | 1180 |
| 800 | 840 | 1030 | 1090 | 1340 |
| 1000 | 950 | 1150 | 1250 | 1510 |

Condições:

- Temperatura Máxima do Solo: 20 °C;
- Temperatura Máxima ao Ar Livre: 30 °C;
- Intensidades Indicadas para Canalizações Trifásicas (3 Cabos em Trevo Juntivo, no caso de Cabos Monopolares);
- Profundidade de Enterramento: 0,70 m para cabos de MT e 1,20 m para cabos de AT;
- Resistência Térmica do Solo: 100 °C.cm/W.

• **TABELA 2: Cabos Tripolares LXHIAV, LXHIOAV, XHIAV, XHIOAV**
(Média Tensão: 6/10 kV ; 8,7/15 kV ; 12/20 kV)

| Secção nominal mm ² | INTENSIDADE NOMINAL (A) * | | | | Queda de tensão em V/km. A (cos φ = 0,8) | |
|--------------------------------|----------------------------|----------|----------------------|----------|--|----------|
| | Instalação subterrânea (1) | | Instalação ao ar (2) | | | |
| | Alumínio Al | Cobre Cu | Alumínio Al | Cobre Cu | Alumínio Al | Cobre Cu |
| 25 | | 165 | | 160 | | 1,5 |
| 35 | | 200 | | 195 | | 1,1 |
| 50 | 180 | 235 | 175 | 230 | 1,3 | 0,83 |
| 70 | 225 | 285 | 220 | 280 | 0,92 | 0,61 |
| 95 | 270 | 345 | 265 | 345 | 0,69 | 0,47 |
| 120 | 305 | 390 | 305 | 395 | 0,57 | 0,39 |
| 150 | 340 | 435 | 345 | 450 | 0,48 | 0,34 |
| 185 | 385 | 490 | 395 | 510 | 0,40 | 0,29 |
| 240 | 445 | 570 | 470 | 600 | 0,33 | 0,24 |

Condições:

- Temperatura Máxima do Solo: 20 °C;
- Temperatura Máxima ao Ar Livre: 30 °C;
- Intensidades Indicadas para Canalizações Trifásicas (3 Cabos em Trevo Juntivo, no caso de Cabos Monopolares);
- Profundidade de Enterramento: 0,70 m para cabos de MT e 1,20 m para cabos de AT;
- .