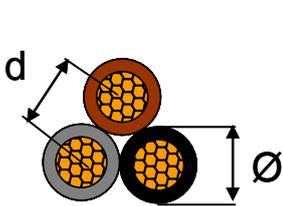


**Resistências de condutores eléctricos a diferentes temperaturas. Tabelas de resistências para cobre e alumínio. Exemplos de aplicação.**

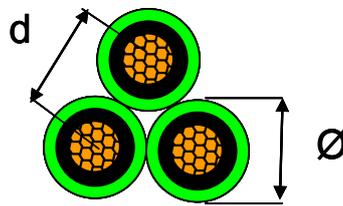
**Sabemos que a resistência eléctrica aumenta com a temperatura e isto afecta os cálculos. Tomando os dados de início da norma EN 60228 podem-se obter valores de resistências a outras temperaturas e em corrente alterna aplicando os critérios da norma IEC 60287, tendo em conta a posição dos cabos e afectando os cálculos do efeito pelicular e proximidade.**

A norma EN 60228 contempla as resistências dos condutores eléctricos a 20 °C e em corrente contínua tendo em conta a classe de condutor: classe 1 (rígido de fio único), classe 2 (rígido de vários fios), classe 5 (flexível) e classe 6 (conhecido normalmente como extra flexível).

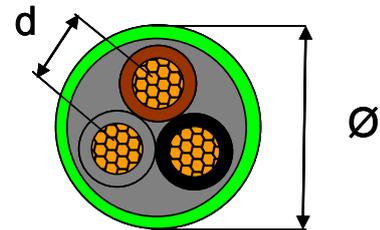
Devemos recordar que a distância entre condutores eléctricos em contacto depende de se se trata de condutor isolado ou não e em caso de ser cabo (com isolamento e bainha) se se trata de cabos unipolares ou multipolares.



Condutores isolados multipolares (com Como Afumex Plus 750 V (AS) e bainha) como de o Wirepol Flexível →  $d = \emptyset$  5G... →  $d \neq \emptyset$   
 $d = \text{diâmetro de condutor} + 2 \times \text{espessura de isolamento} = \text{espessura de isolamento} \neq \emptyset$   
 $\text{diâmetro exterior } (\emptyset)$



Cabos unipolares (com isolamento e bainha) como Afumex 1000 V (AS) ou Retenax Flex de 1x... →  $d = \emptyset$   
 $d = \text{diâmetro de condutor} + 2 \times \text{espessura de isolamento} + 2 \times \text{espessura de bainha} = \text{diâmetro exterior } (\emptyset)$



Cabos isolamento 2x, 3x, 3G, 4x, 4G,

Os valores de resistência dos condutores eléctricos são úteis para o cálculo de potência dissipada nas linhas dado que como sabemos a expressão  $P = RI^2$  expressa a perda de potência por efeito Joule num condutor. Também sabemos que para o cálculo do poder de corte das protecções se usam normalmente valores de resistência a 20 °C e para conhecer as máximas perdas possíveis por aquecimento (efeito Joule) se usam os valores da citada resistência à máxima temperatura admissível no condutor (70 °C para cabos termoplásticos e 90 °C para cabos termo estáveis).

As tabelas seguintes supõem disposição de condutores em trevo numa instalação trifásica. Ligeiras variações destes valores resultariam para outra disposição de condutores muito próximos (por exemplo três unipolares num plano em trifásico ou dois condutores muito próximos em monofásico seja cabo bipolar ou dois cabos unipolares em contacto).

Secção	Cobre (rígido, classe 1)				Cobre (rígido, classe 2)			
	Diâmetro máximo de condutor*	Resistência (cc, 20 °C)*	Resistência (ca, 70 °C)	Resistência (ca, 90 °C)	Diâmetro máximo de condutor*	Resistência (cc, 20 °C)*	Resistência (ca, 70 °C)	Resistência (ca, 90 °C)
	mm	Ω/km	Ω/km	Ω/km	mm	Ω/km	Ω/km	Ω/km
0,5	0,9	36	43,07	45,9	1,1	36		
0,75	1	24,5	29,31	31,24	1,2	24,5		
1	1,2	18,1	21,66	23,08	1,4	18,1		
1,5	1,5	12,1	14,48	15,43	1,7	12,1		
2,5	1,9	7,41	8,87	9,45	2,2	7,41		
4	2,4	4,61	5,52	5,88	2,7	4,61		
6	2,9	3,08			3,3	3,08	3,69	3,93
10	3,7	1,83			4,2	1,83	2,19	2,33
16	4,6	1,15			5,3	1,15	1,38	1,47
25	5,7	0,727			6,6	0,727	0,87	0,927
35	6,7	0,524			7,9	0,524	0,627	0,669
50	7,8	0,387			9,1	0,387	0,464	0,494
70	9,4	0,268			11	0,268	0,321	0,343
95	11	0,193			12,9	0,193	0,232	0,247
120	12,4	0,153			14,5	0,153	0,185	0,197
150	15,4	0,124			16,2	0,124	0,151	0,16
185	17,6	0,101			18	0,0991	0,121	0,129
240	19,8	0,0775			20,6	0,0754	0,094	0,099
300	22,2	0,062			23,1	0,0601	0,076	0,081

\*Valores obtidos directamente de EN 60228

Com fundo cinza figuram valores que não são de aplicação aos cabos rígidos que se comercializam normalmente. Quer dizer, os condutores rígidos são de classe 1 (Fio único) até 4 mm<sup>2</sup> e de classe 2 (vários fios) desde 6 mm<sup>2</sup> inclusive.

Secção	Cobre (flexível classes 5 ou 6)			
	Diâmetro máximo de condutor*	Resistência (cc, 20 °C)*	Resistência (ca, 70 °C)	Resistência (ca, 90 °C)
	mm	Ω/km	Ω/km	Ω/km
0,5	1,1	39	46,66	49,73
0,75	1,3	26	31,11	33,15
1	1,5	19,5	23,33	24,86
1,5	1,8	13,3	15,91	16,96
2,5	2,4	7,98	9,55	10,18
4	3	4,95	5,92	6,31
6	3,9	3,3	3,95	4,21
10	5,1	1,91	2,29	2,44
16	6,3	1,21	1,48	1,54
25	7,8	0,78	0,934	0,995
35	9,2	0,554	0,663	0,707
50	11	0,386	0,463	0,493
70	13,1	0,272	0,326	0,348
95	15,1	0,206	0,248	0,264
120	17	0,161	0,195	0,207
150	19	0,129	0,157	0,167
185	21	0,106	0,13	0,138
240	24	0,0801	0,1	0,106
300	27	0,0641	0,082	0,086

\*Valores obtidos directamente de EN 60228

Secção	Diâmetro mínimo de condutor*	Diâmetro máximo de condutor*	Alumínio (rígido, classe 2)	
			Resistência (cc, 20 °C)*	Resistência (ca, 90 °C)
	mm	mm	Ω/km	Ω/km
10	3,6	4	3,08	3,95
16	4,6	5,2	1,91	2,45
25	5,6	6,5	1,2	1,54
35	6,6	7,5	0,868	1,11
50	7,7	8,6	0,641	0,822
70	9,3	10,2	0,443	0,569
95	11	12	0,32	0,411
120	12,3	13,5	0,253	0,325
150	13,7	15	0,206	0,265
185	15,3	16,8	0,164	0,212
240	17,6	19,2	0,125	0,162
300	19,7	21,6	0,1	0,131
400	22,3	24,6	0,0778	
500	25,3	27,6	0,0605	
630	28,7	32,5	0,0469	

\*Valores obtidos directamente de EN 60228

Os cabos de alumínio normalmente comercializados são rígidos de classe 2 e com secções iguais ou maiores de 10 mm<sup>2</sup>.

Os valores de resistência a 70 e 90 °C expostos neste apartado estão calculados para umas distâncias entre condutores que podem variar minimamente em função da espessura do isolamento e/ou de bainha.

### Exemplo de aplicação 1

Calcular as perdas por aquecimento numa linha trifásica equilibrada de 83 m realizada com cabos unipolares de alumínio Al Voltalene Flamex (S) de 1x50 mm<sup>2</sup> pela qual circulam 116 A de intensidade de linha.

Como sabemos que a potência perdida numa linha por efeito Joule (aquecimento) responde à fórmula  $P = RI^2$ , ao tratar-se de uma linha trifásica devemos logicamente multiplicar por 3 ( $P = 3RI^2$ ) y obtemos o valor de I, só temos que procurar na tabela correspondente o valor de R a 90 °C para cabo de 50 mm<sup>2</sup> de alumínio →  $R = 0,822 \Omega/\text{km}$  (ao multiplica-lo pelo comprimento da linha em km obteremos o valor da resistência em  $\Omega$ ).

$$P = 3RI^2 = 3 \times 0,822 \Omega/\text{km} \times 0,083 \text{ km} \times 116^2 \text{ A}^2 = 2754 \text{ W} \approx 2,75 \text{ kW}$$

Pode-se observar que sobre dimensionar os cabos quando por cálculo domina o critério da intensidade máxima, não é nada a depreciar, 2,75 kW de perdas numa linha de menos de 100 m é uma potência perdida considerável, que vamos ter que assumir em forma de custo e além disso trata-se de uma portagem que sem ser energia útil para os receptores também provoca emissões para meio ambiente. Recomenda-se, em geral, considerar o aumento de secção.

### Exemplo de aplicação 2

Se deseja conhecer as perdas por aquecimento de uma linha monofásica de 28 m realizada com cabo Afumex 1000 V (AS) de 3G16 (cabo de cobre flexível, classe 5) pela qual circulam 94 A.

Ao tratar-se de ligação monofásica a potencia perdida será:

$$P = 2RI^2 = 2 \times 1,54 \Omega/\text{km} \times 0,028 \text{ km} \times 94^2 \text{ A}^2 = 762 \text{ W} \approx 0,76 \text{ kW}$$

Tomamos de novo o valor à máxima temperatura da resistência. Para obter o valor de resistência à temperatura real do cabo ver exemplo do item K, ponto 7 do catálogo. O resultado não diferirá muito do obtido.

Para este caso se entendemos que o cabo estava instalado em esteira perfurada, a temperatura standard ao ar é de 40 °C e a isto devemos juntar o aquecimento do cabo por efeito Joule que aumenta a resistência, quer dizer, o cabo estará cerca do valor de 90 °C. Para que isto não seja assim, deve dominar o critério da queda de tensão ou do curto-circuito nos nossos cálculos (e nesse caso o cabo aquecerá menos, já que pelo critério da intensidade máxima a secção será folgada).

Vejamos se tivéssemos suposto 70 °C no condutor que valor obteríamos:

$$P = 2RI^2 = 2 \times 1,48 \Omega/\text{km} \times 0,028 \text{ km} \times 94^2 \text{ A}^2 = 732 \text{ W} \approx 0,73 \text{ kW}$$

Muito similar ao anterior