

INSTALAÇÕES ELÉTRICAS INDUSTRIAIS

DIMENSIONAMENTO DE CONDUTORES ELÉTRICOS

INTRODUÇÃO

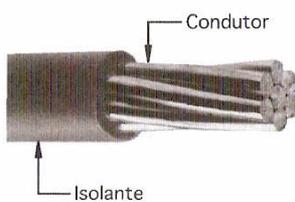
Os fatores básicos que envolvem o dimensionamento de um condutor são:

- tensão nominal;
- frequência nominal;
- potência ou corrente da carga a ser suprida;
- fator de potência da carga;
- tipo de sistema: monofásico, bifásico ou trifásico;
- método de instalação dos condutores;
- tipos de carga: iluminação, motores, capacitores, etc.;
- distância da carga ao ponto de suprimento;
- corrente de curto-circuito.

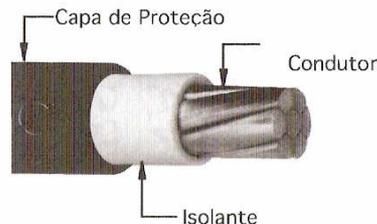
Os elementos de proteção do cabo devem estar definidos para que as sobrecargas ou sobrecorrentes não afetem a sua isolação.

FIOS E CABOS CONDUTORES

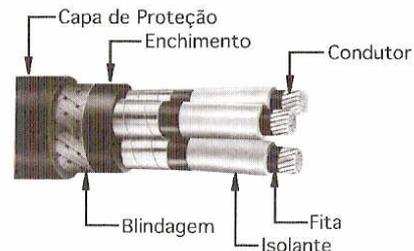
Os fios e cabos são isolados com diferentes tipos de compostos isolantes, sendo os mais empregados o **PVC** (cloreto de polivinila), o **EPR** (etileno-propileno) e o **XLPE** (polietileno reticulado), cada um com suas características químicas, elétricas e mecânicas próprias.



Cabo isolado



Cabo unipolar



Cabo tripolar

Os cabos de alta tensão têm uma constituição bem mais complexa do que os de baixa tensão, devido aos elevados gradientes de tensão de campo elétrico a que são submetidos.

A isolação dos condutores isolados é designada pelo valor nominal da tensão entre fases que suportam, padronizados pela NBR 6148 em 750 V.

A isolação dos condutores **unipolares** é designada pelos valores nominais das tensões que suportam, respectivamente, entre fase e terra e entre fases, padronizados pela NBR 6251 em 0,6 / 1 kV para fios e cabos de baixa tensão e em 3,6 / 6 kV – 6 / 10 – 8,7 / 15 e 12 / 20 kV para cabos de média tensão.

SISTEMAS DE DISTRIBUIÇÃO

Depende da grandeza da carga da instalação e do seu tipo.

Sistema monofásico a dois condutores (F – N)

Sistema utilizado em instalações residenciais e em pequenos prédios comerciais.

Sistema monofásico a três condutores

Empregado em pequenas instalações comerciais e residenciais, onde há carga de iluminação e motores.

Sistema trifásico a três condutores (3F)

Utilizado onde os motores representam a carga preponderante.

Sistema trifásico a quatro condutores (3F – N)

É o mais utilizado em instalações elétricas industriais. Normalmente é utilizada a configuração estrela com o ponto neutro aterrado. Na prática, podem-se ter os seguintes níveis de tensão:

- a quatro condutores: 220Y/127Δ; 380Y/220 Δ; 440Y/254 Δ; 208Y/120 Δ.
- a três condutores: 440; 380. 220
- a dois condutores: 127; 220.

SISTEMAS DE ATERRAMENTO

Tem a finalidade de proteger a instalação e seus usuários por meio de uma ligação à terra, para que a corrente elétrica flua sem riscos. [A NBR 5419/2001 estabelece que a resistência de terra deva ficar abaixo de 10 ohms.](#)

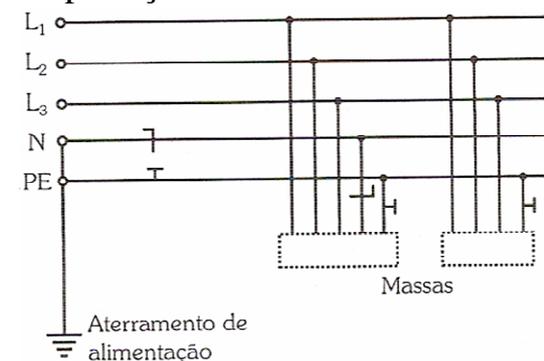
Conforme a NBR 5410/2004 existem cinco esquemas de aterramento de sistemas elétricos trifásicos.

Esquema TN

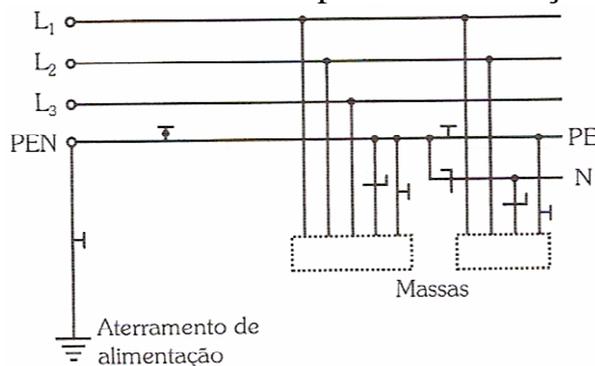
Possui um ponto de alimentação diretamente aterrado, sendo as massas ligas a esse ponto através de condutores de proteção. Existem três variantes deste esquema, de acordo com a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção.

Esquema TN-S

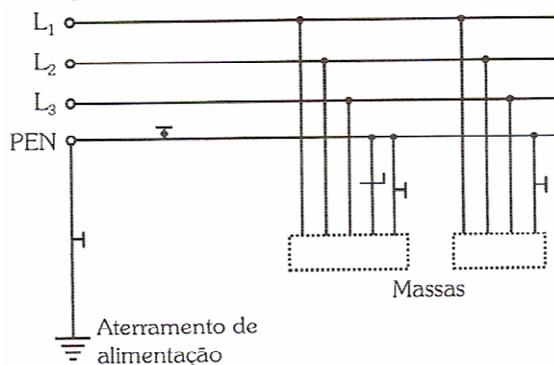
O condutor neutro e o condutor de proteção são distintos.



Esquema TN-C-S – o condutor neutro e o condutor de proteção são combinados em um único condutor em uma parte da instalação.



Esquema TN-C – as funções do neutro e de proteção são combinadas em um único condutor ao longo de toda a instalação.



Significado das letras:

Primeira letra – situação da alimentação em relação a terra

T – um ponto diretamente aterrado;

I – isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de uma impedância.

Segunda letra – situação das massas em relação a terra

T – massas diretamente aterradas

N – massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado.

Etc..

CRITÉRIOS BÁSICOS PARA DIVISÃO DE CIRCUITOS

Toda instalação deve ser dividida, de acordo com as necessidades em vários circuitos,

- para evitar qualquer perigo e limitar as conseqüências de uma falta;
- para facilitar as verificações e os ensaios;
- para evitar os inconvenientes de se ter apenas um circuito.

– Cada circuito deve ser dividido de forma a evitar o risco de realimentação inadvertida através de outro circuito.

– Os circuitos devem ser individualizados em função dos equipamentos que alimentam.

– Nas instalações alimentadas com duas ou três fases, as cargas devem ser distribuídas entre as fases de modo a se obter o maior equilíbrio possível.

CRITÉRIOS PARA DIMENSIONAMENTO DA SEÇÃO MÍNIMA DO CONDUTOR FASE

A seção mínima dos condutores elétricos deve satisfazer, simultaneamente, aos três critérios seguintes;

Critério da capacidade de corrente

Consiste em determinar o valor da corrente máxima que percorrerá o condutor e, de acordo com o método de instalação, procurar a sua seção nominal em tabelas.

Limites de queda de tensão de acordo com a NBR5410/2004

Critério da capacidade de corrente de curto-circuito

Dimensionada a seção do condutor pela capacidade de corrente, é necessário saber se esta seção provoca uma queda de tensão de acordo com valores máximos.

Admitem-se duas possibilidades:

- limitação da seção do condutor para uma determinada corrente de curto-circuito;
- limitação do comprimento do circuito em função da corrente de curto-circuito fase-terra.

Influenciam, na definição da seção do condutor, além da potência consumida pela carga, o método de instalação dos cabos.

TABELA 01 – MÉTODOS DE INSTALAÇÃO

| Referência | Descrição |
|-------------------|--|
| A1 | Condutores isolados em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante |
| A2 | Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante |
| B1 | Condutores isolados em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira |
| B2 | Cabo multipolar em eletroduto de seção circular sobre parede de madeira |
| C | Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede de madeira |
| D | Cabo multipolar em eletroduto enterrado no solo |
| E | Cabo multipolar ao ar livre |
| F | Cabos unipolares justapostos (na horizontal, na vertical ou em trifólio) ao ar livre |
| G | Cabos unipolares espaçados ao ar livre |

TABELA 02 – TIPOS DE LINHAS ELÉTRICAS

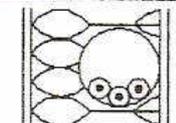
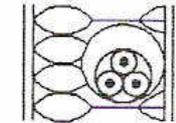
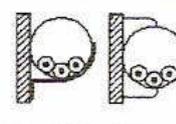
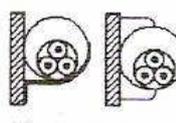
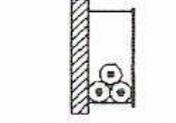
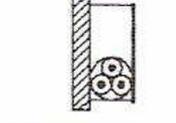
| Método de instalação número | Esquema Ilustrativo | Descrição | Método de referência para a capacidade de condução de corrente (1) |
|-----------------------------|---|--|--|
| 1 |  | Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante (2) | A1 |
| 2 |  | Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante (2) | A2 |
| 3 |  | Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente e de seção circular sobre parede ou espaçada da mesma (3) | B1 |
| 4 |  | Cabo multipolar em eletroduto de seção circular sobre parede ou espaçada da mesma (3) | B2 |
| 5 |  | Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede | B1 |
| 6 |  | Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção não-circular sobre parede | B2 |

TABELA 03 – CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE P/ OS MÉTODOS DE INSTALAÇÃO A1, A2, B1, B2, C e D (isolação PVC)

| Métodos de referência | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|
| Seções (mm²) | A1 | | A2 | | B1 | | B2 | | C | | D | |
| | CONDUTORES CARREGADOS | | CONDUTORES CARREGADOS | | CONDUTORES CARREGADOS | | CONDUTORES CARREGADOS | | CONDUTORES CARREGADOS | | CONDUTORES CARREGADOS | |
| | 2 | 3 |
| Condutor de Cobre | | | | | | | | | | | | |
| 0.5 | 7 | 7 | 7 | 7 | 9 | 8 | 9 | 8 | 10 | 9 | 12 | 10 |
| 0.75 | 9 | 9 | 9 | 9 | 11 | 10 | 11 | 10 | 13 | 11 | 15 | 12 |
| 1 | 11 | 10 | 11 | 10 | 14 | 12 | 13 | 12 | 15 | 14 | 18 | 15 |
| 1,5 | 14,5 | 13,5 | 14 | 13 | 17,5 | 15,5 | 16,5 | 15 | 19,5 | 17,5 | 22 | 18 |
| 2,5 | 19,5 | 18 | 18,5 | 17,5 | 24 | 21 | 23 | 20 | 27 | 24 | 29 | 24 |
| 4 | 26 | 24 | 25 | 23 | 32 | 28 | 30 | 27 | 36 | 32 | 38 | 31 |
| 6 | 34 | 31 | 32 | 29 | 41 | 36 | 38 | 34 | 46 | 41 | 47 | 39 |
| 10 | 46 | 42 | 43 | 39 | 57 | 50 | 52 | 46 | 63 | 57 | 63 | 52 |
| 16 | 61 | 56 | 57 | 52 | 76 | 68 | 69 | 62 | 85 | 76 | 81 | 67 |
| 25 | 80 | 73 | 75 | 68 | 101 | 89 | 90 | 80 | 112 | 96 | 104 | 86 |
| 35 | 99 | 89 | 92 | 83 | 125 | 110 | 111 | 99 | 138 | 119 | 125 | 103 |
| 50 | 119 | 108 | 110 | 99 | 151 | 134 | 133 | 118 | 168 | 144 | 148 | 122 |
| 70 | 151 | 136 | 139 | 125 | 192 | 171 | 168 | 149 | 213 | 184 | 183 | 151 |
| 95 | 182 | 164 | 167 | 150 | 232 | 207 | 201 | 179 | 258 | 223 | 216 | 179 |
| 120 | 278 | 249 | 253 | 227 | 354 | 312 | 305 | 268 | 382 | 322 | 287 | 240 |
| 150 | 318 | 285 | 290 | 259 | 407 | 358 | 349 | 307 | 441 | 371 | 324 | 271 |

Condutores isolados, cabos unipolares e multipolares, 2 e 3 condutores carregados, **temperatura no condutor 70°C** e temperatura ambiente 30°C.

MÉTODOS DE INSTALAÇÃO A1, A2, B1, B2, C, e D (isolação EPR ou XLPE)

| Métodos de referência | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|-----------------------|----------|
| Seções (mm²) | A1 | | A2 | | B1 | | B2 | | C | | D | |
| | CONDUTORES CARREGADOS | | CONDUTORES CARREGADOS | | CONDUTORES CARREGADOS | | CONDUTORES CARREGADOS | | CONDUTORES CARREGADOS | | CONDUTORES CARREGADOS | |
| | 2 | 3 |
| Condutor de Cobre | | | | | | | | | | | | |
| 0,5 | 10 | 9 | 10 | 9 | 12 | 10 | 11 | 10 | 12 | 11 | 14 | 12 |
| 0,75 | 12 | 11 | 12 | 11 | 15 | 13 | 15 | 13 | 16 | 14 | 18 | 15 |
| 1 | 15 | 13 | 14 | 13 | 18 | 16 | 17 | 15 | 18 | 17 | 21 | 17 |
| 1,5 | 19 | 17 | 18,5 | 16,5 | 23 | 20 | 22 | 19,5 | 24 | 22 | 26 | 22 |
| 2,5 | 26 | 23 | 25 | 22 | 31 | 28 | 30 | 26 | 33 | 30 | 34 | 29 |
| 4 | 35 | 31 | 33 | 30 | 42 | 37 | 40 | 35 | 45 | 40 | 44 | 37 |
| 6 | 45 | 40 | 42 | 38 | 54 | 48 | 51 | 44 | 58 | 52 | 56 | 46 |
| 10 | 61 | 54 | 57 | 51 | 75 | 66 | 69 | 60 | 80 | 71 | 73 | 61 |
| 16 | 81 | 73 | 76 | 68 | 100 | 88 | 91 | 80 | 107 | 96 | 95 | 79 |
| 25 | 106 | 95 | 99 | 89 | 133 | 117 | 119 | 105 | 138 | 119 | 121 | 101 |
| 35 | 131 | 117 | 121 | 109 | 164 | 144 | 146 | 128 | 171 | 147 | 146 | 122 |
| 50 | 158 | 141 | 145 | 180 | 198 | 175 | 175 | 154 | 209 | 179 | 173 | 144 |
| 70 | 200 | 179 | 183 | 161 | 253 | 222 | 221 | 194 | 269 | 229 | 213 | 178 |
| 95 | 241 | 216 | 220 | 197 | 306 | 269 | 265 | 233 | 328 | 278 | 252 | 211 |
| 120 | 278 | 249 | 253 | 227 | 354 | 312 | 305 | 268 | 382 | 322 | 287 | 240 |
| 150 | 318 | 285 | 290 | 259 | 407 | 358 | 349 | 307 | 441 | 371 | 324 | 271 |

Condutores isolados, cabos unipolares e multipolares, 2 e 3 condutores carregados, **temperatura no condutor 90°C** e temperatura ambiente 30°C.

Cálculo da corrente em circuitos monofásicos

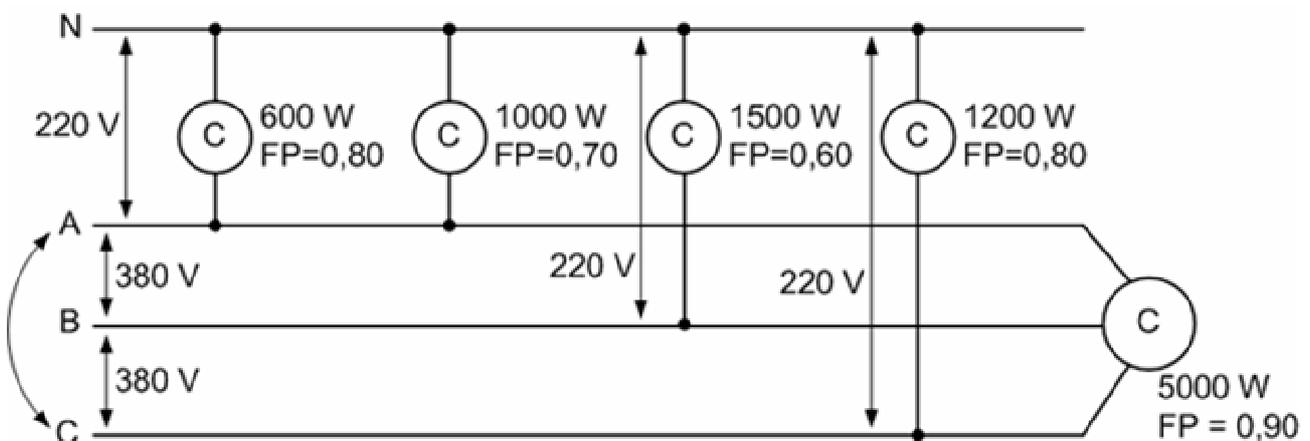
$$I_{\text{CARGA}} = \frac{\text{Demanda}_{\text{CARGA}}}{\text{Tensão}_{\text{FASE-NEUTRO}} \times \cos \varphi}$$

Cálculo da corrente em circuitos trifásicos

$$I_{\text{CARGA}} = \frac{\text{Potência}_{\text{ativa}}_{\text{CARGA}}}{\sqrt{3} \times \text{Tensão}_{\text{FASE-FASE}} \times \cos \varphi}$$

EXEMPLO DE APLICAÇÃO 01

Determinar a seção dos condutores fase do circuito trifásico mostrado na figura a seguir. Serão utilizados cabos em PVC dispostos em eletroduto aparente.



$$I_{\text{an}} = \frac{600}{220 \times 0,80} + \frac{1000}{220 \times 0,70} = 9,9 \text{ A}$$

$$I_{\text{bn}} = \frac{1500}{220 \times 0,60} = 11,3 \text{ A}$$

$$I_{\text{cn}} = \frac{1200}{220 \times 0,80} = 6,8 \text{ A}$$

$$I_{\text{abc}} = \frac{5000}{\sqrt{3} \times 380 \times 0,90} = 8,4 \text{ A}$$

I_{an} , I_{bn} , I_{cn} – correntes das cargas monofásicas.

Considerando-se a corrente da fase de maior carga, tem-se:

$$I_{\text{b}} = I_{\text{bn}} + I_{\text{abc}} = 11,3 + 8,4 = 19,7 \text{ A}$$

I_{b} – corrente de carga da fase B que deve corresponder à capacidade mínima de corrente do condutor.

Então $S_{\text{a}} = S_{\text{b}} = S_{\text{c}} = 3 \# 2,5 \text{ mm}^2$, de acordo com a Tabela 03, coluna B1 – 3 condutores carregados – justificado pela Tabela 02, método de instalação 3.

CIRCUITOS PARA LIGAÇÃO DE MOTORES

São caracterizados por circuitos trifásicos a três condutores (3F).

A capacidade mínima de corrente do condutor deve ser igual ao valor da corrente nominal multiplicado pelo fator de serviço do motor.

$$I_{CABO} = \text{Fator_de_serviço} \times I_{NOMINAL \text{ MOTOR}}$$

Em um agrupamento de motores a capacidade mínima do condutor deve ser igual à soma das correntes de carga de todos os motores, considerando-se todos os respectivos fatores de serviço.

$$I_{CABO} = \sum_{i=1}^n \text{Fator_de_serviço}_i \times I_{NOMINAL_MOTOR_i}$$

Quando os motores possuírem fatores de potência muito diferentes, o valor de I_{CABO} deverá ser calculado levando-se em consideração a soma vetorial dos componentes ativo e reativo desses motores.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO 02

Determinar a seção dos condutores isolados em PVC que alimentam um CCM (centro de controle de motores) que controla três motores de 40 cv e quatro motores de 15 cv, todos de IV polos, ligados na tensão de 380 V e com fatores de serviço unitários e com fatores de serviço=1,15.

| Potência nominal | Potência ativa | Corrente nominal | | Velocidade em rpm | Fator de potência | Relação Inp/In | Relação Cp/Cn | Conjugado nominal | Rotor bloqueado | Rendimento | Momento de inércia |
|------------------|----------------|------------------|-------|-------------------|-------------------|----------------|---------------|-------------------|-----------------|------------|--------------------|
| cv | kW | 220 V | 380 V | | | | % | mkgf | s | % | kgm ² |
| II polos | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,7 | 3,3 | 1,9 | 3.440 | 0,76 | 6,2 | 180,0 | 0,208 | 7,1 | 0,81 | 0,0016 |
| 3 | 2,2 | 9,2 | 5,3 | 3.490 | 0,76 | 8,3 | 180,0 | 0,619 | 6,0 | 0,82 | 0,0023 |
| 5 | 4 | 13,7 | 7,9 | 3.490 | 0,83 | 9,0 | 180,0 | 1,020 | 6,0 | 0,83 | 0,0064 |
| 7,5 | 5,5 | 19,2 | 11,5 | 3.480 | 0,83 | 7,4 | 180,0 | 1,540 | 6,0 | 0,83 | 0,0104 |
| 10 | 7,5 | 28,6 | 16,2 | 3.475 | 0,85 | 6,7 | 180,0 | 2,050 | 6,0 | 0,83 | 0,0179 |
| 15 | 11 | 40,7 | 23,5 | 3.500 | 0,82 | 7,0 | 180,0 | 3,070 | 6,0 | 0,83 | 0,0229 |
| 20 | 15 | 64,0 | 35,5 | 3.540 | 0,73 | 6,8 | 250,0 | 3,970 | 6,0 | 0,83 | 0,0530 |
| 25 | 18,5 | 69,0 | 38,3 | 3.540 | 0,82 | 6,8 | 300,0 | 4,960 | 6,0 | 0,86 | 0,0620 |
| 30 | 22 | 73,0 | 40,5 | 3.535 | 0,88 | 6,3 | 170,0 | 5,960 | 6,0 | 0,89 | 0,2090 |
| 40 | 30 | 98,0 | 54,4 | 3.525 | 0,89 | 6,8 | 220,0 | 7,970 | 9,0 | 0,90 | 0,3200 |
| 50 | 37 | 120,0 | 66,6 | 3.540 | 0,89 | 6,8 | 190,0 | 9,920 | 10,0 | 0,91 | 0,3330 |
| 60 | 45 | 146,0 | 81,0 | 3.545 | 0,89 | 6,5 | 160,0 | 11,880 | 18,0 | 0,91 | 0,4440 |
| 75 | 55 | 178,0 | 98,8 | 3.550 | 0,89 | 6,9 | 170,0 | 14,840 | 16,0 | 0,92 | 0,4800 |
| 100 | 75 | 240,0 | 133,2 | 3.560 | 0,90 | 6,8 | 140,0 | 19,720 | 11,0 | 0,93 | 0,6100 |
| 125 | 90 | 284,0 | 158,7 | 3.570 | 0,90 | 6,5 | 150,0 | 24,590 | 8,9 | 0,93 | 1,2200 |
| 150 | 110 | 344,0 | 190,9 | 3.575 | 0,90 | 6,8 | 160,0 | 29,460 | 27,0 | 0,93 | 1,2700 |
| IV polos | | | | | | | | | | | |
| 1 | 0,7 | 3,8 | 2,2 | 1.715 | 0,65 | 5,7 | 200,0 | 0,420 | 6,0 | 0,81 | 0,0016 |
| 3 | 2,2 | 9,5 | 5,5 | 1.720 | 0,73 | 6,6 | 200,0 | 1,230 | 6,0 | 0,82 | 0,0080 |
| 5 | 4 | 13,7 | 7,9 | 1.720 | 0,83 | 7,0 | 200,0 | 2,070 | 6,0 | 0,83 | 0,0091 |
| 7,5 | 5,5 | 20,6 | 11,9 | 1.735 | 0,81 | 7,0 | 200,0 | 3,100 | 6,0 | 0,84 | 0,0177 |
| 10 | 7,5 | 26,6 | 15,4 | 1.740 | 0,85 | 6,6 | 190,0 | 4,110 | 8,3 | 0,86 | 0,0328 |
| 15 | 11 | 45,0 | 26,0 | 1.760 | 0,75 | 7,8 | 195,0 | 6,120 | 8,1 | 0,86 | 0,0433 |
| 20 | 15 | 52,0 | 28,8 | 1.760 | 0,86 | 6,8 | 220,0 | 7,980 | 7,0 | 0,88 | 0,0900 |
| 25 | 18,5 | 64,0 | 35,5 | 1.760 | 0,84 | 6,7 | 230,0 | 9,970 | 6,0 | 0,90 | 0,1010 |
| 30 | 22 | 78,0 | 43,3 | 1.760 | 0,83 | 6,8 | 235,0 | 11,970 | 9,0 | 0,90 | 0,2630 |
| 40 | 30 | 102,0 | 56,6 | 1.760 | 0,85 | 6,7 | 215,0 | 15,960 | 10,0 | 0,91 | 0,4050 |
| 50 | 37 | 124,0 | 68,8 | 1.760 | 0,86 | 6,4 | 300,0 | 19,950 | 12,0 | 0,92 | 0,4440 |
| 60 | 45 | 150,0 | 83,3 | 1.765 | 0,86 | 6,7 | 195,0 | 23,870 | 12,0 | 0,92 | 0,7900 |
| 75 | 55 | 182,0 | 101,1 | 1.770 | 0,86 | 6,8 | 200,0 | 29,750 | 15,0 | 0,92 | 0,9000 |
| 100 | 75 | 244,0 | 135,4 | 1.770 | 0,87 | 6,7 | 200,0 | 39,670 | 8,3 | 0,92 | 1,0600 |
| 125 | 90 | 290,0 | 160,9 | 1.780 | 0,87 | 6,5 | 250,0 | 49,310 | 14,0 | 0,94 | 2,1000 |
| 150 | 110 | 350,0 | 194,2 | 1.780 | 0,87 | 6,8 | 270,0 | 59,170 | 13,0 | 0,95 | 2,5100 |
| 180 | 132 | 420,0 | 233,1 | 1.785 | 0,87 | 6,5 | 230,0 | 70,810 | 11,0 | 0,95 | 2,7300 |
| 200 | 150 | 470,0 | 271,2 | 1.785 | 0,87 | 6,9 | 230,0 | 80,000 | 17,0 | 0,95 | 2,9300 |
| 220 | 160 | 510,0 | 283,0 | 1.785 | 0,87 | 6,5 | 250,0 | 86,550 | 15,0 | 0,95 | 3,1200 |
| 250 | 185 | 590,0 | 327,4 | 1.785 | 0,87 | 6,8 | 240,0 | 95,350 | 15,0 | 0,95 | 3,6900 |

Com base na tabela anterior, o valor mínimo da capacidade do cabo é:

$$I_{\text{CABO}} = 3 \times 56,6 + 4 \times 26 \Rightarrow I_{\text{CABO}} = 273,8 \text{ A}$$

Considerando que os condutores isolados estão em eletroduto no interior de canaleta fechada, da Tabela 03, justificado pela Tabela 3.2 – método de instalação 42 (ver livro) a seção dos condutores fase será:

$$S_{\text{CABO}} = 3 \# 150 \text{ mm}^2$$

Considerações adicionais

- O dimensionamento dos condutores deve permitir uma queda de tensão na partida dos motores igual ou inferior a 10% da sua tensão nominal.
- Quando o tempo de aceleração do motor for superior a 5 s, deve-se levar em consideração o aquecimento do condutor durante a partida.
- Condutores que alimentam motores que requeiram partidas constantes devem ter seção transversal aumentada.

Fatores de correção de corrente

- **Temperatura ambiente** – a NBR5410/2004 estabelece 20°C para linhas subterrâneas e 30°C para linhas não-subterrâneas. Valores diferentes destes devem ser corrigidos de acordo com tabelas de correção.
- **Resistividade térmica do solo** – as capacidades de condução de corrente são especificadas para uma resistividade térmica do solo de 2,5 K.m/W. Valores diferentes destes devem ser corrigidos de acordo com tabelas de correção.
- **Agrupamentos de circuitos** – quando for instalado num mesmo grupo um número maior de condutores devem ser aplicados fatores de correção, já tabelados.

Condutores em paralelo

Dois ou mais condutores podem ser ligados em paralelo na mesma fase quando:

1. a seção for superior a 50 mm²;
2. a corrente se dividir igualmente nos condutores;
3. os condutores forem feitos do mesmo material.

Seção dos condutores na presença de harmônicos

O valor da corrente de fase corrigido para a determinação da seção dos condutores é:

$$I_{\text{FASE_CORRIGIDO}} = \frac{I_{\text{CARGA}}}{\text{FATOR_CORREÇÃO}}$$

| Porcentagem de 3. ^a Harmônica na corrente de fase | Fator de correção | |
|--|---|---|
| | Escolha da seção com base na corrente de fase | Escolha da seção com base na corrente de neutro |
| 0-15 | 1,00 | - |
| 15-33 | 0,86 | - |
| 33-45 | - | 0,86 |
| > 45 | - | 1,00 |

O valor da corrente que irá circular no neutro pode ser calculado por;

$$I_{NEUTRO} = \frac{3 \times I_{CARGA} \times \text{Percentual_harmônica_3ª_ordem}}{100 \times \text{FATOR_CORREÇÃO}}$$

EXEMPLO DE APLICAÇÃO 02

Se uma carga cuja corrente é de 80 A contém 37 % de corrente harmônica de 3ª ordem, o valor da corrente de neutro do circuito será:

$$I_{NEUTRO} = \frac{3 \times 80 \times 37}{100 \times 0,86} \Rightarrow I_{NEUTRO} = 103,2 \text{ A}$$

CONDUTORES PRIMÁRIOS

Utilizados em instalações industriais nas tensões superiores a 1 kV.

Normalmente encaminhas por via subterrânea entre a rede de distribuição aérea da concessionária e a subestação consumidora da instalação.

O dimensionamento da seção de condutores primários é feito com base na capacidade de condução de corrente dos condutores

Capacidade de condução de corrente – cabos PVC – 8,7 / 15 kV e 12 / 20kV

| Seção nominal em mm ² | Em dutos subterrâneos | | | | Ao ar livre | | |
|----------------------------------|-----------------------|---------|---------|---------|-------------|-----|-----|
| | 3 cabos | 3 cabos | 6 cabos | 9 cabos | | | |
| 25 | 119 | 138 | 119 | 97 | 151 | 154 | 126 |
| 35 | 143 | 165 | 142 | 116 | 185 | 185 | 154 |
| 50 | 174 | 200 | 171 | 140 | 229 | 224 | 190 |
| 70 | 210 | 239 | 203 | 167 | 281 | 170 | 233 |
| 95 | 248 | 282 | 237 | 197 | 338 | 318 | 280 |
| 120 | 282 | 318 | 268 | 224 | 390 | 361 | 323 |
| 150 | 319 | 357 | 299 | 251 | 449 | 407 | 371 |
| 185 | 358 | 398 | 332 | 280 | 512 | 454 | 421 |
| 240 | 411 | 454 | 376 | 320 | 601 | 521 | 493 |
| 300 | 462 | 498 | 410 | 357 | 690 | 578 | 562 |
| 400 | 533 | 569 | 466 | 408 | 823 | 663 | 664 |
| 500 | 592 | 628 | 512 | 451 | 943 | 735 | 753 |

CRITÉRIO DO LIMITE DE QUEDA DE TENSÃO

Após o dimensionamento do condutor pela capacidade de corrente de carga é necessário saber se esta seção está apropriada para provocar uma queda de tensão no ponto terminal do circuito, de acordo com a NBR5410.

| Tipo da instalação | Iluminação | Outros usos |
|--|------------|-------------|
| A - Instalações alimentadas diretamente por um ramal de baixa tensão, a partir de uma rede de distribuição pública de baixa tensão | 4% | 4% |
| B - Instalações alimentadas diretamente por subestação transformadora, a partir de uma instalação de alta tensão | 7% | 7% |
| C - Instalações que possuam fonte própria | 7% | 7% |

A queda de tensão entre a origem da instalação e qualquer ponto de utilização deve ser igual ou inferior aos valores da tabela anterior.

Queda de tensão em circuitos monofásicos

A seção do condutor será dada por:

$$S_{\text{CONDUTOR}} = \frac{200 \times \rho \times \Sigma(L_C \times I_C)}{\Delta V\% \times V_{\text{FN}}}$$

Onde: ρ = resistividade do material condutor (para o cobre – $1/56 \Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$).

L_C = comprimento do circuito, em m.

I_C = corrente total do circuito, em A.

$\Delta V\%$ = queda de tensão máxima admitida em projeto, em %.

V_{FN} = tensão fase-neutro.

Queda de tensão em circuitos trifásicos

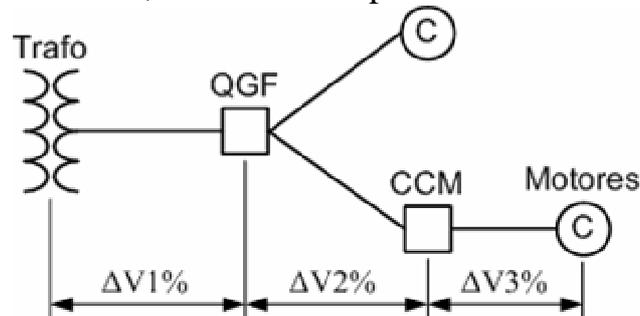
A seção do condutor será dada por:

$$S_{\text{CONDUTOR}} = \frac{173,2 \times \rho \times \Sigma(L_{\text{CONDUTOR}} \times I_{\text{CONDUTOR}})}{\Delta V\% \times V_{\text{FF}}}$$

Onde: V_{FF} = tensão fase-fase.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO 03

Calcular a seção do condutor do QGF ao CCM da figura abaixo, sabendo-se que a carga é composta de 10 motores de 10 cv, 4 pólos, 380 V, fator de serviço unitário e o comprimento do circuito é de 150 m. Adotar o condutor isolado em PVC, instalado no interior de eletrodo de PVC, embutido em parede de alvenaria.



A corrente na carga vale:

$$I_{\text{CARGA}} = 10 \times 15,4 = 154,0 \text{ A}$$

A seção mínima do condutor vale:

$S_{\text{CONDUTOR}} = 3 \# 70 \text{ mm}^2$ (Tab. 03 – coluna B1 – justificado pela Tab. 02 – método de instalação 7).

A seção mínima do condutor para uma queda de tensão máxima de 3 % vale:

$$S_{\text{CONDUTOR}} = \frac{173,2 \times \rho \times \Sigma(L_{\text{CONDUTOR}} \times I_{\text{CONDUTOR}})}{\Delta V\% \times v_{\text{FASE_FASE}}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times 150 \times 154}{3 \times 380}$$

$$S_{\text{CONDUTOR}} = 62,6 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{CONDUTOR}} = 3\#70 \text{ mm}^2$$

Quando já se conhece a seção transversal dos condutores, a queda de tensão pode ser calculada por:

$$\Delta V\% = \frac{100 \times D_C \times L_C \times (R \cos \varphi + X \text{sen} \varphi)}{V_{FF}^2} (\%)$$

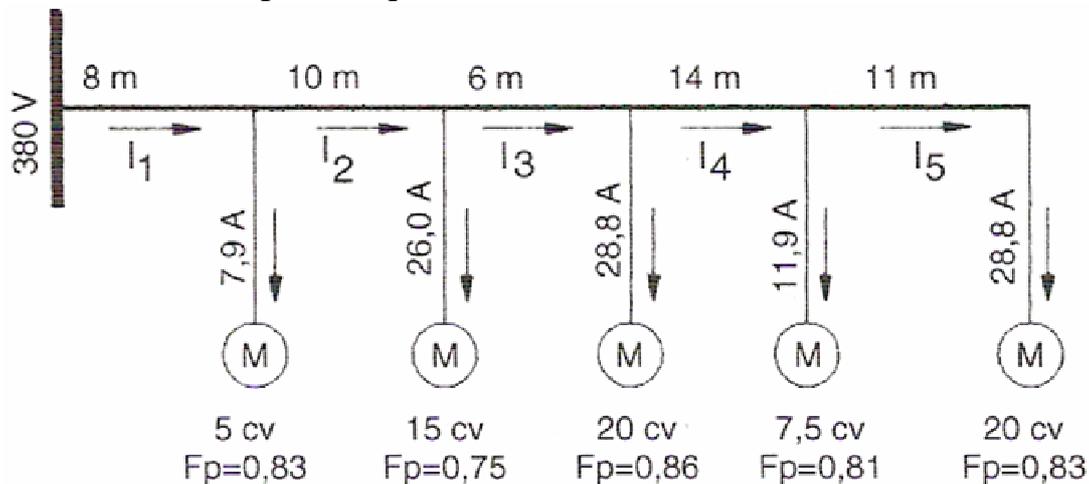
Onde: D_C = demanda da carga, em kVA.

R = resistência do condutor, em $m\Omega / m$.

X = reatância do condutor, em $m\Omega / m$.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO 04

Determinar a seção do condutor do circuito mostrado abaixo, sabendo-se que serão utilizados condutores unipolares isolados em XLPE, dispostos no interior de canaleta ventilada construída no piso. A queda de tensão admitida é de 4%



$$I_5 = 28,8 \text{ A}$$

$$I_4 = 28,8 + 11,9 = 40,7 \text{ A}$$

$$I_3 = 28,8 + 11,9 + 28,8 = 69,5 \text{ A}$$

$$I_2 = 28,8 + 11,9 + 28,8 + 26,0 = 95,5 \text{ A}$$

$$I_1 = 28,8 + 11,9 + 28,8 + 26,0 + 7,9 = 103,4 \text{ A}$$

Seção do condutor = 25 mm^2 (Tab. 03 – coluna B1 – justif. pela Tab 02 – inst. 43).

Pelo critério da queda de tensão, tem-se:

$$S_{\text{CONDUTOR}} = \frac{173,2 \times \rho \times \Sigma(L_{\text{CONDUTOR}} \times I_{\text{CONDUTOR}})}{\Delta V\% \times V_{FF}}$$

$$S_{\text{CONDUTOR}} = \frac{173,2 \times (1/56) \times (7,9 \times 8) + (26 \times 18) + (28,8 \times 24) + (11,9 \times 38) + (28,8 \times 49)}{4 \times 380}$$

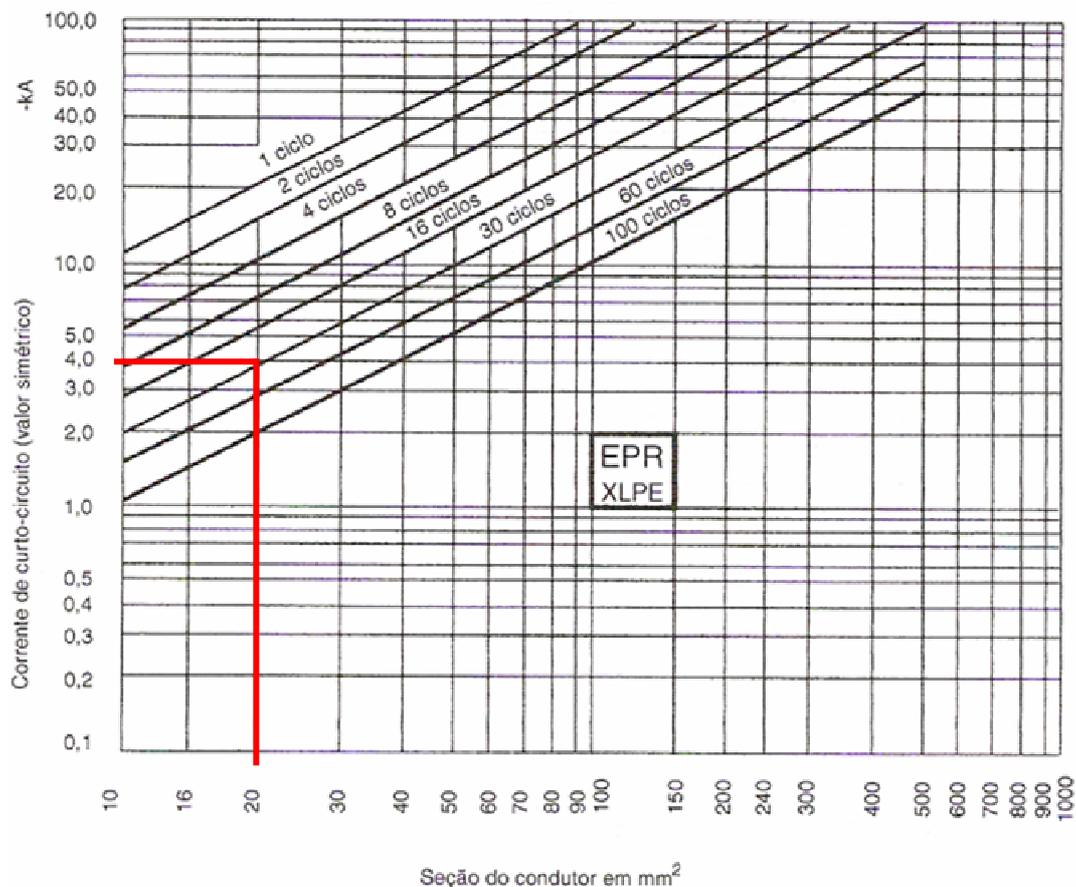
$$S_{\text{CONDUTOR}} = 6,27 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{CONDUTOR}} = 3\#10 \text{ mm}^2$$

Portanto o condutor escolhido pelo método da capacidade de corrente também atende ao critério da queda de tensão.

CRITÉRIO DA CAPACIDADE DE CORRENTE DE CURTO-CIRCUITO

Neste critério existem duas possibilidades para o dimensionamento da seção do condutor de fase.

1. Limitação da seção do condutor para uma determinada corrente de curto-circuito – os efeitos térmicos de um curto-circuito podem afetar o isolamento do condutor. O gráfico abaixo permite determinar:
 - a) a máxima corrente de curto-circuito admissível num cabo;
 - b) a seção do condutor necessária para suportar uma condição de curto-circuito;
 - c) o tempo máximo que o condutor pode funcionar com uma determinada corrente de curto-circuito.



As curvas acima se baseiam na seguinte equação:

$$S_C = \frac{\sqrt{T_e} \times I_{CS}}{0,34 \times \sqrt{\log\left(\frac{234 + T_f}{234 + T_i}\right)}}$$

Onde: I_{CS} = corrente simétrica de curto-circuito, em kA.

T_e = tempo de eliminação do defeito, em s.

T_f = temperatura máxima de curto-circuito suportada pela isolação do condutor, em °C.

T_i = temperatura máxima admissível pelo condutor em regime normal de operação, em °C.

T_f e T_i são fixados em norma e valem 160°C e 70°C, respectivamente, para o **PVC** e 250°C e 90°C para o **XLPE**.

EXEMPLO DE APLICAÇÃO 05

Considere o exemplo 04, onde foi utilizado um cabo de 25 mm² / XLPE. Sabe-se que é de 0,5 s (≈ 30 ciclos) o tempo de eliminação pelo fusível, de um curto simétrico de 4 kA no ex-tremo do circuito. Determinar a seção mínima do condutor.

$$S_C = \frac{\sqrt{T_e} \times I_{CS}}{0,34 \times \sqrt{\log\left(\frac{234 + T_f}{234 + T_i}\right)}} = \frac{\sqrt{0,5} \times 4}{0,34 \times \sqrt{\log\left(\frac{234 + 250}{234 + 90}\right)}} = 19,9 \text{ mm}^2$$

Utilizando o gráfico anterior chega-se ao mesmo resultado.

CRITÉRIO PARA DIMENSIONAMENTO DA SEÇÃO MÍNIMA DO CONDUTOR NEUTRO

A NBR5410/2004 estabelece que:

- a) o condutor neutro deverá possuir a mesma seção dos condutores fase, nos seguintes casos:
 - em circuitos monofásicos a dois e três condutores e bifásicos a três condutores, qualquer que seja a seção do condutor fase;
 - em circuitos trifásicos, quando a seção dos condutores fase for inferior ou igual à 25 mm², em cobre;
 - em circuitos trifásicos, quando for prevista a presença de harmônicos, qualquer que seja a seção do condutor fase.
- b) Nos circuitos trifásicos a seção do condutor neutro pode ser inferior à dos condutores fase sem ser inferior aos valores indicados na tabela abaixo, em função da seção dos condutores fase, quando as duas condições seguintes forem simultaneamente atendidas.
 - a soma das potências absorvidas pelos equipamentos de utilização alimentados entre cada fase e o neutro não for superior a 10 % da potência total transportada pelo circuito.
 - a máxima corrente suscetível de percorrer o condutor neutro, em serviço normal, incluindo harmônicos, for inferior à capacidade de condução de corrente correspondente à seção reduzida do neutro.
- c) Em nenhuma circunstância o condutor neutro poderá ser comum a vários circuitos.

| Seção dos condutores fase (mm ²) | Seção mínima do condutor (mm ²) |
|--|---|
| S ≤ 25 | S |
| 35 | 25 |
| 50 | 25 |
| 70 | 35 |
| 95 | 50 |
| 120 | 70 |
| 150 | 70 |
| 185 | 95 |
| 240 | 120 |
| 300 | 150 |
| 500 | 185 |

BARRAMENTOS

Utilizados para o transporte de grandes quantidades de corrente.

Pode-se usá-lo apoiado sobre isoladores apropriados ou no interior de calhas ventiladas ou fechadas (barramentos blindados). A tabela abaixo fornece as capacidade de corrente para barramento em cobre nu ou barramento blindado.

| Dimensões | | Corrente | Resistência | Reatância |
|--------------|---------------|----------|-------------|-----------|
| Polegadas | Milímetros | (A) | mOhm/m | mOhm/m |
| 1/2 × 1/16 | 12,7 × 1,59 | 96 | 0,8843 | 0,2430 |
| 3/4 × 1/16 | 19,0 × 1,59 | 128 | 0,8591 | 0,2300 |
| 1 × 1/16 | 25,4 × 1,59 | 176 | 0,4421 | 0,2280 |
| 1/2 × 1/18 | 12,7 × 1,59 | 144 | 0,4421 | 0,2430 |
| 3/4 × 1/8 | 19,0 × 3,18 | 208 | 0,2955 | 0,2330 |
| 1 × 1/8 | 25,4 × 3,18 | 250 | 0,2210 | 0,2070 |
| 1 1/2 × 1/8 | 38,1 × 3,18 | 370 | 0,1474 | 0,1880 |
| 1 × 3/16 | 25,4 × 4,77 | 340 | 0,1474 | 0,2100 |
| 1 1/2 × 3/16 | 38,1 × 4,77 | 460 | 0,0982 | 0,1880 |
| 2 × 3/16 | 50,8 × 4,77 | 595 | 0,0736 | 0,1700 |
| 1 × 1/4 | 25,4 × 6,35 | 400 | 0,1110 | 0,2100 |
| 1 1/2 × 1/4 | 38,1 × 6,35 | 544 | 0,0738 | 0,1870 |
| 2 × 1/4 | 50,8 × 6,35 | 700 | 0,0553 | 0,1670 |
| 2 1/2 × 1/4 | 63,5 × 6,35 | 850 | 0,0442 | 0,1550 |
| 2 3/4 × 1/4 | 70,2 × 6,35 | 1,000 | 0,0400 | 0,1510 |
| 3 1/2 × 1/4 | 88,9 × 6,35 | 1.130 | 0,0316 | 0,1450 |
| 4 × 1/4 | 101,6 × 6,35 | 1.250 | 0,0276 | 0,1320 |
| 1 × 1/2 | 25,4 × 12,70 | 600 | 0,0553 | 0,1870 |
| 2 × 1/2 | 50,8 × 12,70 | 1.010 | 0,0276 | 0,1630 |
| 3 × 1/2 | 76,2 × 12,70 | 1.425 | 0,0184 | 0,1450 |
| 4 × 1/2 | 101,6 × 12,77 | 1.810 | 0,0138 | 0,1300 |

1 – Para espaçamentos entre barras maiores do que 2D na horizontal não é necessário aplicar fatores de redução, visto que o aquecimento mútuo é desprezível; 2 – valores de resistência e reatância são aproximados; 3 – a distância entre as barras é de aproximadamente 150 mm.

Se o barramento for pintado, as correntes nominais podem ser acrescidas de um fator de multiplicação $K = 1,2$. Neste caso, há maior dissipação de calor através da superfície das barras em função da cor da tinta de cobertura, normalmente mais clara que o cobre.