

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 sobre correntes 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.



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 kV – 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.

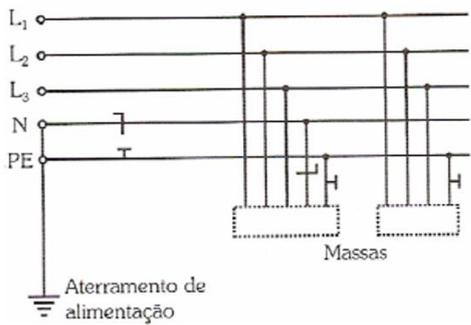
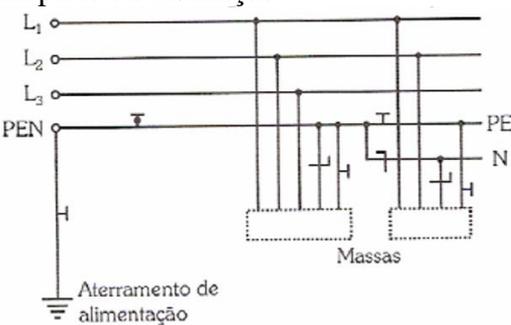
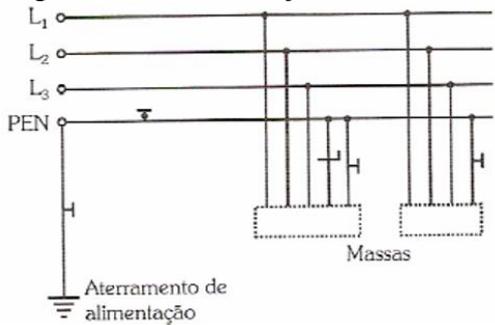
SISTEMAS DE ATERRAMENTO

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 ligadas 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.

<p>Esquema TN-S – o condutor neutro e o condutor de proteção são distintos.</p> 	<p>Esquema TN-C-S – o condutor neutro e o condutor de proteção são combinados em um único condutor em uma parte da instalação.</p> 
<p>Esquema TN-C – as funções do neutro e de proteção são combinadas em um único condutor ao longo de toda a instalação.</p> 	<p>Significado das letras:</p> <p>Primeira letra – situação da alimentação em relação a terra</p> <p>T – um ponto diretamente aterrado;</p> <p>I – isolamento de todas as partes vivas em relação à terra ou aterramento de um ponto através de uma impedância.</p> <p>Segunda letra – situação das massas em relação a terra</p> <p>T – massas diretamente aterradas</p> <p>N – massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado.</p> <p>Etc..</p>

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 consequências 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

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.

Critério da capacidade de corrente de curto-circuito

Admitem-se duas possibilidades:

1. limitação da seção do condutor para uma determinada corrente de curto-circuito;
2. 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.

CRITÉRIO DA CAPACIDADE DE CORRENTE

TABELA 01- MÉTODOS DE INSTALAÇÃO

Ref.	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

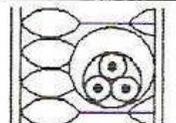
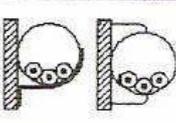
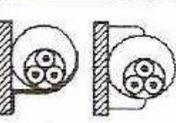
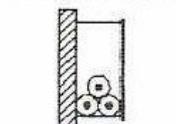
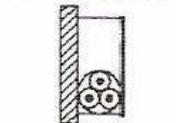
Método de instalação número	Esquema Ilustrativo	Descrição	Método de referência para a capacidade de condução de corrente (1)
1		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante (2)	A1
2		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante (2)	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente e de seção circular sobre parede ou espaçado da mesma (3)	B1
4		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular sobre parede ou espaçado 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 (mm ²)	A1		A2		B1		B2		C		D	
	CONDUTORES CARREGADOS		CONDUTORES CARREGADOS		CONDUTORES CARREGADOS		CONDUTORES CARREGADOS		CONDUTORES CARREGADOS		CONDUTORES CARREGADOS	
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	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.

TABELA 04 – CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE PARA OS MÉTODOS DE INSTALAÇÃO A1, A2, B1, B2, C e D (isolação EPR ou XLPE)

Métodos de referência												
Seções (mm ²)	A1		A2		B1		B2		C		D	
	CONDUTORES CARREGADOS		CONDUTORES CARREGADOS		CONDUTORES CARREGADOS		CONDUTORES CARREGADOS		CONDUTORES CARREGADOS		CONDUTORES CARREGADOS	
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	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	130	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

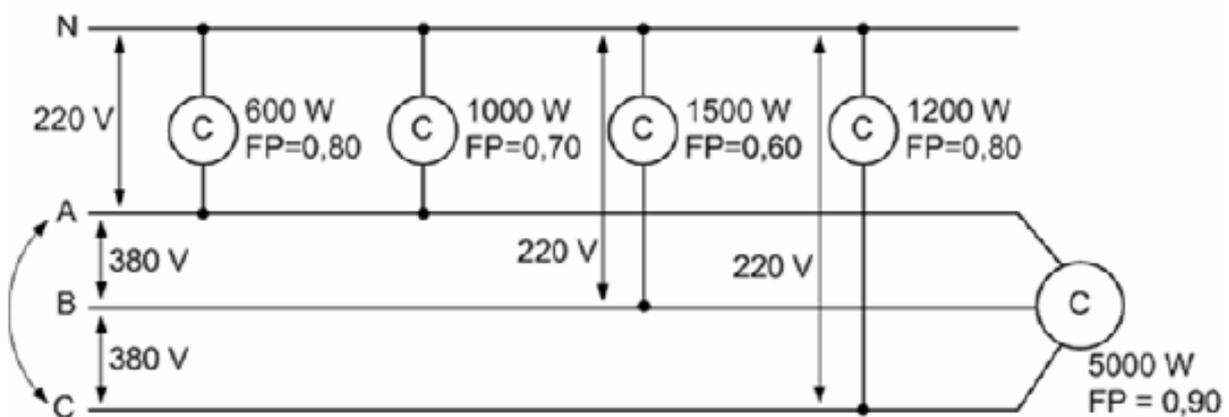
$$I_{CARGA} = \frac{\text{Demanda}_{CARGA}}{\text{Tensão}_{FASE-NEUTRO} \times \cos \varphi}$$

Cálculo da corrente em circuitos trifásicos

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

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.



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

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

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

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

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

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

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

I_b – corrente de carga da fase B que deve corresponder à capacidade mínima de corrente do condutor.

Então $S_a = S_b = S_c = 3 \# 2,5 \text{ mm}^2$, 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.

$$I_{CABO} = \text{Fator_de_serviço} \times I_{NOMINAL_MOTOR}$$

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 pólos, ligados na tensão de 380 V e com fatores de serviço unitários.

Potência nominal cv	Potência ativa kW	Corrente nominal		Velocidade em rpm	Fator de potência	Relação I_{ap}/I_n	Relação C_p/C_n	Conjugado nominal mkgf	Rotor bloqueado s	Rendimento %	Momento de inércia kgm ²
		220 V	380 V								
II pólos											
1	0,7	3,3	1,9	3.440	0,76	6,2	199,0	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	0,0279
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	0,4880
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	23,590	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 pólos											
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	15,9	1.740	0,85	6,6	190,0	4,110	8,3	0,86	0,0528
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	30,0	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	45,0	1.760	0,83	6,8	235,0	11,970	9,0	0,90	0,2630
40	30	102,0	59,0	1.760	0,85	6,7	215,0	15,960	10,0	0,91	0,4050
50	37	124,0	73,0	1.760	0,86	6,4	300,0	19,959	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	29,759	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	2,9500
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:

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

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:

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

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:

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

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

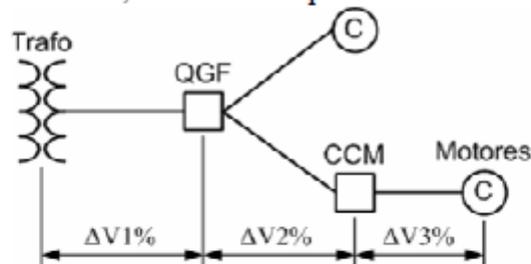
A seção do condutor será dada por:

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

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:

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

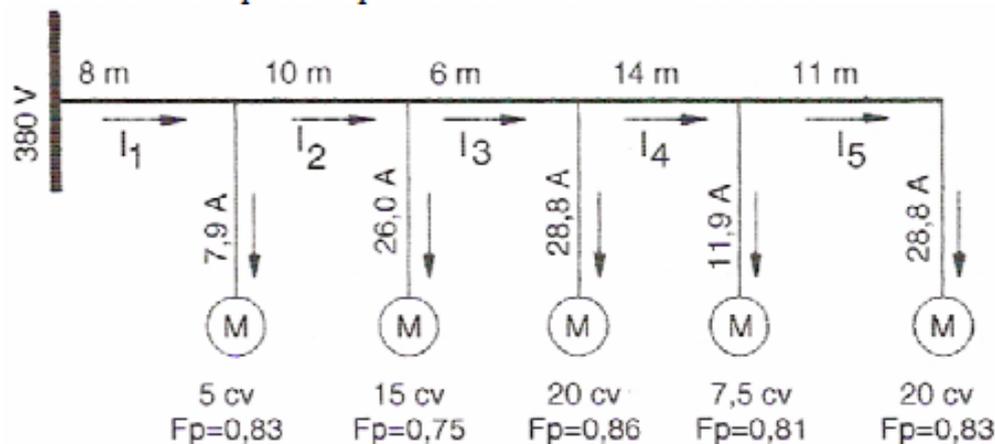
Onde: D_C = demanda da carga, em kVA.

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:

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

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

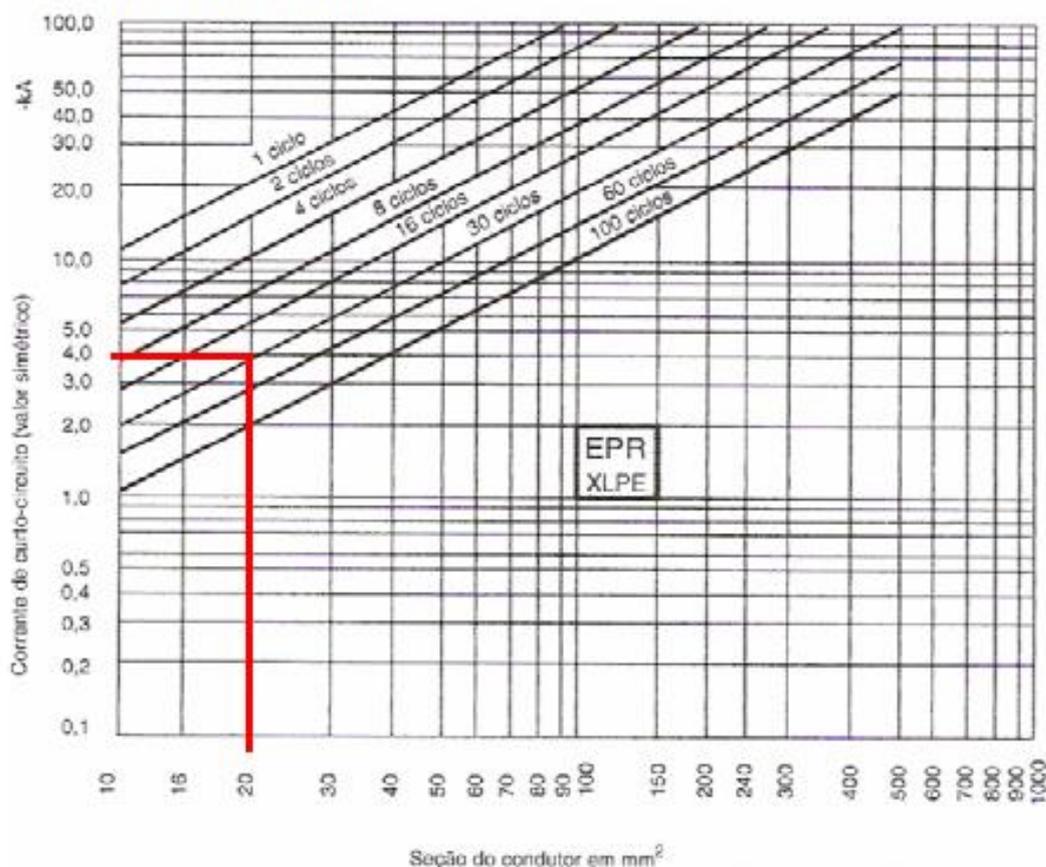
$$S_{\text{CONDUTOR}} = 6,27 \text{ mm}^2 \rightarrow S_{\text{CONDUTOR}} = 3\#10 \text{ mm}^2$$

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 isolamento 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 a 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.