

# Unidade de estudo 3

## Seções de estudo

Seção 1 – Sistema de distribuição de energia

Seção 2 – Condutores e proteção da instalação

Seção 3 – Proteções para equipamentos e pessoas

Seção 4 – Seleção de dutos

# Dimensionamento de Materiais

Na primeira seção, você estudará como deve ser feita a distribuição de energia numa instalação elétrica, as características relevantes nessa distribuição, assim como os níveis de tensão, os esquemas de suprimento de energia, de aterramento e os métodos de instalação de condutores.

## SEÇÃO I

### Sistema de distribuição de energia

Em uma instalação elétrica industrial, o projetista deve definir como será feita a distribuição de energia, para tanto, deverá identificar as características da rede de distribuição fornecida pela Concessionária, conhecer a carga instalada, o leiaute das máquinas e o tipo de aterramento pertinente a instalação elétrica da indústria (WALENIA, 2008, p. 25).

A alimentação de uma máquina ou equipamento industrial é monofásica ou trifásica, dependendo de sua finalidade, além do número de fases, pode-se ainda variar o valor da tensão aplicada à máquina (WALENIA, 2008, p. 26).

Os níveis de tensão são classificados como segue na tabela:

Tabela 10 - Níveis de tensão

Categoria	Tensões padronizadas	Outras tensões existentes	Utilização
Extra Alta Tensão Vn >= 500kV	750kV 500kV	1000kV 800kV 600kV 550kV	Transmissão
Alta Tensão 34,5kV < Vn < 500kV	230kV 138kV* 69kV	440kV 345kV 330kV 130kV 88kV	Subtransmissão
Média Tensão 1kV < Vn <= 34,5kV	34,5kV** 23kV 13,8kV 13,2kV 11,5kV 7,2kV 4,16kV	31,5kV 24kV 14,4kV 12,6kV 11kV 6,9kV 6,6kV 6,3kV 2,4kV 2,3kV	Distribuição Primária
Baixa Tensão Vn <= 1kV para corrente alternada Vn <= 1,5kV para corrente contínua	600V 550V 480V 380V 220V 127V	660V 500V 460V 440V 254V 230V 130V 120V 115V 110V	Distribuição Secundária

Fonte: Walenia (2008, p. 28)

**Notas:**

Vn → Tensão nominal da rede.

(\*) → A tensão de 138kV pode ser de subtransmissão, dependendo da rede instalada.

(\*\*) → A tensão de 34,5kV pode ser de subtransmissão ou de distribuição, dependendo da concessionária e do tipo de rede instalada.

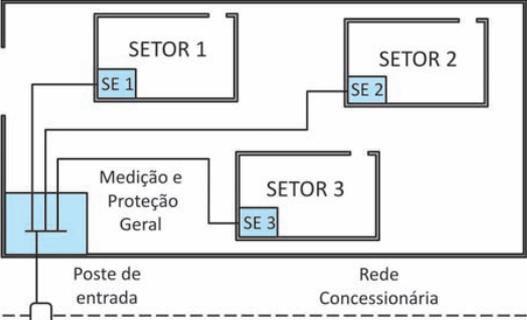
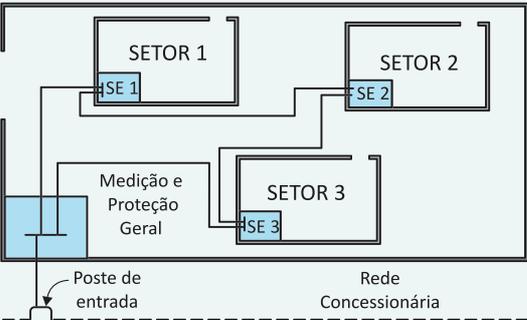
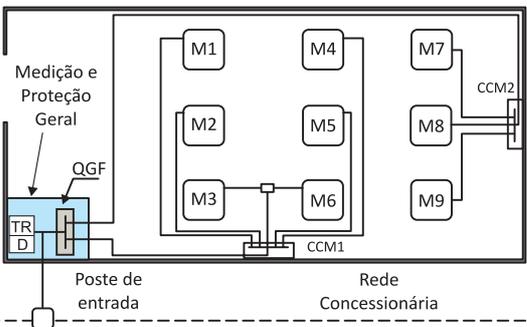
Na maioria das indústrias, a distribuição de energia elétrica é feita em baixa tensão. Em Santa Catarina, a CELESC efetua a distribuição em baixa tensão adotando 380V (tensão entre fases) e 220V (tensão entre fase e neutro).

Quanto ao Alimentador de Energia de uma Indústria, este irá ser dimensionado conforme a carga instalada da Edificação. O fornecimento de energia elétrica poderá ser efetuado pela concessionária em baixa ou até mesmo em alta tensão.

O fornecimento de energia elétrica será em alta tensão se apresentar pelo menos uma das seguintes características (CELESC, 2001, p. 6):

- Carga instalada superior a 75kW;
- Motor monofásico, alimentado em 220V, com potência superior a 3CV;
- Motor monofásico, alimentado em 380V, com potência superior a 5CV;
- Motor de indução trifásico, com rotor em curto-circuito, alimentado em 380V, com potência superior a 30CV;
- Máquina de solda, tipo motor gerador, com potência superior a 30CV;
- “Máquina de solda a transformador, alimentada em 380V, duas ou três fases, ligação V-V invertida (delta aberto delta-aberto invertido) com potência superior a 15kVA;
- Máquina de solda a transformador, alimentada em 380V, três fases, retificação em ponte trifásica, com potência superior a 30kVA”;
- Motor monofásico, alimentado, em 440V, com potência superior a 10CV;
- Máquina de solda alimentada em 220V, com potência superior a 5kVA;
- Máquina de solda a transformador alimentada em 380V, duas fases, com potência superior a 8,7kVA;
- Aparelho de raio-x e outros, que a CELESC julgar conveniente não serem ligados em tensão secundária;
- Eventualmente poderão ser alimentadas potências inferiores ou superiores aos limites acima, quando as condições técnico-econômicas do sistema elétrico o exigirem.

A seguir, são apresentados esquemas de suprimento de energia em alta e baixa tensão (MOURA, 2006, p. 5):

Tipo de suprimento de energia	Esquema de ligação
<p>Sistema Primário Radial Simples: O suprimento é distribuído radialmente em alta tensão para cada setor.</p>	
<p>Sistema Primário Radial com recurso: O suprimento é distribuído em alta tensão para cada setor, formando um anel.</p>	
<p>Sistema Secundário: O suprimento é distribuído em baixa tensão, saindo radialmente para os quadros de distribuição.</p>	

Quadro 4 - Comparativo entre os tipos de suprimento de energia industriais

Fonte: Moura (2006, p. 5).

O sistema de aterramento é outro item extremamente importante para uma instalação elétrica.

Aterrar o sistema, ou seja, ligar um condutor (normalmente o neutro) à terra, possibilita a detecção de sobretensões em relação à terra. Além disso, fornece um caminho para a circulação de corrente, permitindo a detecção de curtos circuitos (entre os condutores vivos e a terra). Desta forma o aterramento é um aliado dos dispositivos de proteção contra sobretensões e sobrecorrentes (curto-circuito) (PROCOBRE, 2001, p. 3).

“O controle dessas tensões em relação à terra limita o esforço de tensão na isolação dos condutores, diminui as interferências eletromagnéticas e permite a redução dos perigos de choque para as pessoas que poderiam entrar em contato com os condutores vivos” (PROCOBRE, 2001, p. 3).

A norma brasileira NBR5410:2004 estabelece os esquemas de aterramento a serem aplicados em uma instalação elétrica. Esses esquemas são listados a seguir:

- TN-S;
- TN-C-S;
- TN-C;
- TT;
- IT.

Nesses esquemas, a primeira letra indica a situação da alimentação em relação à terra (T → ligado à terra e I → isolado), a segunda letra indica a situação das massas em relação à terra (N → massas ligadas ao neutro e T → massa ligadas diretamente à terra) e outras letras, se houver, indicam a relação entre condutores neutro e terra (S → separados e C → combinados) (WALENIA, 2008, p. 30).

O quadro seguinte relaciona as características desses esquemas:

Esquema de Aterramento	Características	Representação
TN-S	O condutor neutro e de proteção são interligados no aterramento da alimentação, depois seguem distintos. É necessário o uso de disjuntores e de DR's para a respectiva proteção da instalação e de pessoas. É usado na maioria das instalações elétricas. Onde é efetuada a equipotencialização na entrada de energia elétrica.	
TN-C	Apenas um condutor é usado para atender as duas funções: neutro e proteção (PEN). Não é recomendado em circuitos com condutor de seção inferior a 10mm <sup>2</sup> , nem para a ligação de equipamentos portáteis. Necessita de uma equipotencialização bem feita dentro da instalação elétrica para evitar queima de equipamentos. É usado em instalações onde se torna inviável a passagem de mais um condutor. DR's não devem ser usados.	
TN-C-S	O condutor PEN inicia (na alimentação) no modo TN-C e depois se transforma em TN-S (para a distribuição). Recomenda-se realizar uma equipotencialização bem feita. Este esquema é utilizado em locais onde o condutor de proteção é necessário e de difícil acesso (longa distância).	
TT	“O neutro da fonte é ligado diretamente à terra, estando as massas da instalação ligadas a um eletrodo de aterramento independente do eletrodo da fonte.” No caso de um curto entre fase e massa, o fluxo de corrente é baixo para a atuação de disjuntores, porém é recomendado o uso de DR's para a proteção de pessoas. É utilizado em casos onde há grandes distâncias entre o ponto de aterramento da alimentação e a carga.	
IT	“Limita-se a corrente de falta a um valor desejado, de forma a permitir que uma primeira falta desligue o sistema”. Não é necessário o uso de DR's. Uma impedância elevada pode ser instalada entre neutro e terra ou simplesmente o neutro pode permanecer isolado do aterramento. É utilizado em casos onde uma primeira falha no sistema não possa desligar imediatamente a alimentação, interrompendo processos importantes.	

Quadro 5 - Características dos esquemas de aterramento

Fontes: ABNT (2004, p. 15); Procobre (2001, p. 18); Walenia (2008, p. 30).

Outras considerações:

Os Esquemas TT e IT ainda podem apresentar aterramentos auxiliares (com eletrodos individualizados) para cada máquina.

### DICA

Para mais informações sobre as características dos esquemas de aterramento, consulte a norma NBR5410: 2004, na página 12.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2004. vii, 208 p.

Equipotencialização, como o próprio nome sugere, é a interligação em um mesmo ponto, de todos os condutores destinados à proteção de equipamentos de informação, destinados contra choques, contra descargas atmosféricas, contra sobretensões e contra descargas eletrostáticas.

A próxima figura resume o papel de um barramento equipotencial.

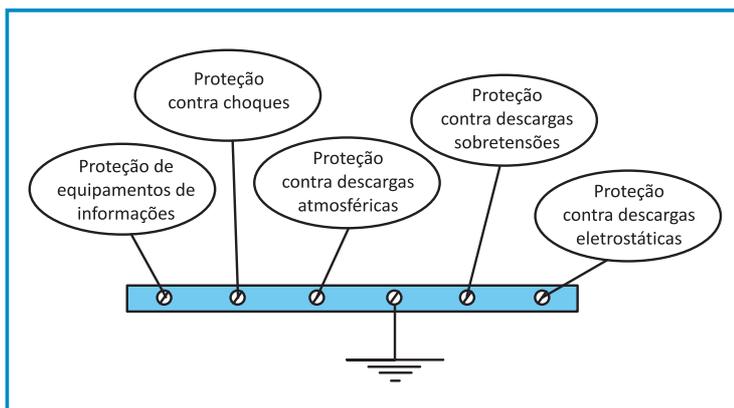


Figura 16 - Resumo da funcionalidade de um barramento equipotencial

Fonte: PROCOBRE (2001, p. 12).

Outro aspecto que possui relevância em relação a uma instalação elétrica, é o conhecimento do leiaute das máquinas ao longo da planta da fábrica. Esta informação é crucial para determinar o tipo de passagem de dutos e consequentemente, influencia no dimensionamento de materiais como dutos, caixas de passagem e condutores.

Os principais métodos de instalação de cabos, são relacionados no quadro:

Método de Instalação	Descrição
Eletroduto Embutido	É usado em edificações com pouca alteração de leiaute. Não prejudica a estética do ambiente de trabalho pois os dutos estão embutidos em paredes, os condutores devem ser isolados e apresentar proteção anti-chama. Os dutos normalmente apresentam secção circular, em PVC.
Eletroduto Aparente	É bastante aplicado em indústrias, devido a sua flexibilidade de adaptação a alterações no leiaute da fábrica. Os dutos são rígidos e fixados externamente com o uso de braçadeiras plásticas ou metálicas. Os condutores são isolados.
Eletroduto Enterrado	É aplicado em interligações de áreas externas. São cavadas valas no solo por onde que devem passar estes dutos. Os condutores devem ser do tipo unipolares.
Condutores Diretamente Enterrados	São usados em interligações de áreas externas. Deve-se tomar o cuidado de verificar a qualidade de emendas e se há presença de água nestas emendas.
Eletrocalhas	São bastante empregadas em ambientes industriais. Apresentam-se em dois tipos: perfuradas e lisas. Podem ser instaladas em paredes em altura alta ou em teto em elementos de fixação pendentes. Obrigatoriamente devem ser fechadas após a passagem de cabos.
Bandejas	São eletrocalhas sem tampa, que podem ser instaladas nas mesmas condições de uma eletrocalha.
Perfilados	São montagens aparentes, rápidas e semelhantes as bandejas.
Leitos e escada para cabos	São bastante usados em instalações elétricas industriais.
Canaleta Enterrada	São recomendadas quando é necessário passar grandes quantidades de cabos.
Canaleta Aparente	São montagens rápidas, de tempo fixado destinadas a circuitos de baixa potência. Podem ser feitas de material plástico ou metálico.
Instalação ao ar livre	Normalmente é realizada de maneira aérea em posição alta. Os cabos são isolados da edificação através de isoladores roldana.

Quadro 6 - Relação dos métodos de instalação de condutores

Fonte: Walenia (2008, p. 35).

## SEÇÃO 2

### Condutores e proteção da instalação

Nesta seção, você estudará os condutores e sua atuação na proteção da instalação e funcionamento do circuito elétrico.

“O dimensionamento de um condutor deve ser precedido de uma análise detalhada de sua instalação e da carga a ser suprida. Um condutor mal dimensionado, além de implicar a operação inadequada da carga, representa um elevado risco de incêndio para o patrimônio, principalmente quando associado um deficiente projeto de proteção.” (MOURA, 2006, p. 8).

O dimensionamento de condutores, elementos de proteção e dutos não podem ser calculados separadamente, pois estão intimamente relacionados: não é possível especificar um elemento de proteção, como exemplo, um disjuntor de 30A para um cabo de seção  $1,5\text{mm}^2$  que possui capacidade de condução inferior a 15A! Nem dimensionar um duto de diâmetro  $3/4''$  para a passagem de 5 cabos de seção  $10\text{mm}^2$ .

O objetivo principal na definição da seção de um condutor, é garantir durante o funcionamento de um circuito elétrico que esse condutor atenda simultaneamente (LIMA, 2006, p. 109) todas as condições de:

A - Limite de temperatura, determinado pela capacidade de condução de corrente;

B - Limite de queda de tensão;

C - Seção mínima para condutor;

D - Capacidade dos dispositivos de proteção contra sobrecarga;

E - Capacidade de condução da corrente de curto-circuito por tempo limitado.

#### DICA

A seção do condutor a ser escolhida será aquela que apresentar o maior valor dentre os cálculos das etapas de A a E.

#### A – Cálculo do condutor pelo critério de capacidade de corrente:

Quanto à capacidade de condução de corrente, é necessário obter as seguintes informações:

1. Tipo de Isolação dos condutores;
2. Maneira de instalar o circuito;
3. Corrente do circuito (corrente de projeto);
4. Número de condutores carregados do circuito;
5. Fatores de correção da corrente de projeto.

## ➤ 1 – Tipo de isolação dos condutores:

O limite de temperatura está relacionado ao material de isolação do condutor.

A seguir, são relacionados os materiais usados na isolação de cabos e seus respectivos limites de temperatura.

Tabela 11 - Características térmicas das capas de isolação dos condutores

Tipo de isolação	Temperatura máxima para serviço contínuo (condutor °C)	Temperatura limite de sobrecarga (condutor °C)	Temperatura limite de curto-circuito (condutor °C)
Policloreto de vinila (PVC) até 300mm <sup>2</sup>	70	100	160
Policloreto de vinila (PVC) maior que 300mm <sup>2</sup>	70	100	140
Borracha etileno-propileno (EPR)	90	130	250
Polietileno reticulado (XLPE)	90	130	250

Fonte: ABNT (2004, p. 100).

## ➤ 2 – Maneira de instalar o circuito:

Os principais métodos de instalação são citados a seguir:

Método de Instalação	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.

Quadro 7 - Relação dos métodos de referência

Fonte: ABNT (2004, p. 99).

## ➤ 3 – Corrente do circuito (corrente de projeto):

A corrente de projeto é calculada de acordo com o tipo de circuito. Para circuitos monofásicos, segue a fórmula:

$$I_p = (P_n) / (V \times \cos\phi \times \eta)$$

Onde:

$I_p$  → Corrente de Projeto, em Ampères (A).

$P_n$  → Potência nominal do circuito, em watts (W).

$V$  → Tensão, em volts (V).

$\cos\phi$  → Fator de Potência

$\eta$  → Rendimento (relação adimensional entre Potência Mecânica e Potência Elétrica)

Fórmula – Corrente em circuitos monofásicos

Fonte: LIMA (2006, p. 115).

Na fórmula anterior, para circuitos monofásicos o valor da tensão  $V$  corresponde a tensão entre fase e neutro, já para circuitos bifásicos, o valor da tensão  $V$ , corresponde ao valor da tensão entre fases (LIMA, 2006, p. 115).

Para circuitos trifásicos, com fase e neutro, segue a fórmula (o valor da tensão  $V$  corresponde à tensão entre fases).

$$I_p = (P_n) / (3 \times V \times \cos\phi \times \eta)$$

Fórmula – Corrente em circuitos trifásicos

Fonte: LIMA (2006, p. 115).

Para circuitos trifásicos equilibrados (ou seja, que não há fluxo de corrente pelo neutro), o valor da corrente de projeto é calculado a partir da fórmula abaixo (o valor da tensão V corresponde à tensão entre fases).

$$I_p = (P_n) / (\sqrt{3} \times V \times \cos\phi \times \eta)$$

Fórmula: Corrente em circuitos trifásicos

Fonte: LIMA (2006, p. 115)

#### ➤ 4 – Número de condutores carregados do circuito:

No caso de circuitos monofásicos e bifásicos, existem 2 condutores carregados, para circuitos trifásicos, deve-se considerar 3 condutores carregados.

#### ➤ 5 – Fatores de correção da corrente de projeto:

A corrente de projeto corrigida é calculada pela fórmula a seguir:

$$I_{pc} = (I_p) / (FCT \times FCA \times FCRS)$$

Onde:

$I_{pc}$  → Corrente de Projeto Corrigida.

$I_p$  → Corrente de Projeto Calculada

FCT → Fator de Correção de Temperatura.

FCA → Fator de Correção de Agrupamento.

FCRS → Fator de Correção de Resistividade do Solo.

Fórmula: Cálculo da corrente corrigida.

Fonte: LIMA (2006, p. 115).

O fator de correção de temperatura (FCT) será diferente de 1 quando a temperatura ambiente for diferente de 30°C para linhas não subterrâneas e quando a temperatura do solo for diferente de 20°C para linhas subterrâneas (ABNT, 2004, p. 106). Veja a tabela a seguir:

Tabela 12 - Fatores de Correção de Temperatura

Temperatura °C	Isolação		Isolação	
	PVC	EPR ou XLPE	PVC	EPR ou XLPE
	Ambiente		Do solo	
10	1,22	1,15	1,10	1,07
15	1,17	1,12	1,05	1,04
20	1,12	1,08	0,95	0,96
25	1,06	1,04	0,89	0,93
35	0,94	0,96	0,84	0,89
40	0,87	0,91	0,77	0,85
45	0,79	0,87	0,71	0,80
50	0,71	0,82	0,63	0,76
55	0,61	0,76	0,55	0,71
60	0,50	0,71	0,45	0,65
65	-	0,65	-	0,60
70	-	0,58	-	0,53
75	-	0,50	-	0,46
80	-	0,41	-	0,38

Fonte: ABNT (2004, p. 106)

O fator de correção de agrupamento (FCA) para condutores depende do método de referência, se os circuitos agrupados são semelhantes e a maneira como serão alojados no duto ou fora dele.

A próxima tabela fornece os valores de correção de agrupamento em situação que os circuitos são alojados em feixes (em linha):

Tabela 13 - Alguns fatores de correção de agrupamento para condutores em feixe

Ref.	Forma de Agrupamento dos condutores	Número de circuitos ou de cabos multipolares								Métodos de referência
		1	2	3	4	5	6	7	8	
1	Em feixe: ao ar livre ou sobre superfície; embutidos; em conduto fechado	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	A até F
2	Camada única sobre parede, piso, ou em bandeja não perfurada ou prateleira	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	C
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	E e F
4	Camada única em bandeja perfurada	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	
5	Camada única sobre leito, suporte, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	

Fonte: ABNT (2004, p. 108).

#### DICA

Para consultar agrupamentos superiores a 8 circuitos, consulte a NBR5410/2004, Tabela 42.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410 - Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, RJ: ABNT, 2004. vii, 208 p.

A tabela anterior somente poderá ser aplicada sob as seguintes observações:

- Esses fatores são aplicáveis a grupos homogêneos de cabos, uniformemente carregados.

- Quando a distância horizontal entre cabos adjacentes for superior ao dobro de seu diâmetro externo, não é necessário aplicar nenhum fator de redução. Se os condutores estiverem alojados em mais de uma camada e seguirem os métodos de referência C, E e F, então será interessante utilizar a seguinte tabela:

Tabela 14 - Fatores de correção de agrupamento para condutores alojados em camada

Quantidade de camadas		Quantidade de circuitos trifásicos ou de cabos multipolares por camada				
		2	3	4 ou 5	6 a 8	9 e mais
Quantidade de camadas	2	0,68	0,62	0,60	0,58	0,56
	3	0,62	0,57	0,55	0,53	0,51
	4 ou 5	0,60	0,55	0,52	0,51	0,49
	6 a 8	0,58	0,53	0,51	0,49	0,48
	9 e mais	0,56	0,51	0,49	0,48	0,46

Fonte: ABNT (2004, p. 109).

#### DICA

Os fatores de correção de agrupamento para condutores alojados em camadas são válidos independentemente da disposição da camada, se horizontal ou vertical.

Os fatores de agrupamento mostrados nas tabelas anteriores só poderão ser utilizados quando se tratar de condutores semelhantes e igualmente carregados.

“São considerados condutores semelhantes aqueles cujas capacidades de condução de corrente baseiam-se na mesma temperatura máxima para serviço contínuo e cujas seções nominais estão contidas no intervalo de três seções normatizadas sucessivas” (ABNT, 2004, p. 111).

Quando não for possível utilizar as tabelas anteriores para determinação do fator de correção de agrupamento, então, poder-se-á aplicar a fórmula a seguir:

$$FCA = 1 / \sqrt{n}$$

Onde:

FCA → Fator de correção de agrupamento

n → número de circuitos ou de cabos multipolares

Fórmula – Fator de correção de grupo para condutores não semelhantes

Fonte: ABNT (2004, p. 111).

Quanto ao fator de correção de resistividade do solo (FCRS), este será diferente de 1 quando a instalação for subterrânea e a resistividade térmica do solo for diferente de 2,5K.m/W, a tabela seguinte foi retirada da NBR5410/2004 e mostra os valores de correção:

Tabela 15 - Fatores de correção de resistividade do solo

Resistividade térmica K.m/W	1	1,5	2	3
Fator de correção	1,18	1,1	1,05	0,96

NOTAS

1 Os fatores de correção dados são valores médios para as seções nominais abrangidas nas tabelas 36 e 37, com uma dispersão geralmente inferior a 5%.

2 Os fatores de correção são aplicáveis a cabos em eletrodutos enterrados a uma profundidade de até 0,8m.

3 Os fatores de correção para cabos diretamente enterrados são mais elevados para resistividades térmicas inferiores a 2,5 km/W e podem ser calculados pelos métodos indicados na ABNT NBR 11301.

Fonte: ABNT (2004, p. 107).

A informação da quantidade de condutores carregados, juntamente com o método de instalação e a corrente de projeto possibilitaram que a seção nominal dos condutores seja encontrada por meio de tabelas, como a mostrada a seguir, disponíveis na norma NBR5410/2004.

Tabela 16 - Capacidade de condução de corrente para métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D para seções de 0,5 até 50mm<sup>2</sup> de condutores de cobre

Seções Nominais mm <sup>2</sup>	Condutores com isolamento de PVC											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	Número de condutores carregados											
	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3	2	3
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
<b>Cobre</b>												
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

Fonte: ABNT (2004, p. 101).

## ➤ B – Cálculo do condutor pelo critério do limite de queda de tensão:

“A queda de tensão nos circuitos alimentadores e terminais (pontos de utilização) de uma instalação elétrica produz efeitos que podem levar os equipamentos à redução da vida útil a sua queima” (CAVALIN, 2007, p. 251).

Os limites de queda de tensão a serem obedecidos devem seguir a prescrição da NBR5410/2004, como é relacionado no quadro:

Denominação	Percentual
A partir dos terminais secundários do transformador MT/BT, no caso de transformador de propriedade da(s) unidade(s) consumidora(s).	7%
A partir dos terminais secundários do transformador MT/BT da empresa distribuidora de eletricidade, quando o ponto de entrega for aí localizado.	7%
A partir do ponto de entrega, nos demais casos de ponto de entrega com fornecimento em tensão secundária de distribuição.	5%
A partir dos terminais de saída do gerador, no caso de grupo gerador próprio.	7%
Queda de tensão nos circuitos terminais.	4%

Quadro 8 - Limites de queda de tensão aceitáveis

Fonte: ABNT (2004, p. 115).

Para se determinar a seção do condutor pelo critério de queda de tensão, será necessário obter as seguintes informações (LIMA, 2006, p. 134):

1. Método de referência para a instalação;
2. Material do eletroduto (magnético ou não magnético);
3. Número de condutores carregados no circuito;
4. Corrente de projeto (Ip);
5. Fator de potência do circuito;

6. Distância entre os pontos onde se fixou a queda de tensão (L);
7. Tipo de isolamento do condutor;
8. Tensão do circuito (V);
9. Queda de tensão admissível (e%).

A partir destes dados será possível encontrar o valor da queda de tensão unitária (dVu), em volts/ampère.km, com o uso da fórmula a seguir:

$$dVu = (e\% \times V) / (Ip \times L)$$

Fórmula: Queda de Tensão Unitária  
 Fonte: Lima (2006, p. 134)

Os fabricantes de condutores fornecem tabelas que relacionam a queda de tensão unitária com o fator de potência, tensão de isolamento do condutor, número de condutores carregados e se o eletroduto ou eletrocalha são de materiais magnéticos. A seguir, é apresentado um trecho de tabela para condutores Pirastic (isolação 750V em PVC):

Em circuitos de sinalização e controle destinados a equipamentos eletrônicos é admitida uma seção mínima de 0,1mm<sup>2</sup>. Em cabos multipolares flexíveis contendo sete ou mais veias é admitida uma seção mínima de 0,1mm<sup>2</sup>.

Tabela 17 - Exemplos de queda de tensão em V/A.km

Seção nominal (mm <sup>2</sup> )	Eletroduto e eletrocalha (material magnético)		Eletroduto e eletrocalha (material não-magnético)			
	Pirastic e Pirastic Flex		Pirastic e Pirastic Flex			
	Circuito monofásico e trifásico		Circuito monofásico		Circuito trifásico	
	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95	FP = 0,8	FP = 0,95
1,5	23	27,4	23,3	27,6	20,2	23,9
2,5	14	16,8	14,3	16,9	12,4	14,7
4	9,0	10,5	8,96	10,6	7,79	9,15
6	5,87	7,00	6,03	7,07	5,25	6,14
10	3,54	4,2	3,63	4,23	3,17	3,67
16	2,27	2,70	2,32	2,68	2,03	2,33
25	1,50	1,72	1,51	1,71	1,33	1,49
35	1,12	1,25	1,12	1,25	0,98	1,09

Fonte: Graça (2005).

### DICA

O cálculo pelo critério da queda de tensão serve apenas para uma única carga, sendo convencional seu uso em circuitos de distribuição de energia e circuitos de tomadas de uso específico que são instalados sem agrupamento de circuitos.

## ➤ C – Definição da seção mínima para condutores:

Estas seções mínimas são justificadas devido a questões mecânicas. A seguir, são apresentadas as seções mínimas para condutores, conforme a aplicação:

Tabela 18 - Seção mínima dos condutores fase

Tipos de linha		Utilização do circuito	Seção mínima do condutor mm <sup>2</sup> - material
Instalações fixas em geral	Condutores e cabos isolados	Circuitos de Iluminação	1,5 Cu 16 Al
		Circuitos de força	2,5 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	0,5 Cu
	Condutores nus	Circuitos de força	10 Cu 16 Al
		Circuitos de sinalização e circuitos de controle	4 Cu
		Para um equipamento específico	Como especificado na norma do equipamento
Linhas flexíveis com cabos isolados	Para qualquer outra aplicação	0,75 Cu	
	Circuitos a extra baixa tensão para aplicações especiais	0,75 Cu	

Fonte: ABNT (2004, p. 113).

Para condutores neutros e de proteção, também são estipuladas tabelas, segundo a NBR5410/2004, que dependem da informação do condutor fase. A seguir, é apresentada a tabela da seção mínima do condutor neutro:

Tabela 19 - Seção reduzida do condutor neutro

Seção do condutor fase (mm <sup>2</sup> )	Seção do condutor neutro (mm <sup>2</sup> )
S ≤ 25	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	185

Fonte: ABNT (2004, p. 115).

A seção do condutor neutro em circuitos trifásicos só poderá ser inferior à bitola do condutor fase quando: “- a soma das potências absorvidas pelos equipamentos, alimentados em cada fase e neutro, não deve ser superior a 10% da potência total transportada (corrente neutro < 10% corrente-fase); - a máxima corrente que circula pelo condutor neutro, incluindo harmônicos, não deve ser superior à capacidade de condução de corrente do condutor neutro reduzido” (WALENIA, 2006, p. 246).

Quanto ao condutor de proteção, a NBR5410/2004 especifica que poderá ser dimensionado como mostrado na tabela:

Tabela 20 - Seção mínima do condutor de proteção

Seção dos condutores de fase S (mm <sup>2</sup> )	Seção mínima do condutor de proteção correspondente (mm <sup>2</sup> )
S ≤ 16	S
16 < S ≤ 35	16
S > 35	S/2

Fonte: ABNT (2004, p. 150).

Assim como para o condutor neutro, esta tabela somente será válida quando o valor da seção do condutor de proteção for maior que o estabelecido pela seguinte equação:

$$S = \sqrt{I^2 \times t} / K$$

Onde:

S → Seção mínima do condutor de proteção;

I → Valor eficaz da corrente de falta;

t → Tempo de atuação do dispositivo de proteção (deve ser inferior a 5s);

K → fator do material (ABNT, 2004, p. 148).

D – Cálculo da seção do condutor e da corrente de proteção pelo critério da Capacidade dos Dispositivos de Proteção contra sobrecarga.

Fórmula: Cálculo da seção mínima do condutor de proteção.

Fonte: ABNT (2004, p. 147).

“O condutor não pode ser dito corretamente dimensionado até que seja verificada a sua proteção. Apenas para ilustrar, de maneira simples e objetiva, na proteção de um condutor pode ser utilizado um disjuntor cujo valor de corrente nominal ( $I_n$ ) esteja compreendido entre o valor da corrente de projeto ( $I_p$ ) e o valor da capacidade máxima de corrente do condutor ( $I_z$ ) nas condições especificadas” (WALENIA, 2006, p. 224).

Em outras palavras:

$$\begin{aligned} I_p &\leq I_{nop} \leq I_z \\ I_z &= I_z' \times FC \\ FC &= FCT \times FCA \times FCRS \\ I_2 &\leq 1,45 \times I_z \end{aligned}$$

Onde:

$I_p$  → Corrente de projeto calculada

$I_z$  → Capacidade da máxima corrente do condutor

$I_{nop}$  → Corrente nominal de operação do Elemento de proteção

$I_z'$  → Corrente de projeto limite em função da seção do condutor

FC → Fatores de correção

FCT → Fator de correção de temperatura (se houver)

FCA → Fator de correção de agrupamento (se houver)

FCRS → Fator de correção de resistividade do solo (se houver)

$I_2$  → Corrente convencional de atuação

Fórmulas: Cálculo da corrente de proteção.

Fonte: Walenia (2006, p. 224).

Observações:

“A condição ( $I_2 \leq 1,45 \times I_z$ ) só é aplicável quando  $I_{nop} > I_z$ , mantiver a temperatura limite de sobrecarga por um tempo menor do que 100h em 12 meses ou por 500h durante toda a vida útil do cabo. Caso isto não possa ser garantido, deve-se considerar:  $I_2 < I_z$ ” (WALENIA, 2006, p. 238).

“A corrente convencional de atuação do dispositivo de proteção pode ser obtida nas tabelas seguintes” (WALENIA, 2006, p. 238):

Tabela 21 - Corrente convencional de atuação para disjuntores termomagnéticos – norma NBR IEC 60898

Corrente nominal (In)	Corrente convencional de não-atuação	Corrente convencional de atuação (I2)	Tempo convencional
In ≤ 63 A	1,13 x In	1,45 x In	1h
In > 63 A	1,13 x In	1,45 x In	2h

Fonte: Walenia (2006, p. 238).

Tabela 22 - Corrente convencional de atuação para disjuntores termomagnéticos – norma NBR IEC 60947-2

Corrente de ajuste (In)	Corrente convencional de não-atuação	Corrente convencional de atuação (I2)	Tempo convencional
In ≤ 63 <sup>a</sup>	1,05 x In	1,30 x In	1h
In > 63 <sup>a</sup>	1,05 x In	1,30 x In	2h

Fonte: Walenia (2006, p. 239).

Tabela 23 - Corrente convencional de atuação para fusíveis tipo NH – norma NBR 11841

Corrente Nominal (In)	Tempo Convencional	Corrente de não-fusão	Corrente de fusão
4A < In < 16 <sup>a</sup>	1h	1,5 x In	1,9 x In
16A ≤ In ≤ 63A	1h	1,25 x In	1,6 x In
63A < In ≤ 160A	2h	1,25 x In	1,6 x In
60A < In ≤ 400	3h	1,25 x In	1,6 x In
400A < In	4h	1,25 x In	1,6 x In

Fonte: Walenia (2006, p. 239).

Não se deve usar apenas dispositivos de proteção baseados em fusíveis para proteção contra sobrecarga. Deve-se utilizar dispositivos que garantam a proteção integral do cabo (WALENIA, 2006, p. 239).

E – Cálculo da seção do condutor e do elemento de proteção em função da Capacidade de Condução da Corrente de Curto-Circuito por tempo limitado:

“Em qualquer instalação deverão ser previstos dispositivos de proteção que garantam a interrupção da corrente de curto-circuito antes que esta corrente cause problemas aos condutores e às instalações” (WALENIA, 2008, p. 240).

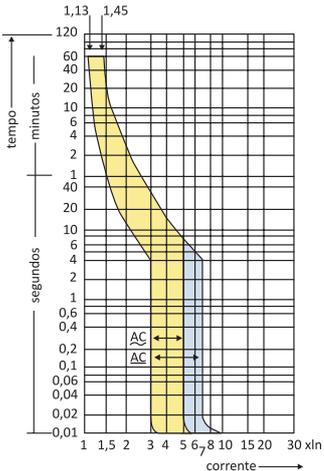
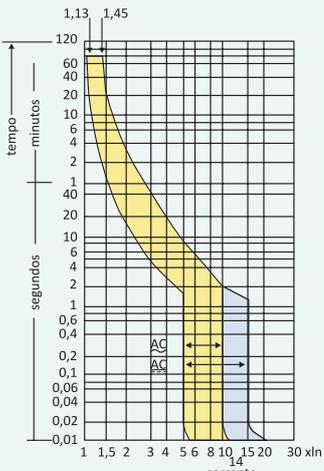
A corrente de curto circuito pode causar (WALENIA, 2008, p. 240):

- Aquecimento de cabos e outros componentes, acima da temperatura limite, provocando danos a isolamento.
- Quebra de isoladores, barras, fixações etc.

O critério de curto circuito é extremamente importante para instalações industriais, principalmente para aquelas que possuem subestações e grupos geradores de energia. Sistemas de proteção não prevendo a corrente de curto circuito, nestes casos, podem causar danos irreparáveis à Instalação Elétrica (WALENIA, 2008, p. 240).

A seguir, são apresentados exemplos de curvas de disparo para disjuntores industriais:

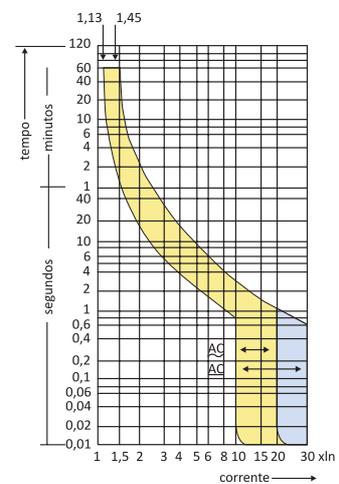
Tabela 24 - Características das curvas de proteção para disjuntores

Características	Atuação do disparador magnético ( $\times I_n$ )	Exemplo de gráfico
<p>Curva B: para proteção de circuitos que alimentam cargas com características predominantemente resistivas, como estufas, fornos, aquecedores de líquidos etc.</p>	<p>3 a 5</p>	<p><b>Curva B</b></p> 
<p>Curva C: para proteção de circuitos que alimentam especificamente cargas de natureza indutiva que apresentam picos de corrente no momento da ligação, como compressores de pequeno porte, pequenos motores, ares condicionados.</p>	<p>5 a 10</p>	<p><b>Curva C</b></p> 

Curva D: para proteção de circuitos que alimentam cargas altamente indutivas que apresentam elevados picos de corrente no momento da ligação, como grandes motores e transformadores.

10 a 50

Curva D



Fonte: Siemens (2008, p. 7); Walenia (2008, p. 241).

A área em amarelo representa a atuação em função do disparador térmico e a área em cinza representa a atuação do disparador magnético.

A próxima tabela é fornecida por um fabricante de condutores. Essa tabela foi dimensionada para condutores com capa de isolamento em PVC e relaciona à seção do condutor (linha horizontal) com a corrente de curto-circuito (linha vertical). Observe que a escolha da seção do condutor irá depender ainda do traço de tempo de curto-circuito (linha inclinada) especificada em ciclos de rede.

É fundamental que este tempo de curto-circuito seja o mesmo de atuação do dispositivo de proteção do circuito.

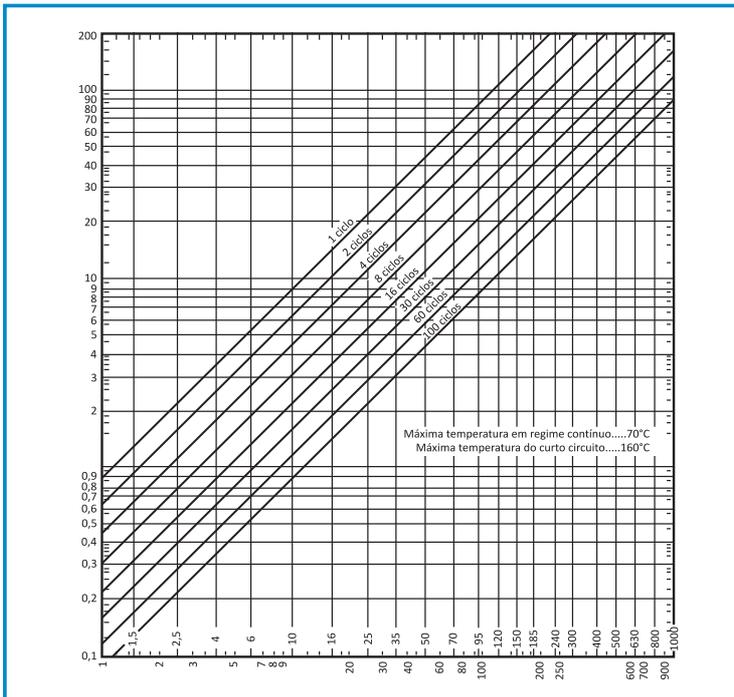


Figura 17 - Capacidade de curto-circuito para condutores Pirastic e Sintenax  
 Fonte: Graça (2005).

O cálculo da corrente de curto-circuito pode ser simplificado desde que sejam consideradas as seguintes situações (WALENIA, 2008, p. 249):

- Despreza-se a impedância da concessionária e a impedância do circuito de a Alta tensão que alimenta o transformador;
- Despreza-se a impedância interna dos dispositivos de comando;
- Desconsidera-se a contribuição de motores e geradores em funcionamento;
- O nível de curto-circuito é calculado pela falta trifásica simétrica (situação mais desfavorável);
- Despreza-se a resistência de contato.

Este cálculo da corrente de curto-circuito utiliza as tabelas e a fórmula apresentadas a seguir:

Tabela 25 - Correntes de curto-circuito presumidas no secundário de transformadores trifásicos

Potência do transformador (kVA)	Icc (kA)	
	127/220V	220/380V
15	1,12	0,65
30	2,25	1,30
45	3,37	1,95
75	5,62	3,25
112,5	8,44	4,88
150	11,25	6,51
225	13,12	7,59
300	17,50	10,12
500	26,24	15,19
750	39,36	22,78
1000	52,49	30,37

Fonte: Walenia (2008, p. 250).

Função dos DR pela sensibilidade de corrente:

Proteção contra contato direto: 30mA

Contato direto com partes energizadas pode ocasionar fuga de corrente elétrica, através do corpo humano, para terra.

Proteção contra contato indireto: 100mA a 300mA

No caso de uma falta interna em algum equipamento ou falha na isolação, peças de metal podem tornar-se "vivas" (energizadas).

Proteção contra incêndio: 500mA

Correntes para terra com este valor podem gerar arcos / faíscas e provocar incêndios.

Tabela 26 - Fatores de potência para correntes de curto-circuito

I <sub>cc</sub> (kA)	1,5 a 3	3,1 a 4,5	4,6 a 6,0	6,1 a 10,0	10,1 a 20,0	Acima de 20
Cos φ	0,9	0,8	0,7	0,5	0,3	0,25

Fonte: Walenia (2008, p. 251).

$$I_{cc2} = (22) / \sqrt{((484/I_{cc1}^2) + ((100 \times FP \times L) / (I_{cc1} \times S)) + (5 \times L^2 / S^2))}$$

Fórmula: Cálculo da corrente de curto-circuito na jusante em circuitos alimentados em 380 V (fase-fase).

$$I_{cc2} = (12,7) / \sqrt{((162/I_{cc1}^2) + ((57 \times FP \times L) / (I_{cc1} \times S)) + (5 \times L^2 / S^2))}$$

Fórmula: Cálculo da corrente de curto-circuito na jusante em circuitos alimentados em 380 V (fase-fase).

Fonte: Walenia (2008, p. 250).

Onde:

I<sub>cc2</sub> → Corrente de curto circuito presumida (jusante)

I<sub>cc1</sub> → Corrente de curto circuito no transformador (montante)

S → Seção do condutor

L → Afastamento entre o montante e a jusante do circuito

FP → Fator de Potência

Este cálculo da corrente de curto-circuito permite que sejam dimensionados os dispositivos de proteção adotando critérios de seletividade, instalando dispositivos de proteção com valor de corrente de curto-circuito decrescentes para um mesmo tempo, à medida que a proteção segue em direção à jusante do circuito.

Dentre os muitos conceitos aprendidos da segunda seção, você pôde conhecer: tipo de Isolação dos condutores, maneira de instalar o circuito, corrente do circuito (Corrente de Projeto), número de Condutores carregados do circuito, 5 de correção da corrente de projeto e diversos cálculos de corrente de curto-circuito.

Na próxima seção, serão os equipamentos que atuam na proteção de motores, de incêndio, contatos diretos e indiretos.

## SEÇÃO 3

### Proteções para equipamentos e pessoas

Outra parte do dimensionamento de sistemas de proteção visa a segurança de equipamentos e pessoas. Neste caso, tratam-se de equipamentos dos motores das máquinas, responsáveis pelo seu funcionamento.

A proteção de motores objetiva detectar o aumento de temperatura e evitar que as bobinas internas do motor sofram danos que inutilizem o funcionamento do motor.

A seguir, são relacionados os principais sensores térmicos usados na proteção de motores:

	Termoresistor	Termistor (PTC e NTC)	Termostato	Protetor térmico
Mecanismo de proteção	Resistência calibrada	Resistor de avalanche	- Contatos móveis; - Bimetálicos	Contatos móveis
Disposição	Cabeça de bobina	Cabeça de bobina	- Inserido no circuito; - Cabeça de bobina.	Inserido no circuito
Forma de Atuação	Comando externo de atuação na proteção	Comando externo de atuação na proteção	- Atuação direta; - Comando externo de atuação na proteção.	Atuação direta
Limitação de Corrente	Corrente de comando	Corrente de comando	- Corrente do motor; - Corrente do comando.	Corrente do motor
Tipo de Sensibilidade	Temperatura	Temperatura	Corrente e temperatura	Corrente e temperatura
Número de unidades por motor	3 ou 6	3 ou 6	3 ou 6 1 ou 3	1
Tipos de comando	Alarme e/ou desligamento	Alarme e/ou desligamento	- Desligamento - Alarme e/ou desligamento	Desligamento

Quadro 9 - Comparativo entre os sistemas de ligação mais comuns em motores

Fonte: WEG (2004, p. D-26).

Quando estes motores são ligados na instalação elétrica da indústria, são usadas proteções externas ao motor como: fusíveis, disjuntores e comandos a partir de sensores térmicos. Dependendo de seu regime de operação e de seu acionamento, poderá ocorrer, mesmo assim, sobreaquecimento. A tabela a seguir, relaciona as causas de sobreaquecimento de motores:

Tabela 27 - Comparativo entre os sistemas de proteção para motores

Causas de sobreaquecimento	Proteção em função da corrente		Proteção com sondas térmicas no motor
	Só fusível ou disjuntor	Fusível e protetor térmico	
Sobrecarga com corrente 1.2 x a corrente nominal	0	2	2
Regimes de carga S1 a S10	0	1	2
Frenagens reversões e funcionamento com partidas frequentes	0	1	2
Funcionamento com mais de 15 partidas por hora	0	1	2
Rotor bloqueado	1	1	2
Falta de fase	0	1	2
Varição de tensão excessiva	0	2	2
Varição de frequência na rede	0	2	2
Temperatura ambiente excessiva	0	0	2
Aquecimento externo provocado por rolamentos, correias, polias etc	0	0	2
Obstrução da ventilação	0	0	2

Legenda:

0 → Não Protegido

1 → Semi-protegido

2 → Totalmente protegido

Fonte: WEG (2004, p. D-26).

### DICA

“O regime de serviço ou regime de carga, é o grau de regularidade da carga a que o motor é submetido. Motores normais são projetados para regime contínuo (a carga constante), por tempo indefinido, e igual à potência nominal do motor” (WEG, 2004, p. D-26).

A seleção de fusíveis, do tipo D ou NH para proteção de motores, segue o mesmo padrão como para a seleção de um disjuntor, contudo, deve-se também considerar a influência da corrente de partida do motor. A seguir, é apresentado um exemplo de curvas para fusíveis do tipo D:

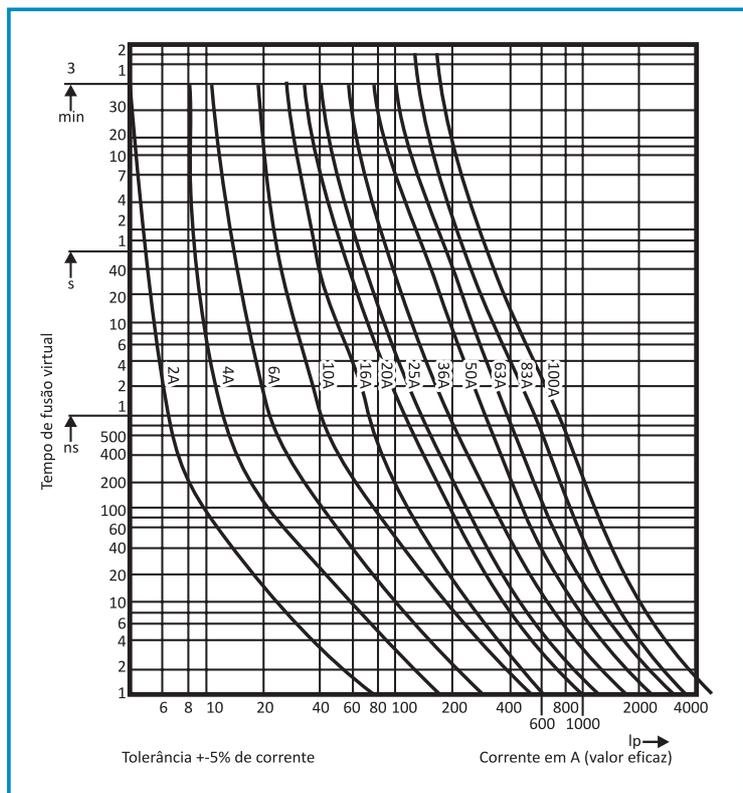


Figura 18 - Curva característica tempo/corrente para fusíveis DIAZED

Fonte: Siemens (2010).

Quanto à proteção de pessoas, consideram-se os riscos de um choque elétrico. O choque elétrico pode ocorrer em função de uma das seguintes situações:

- Por contato com circuito energizado;
- Por contato com corpo eletrificado;
- Por descarga atmosférica.

Em algumas situações, como locais contendo banheiras ou chuveiros, piscinas, saunas, pode ser necessária a realização de proteção adicional, devido ao aumento do risco de choque elétrico, sendo esta proteção realizada por meio da equipotencialização suplementar e o uso de dispositivo diferencial-residual (DR) de alta sensibilidade (inferior a 30mA).

Um dispositivo DR atua quando detecta uma diferença de corrente (em relação a que entra e sai de um circuito – uma fuga de corrente) ele atua desligando a energia e evitando que o choque atinja valores de corrente maiores e possam causar danos a pessoas e instalações. Veja a foto:



Figura 19 - Disjuntor DR  
a) → Disjuntor DR monofásico.  
b) → Disjuntor DR trifásico.

Porém para seu funcionamento correto, é necessário observar as recomendações da NBR5410:2004 para instalação do DPS segundo o esquema de aterramento, veja a tabela seguinte:

Tabela 28 - Uso de DR e esquema de aterramento

Esquema de aterramento		Uso do DR		
		Proibido	Recomendado	Obrigatório
TN	C	X		
	S		X	
	C-S		X	
TT				X
IT*			X	

\* para a segunda falta  
Fonte: Walenia (2008, p. 271).

## SEÇÃO 4

### Seleção de dutos

Na 4ª seção, você conhecerá algumas considerações importantes para instalação de dutos na passagem dos condutores num circuito.

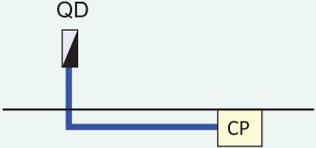
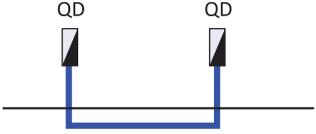
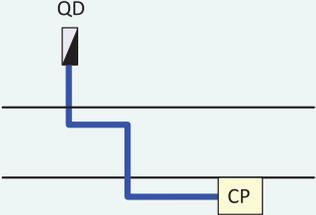
A taxa de ocupação (interna) de dutos deve respeitar as seguintes recomendações (WALENIA, 2008, p. 75):

- 53% no caso de um condutor ou cabo:
- 31% no caso de dois condutores ou cabos
- 40% no caso de três ou mais condutores ou cabos

No dimensionamento de condutores, também deve ser levado em consideração a distância máxima que esse duto se estende.

O caminho pode ser retilíneo ou conter uma série de curvas, pode estar na área interna da edificação ou na área externa. A tabela a seguir resume as diferenças e os limites dessa distância:

Tabela 29 - Percurso máximo de um duto

Situação	Comprimento máximo (m)		Desenho
	Área interna	Área externa	
Sem curvas	15	30	
1 curva	12	27	
2 curvas	9	24	
3 curvas	6	21	

Fonte: Walenia (2008, p. 75).

Reduzir a distância em função do número de curvas, tem por objetivo facilitar a passagem dos condutores durante a execução do projeto. Note que nesse aspecto, o quadro de distribuição (QD) e a caixa de passagem (CP) têm grande papel pois servem como passagem e derivação dos circuitos.

#### DICA

Normalmente os fabricantes de dutos e condutores, fornecem tabelas padronizadas com as capacidades de agrupamentos de circuitos de mesma seção em dutos.

A seguir, é apresentada uma tabela que relaciona o agrupamento de condutores em duto de PVC:

Tabela 30 - Ocupação máxima de eletrodutos de PVC por condutores com a mesma bitola

Seção Nominal (mm <sup>2</sup> )	Número de condutores no eletroduto									
	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
	Tamanho nominal do eletroduto em mm									
1,5	16	16	16	16	16	16	20	20	20	
2,5	16	16	16	20	20	20	20	25	25	
4	16	16	20	20	20	25	25	25	25	
6	16	20	20	25	25	25	25	32	32	
10	20	20	25	25	32	32	32	40	40	
16	20	25	25	32	32	40	40	40	40	
25	25	32	32	40	40	40	50	50	50	
35	25	32	40	40	50	50	50	50	60	
50	32	40	40	50	50	60	60	60	75	
70	40	40	50	60	60	60	75	75	75	
95	40	50	60	60	75	75	85	85	85	
120	50	50	60	75	75	75	85	85	xxx	

Fonte: Lima (2001, p. 153).

Na unidade que se finda, você estudou os seguintes assuntos: a distribuição de energia, os condutores utilizados para essa distribuição, sua proteção e instalação, os equipamentos usados na proteção de pessoas e máquinas, além da escolha de dutos e suas formas de instalar.

Na próxima unidade, serão apresentadas formas de proteção atmosférica, num projeto elétrico industrial.