



MANUAL PRYSMIAN DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

As normas brasileiras são elaboradas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Em particular, as normas de eletricidade estão a cargo do COBEI, Comitê Brasileiro de Eletricidade ABNT/CB-03, um dos 60 Comitês Brasileiros que compõem a ABNT.

O COBEI é composto por mais de 70 subcomitês, que desenvolvem normas para padronização da terminologia, como é o caso da SC-03.001, até conservação de energia, a cargo da SC-03.515.

A norma ABNT NBR 5410 é de responsabilidade do SC-03.064, enquanto as normas específicas de cabos e cordões elétricos são de responsabilidade da SC-03.020.

NORMAS ESPECÍFICAS

ABNT NBR NM 247-3	Cabos isolados com policloreto de vinila (PVC) para tensões nominais até 450/750 V, inclusive Parte 3: Condutores isolados (sem cobertura) para instalações fixas (IEC 60227-3, MOD)
ABNT NBR 13248	Cabos de potência e controle e condutores isolados sem cobertura, com isolamento extrudado e com baixa emissão de fumaça para tensões até 1 kV - Requisitos de desempenho
ABNT NBR 13249	Cabos e cordões flexíveis para tensões até 750 V – Especificação ◆ Até a conclusão desta revisão, esta norma permanece cancelada e, pela ABNT, substituída pelas normas: ◆ ABNT NBR NM 244:2009 - ABNT NBR NM 247-5:2009 - ABNT NBR NM 287-1:2009 - ABNT NBR NM 287-2:2009 - ABNT NBR NM 287-3:2009 - ABNT NBR NM 287-4:2009 ◆ Estas análises ainda não são aplicadas devido à uma indefinição do Inmetro quanto à certificação compulsória destes tipos de cabos e cordões.
ABNT NBR 7286	Cabos de potência com isolamento extrudado de borracha etilenopropileno (EPR) para tensões de 1 kV a 35 kV - Requisitos de desempenho

ABNT NBR 7288	Cabos de potência com isolamento sólida extrudada de cloreto de polivinila (PVC) ou polietileno (PE) para tensões de 1 kV a 6 kV
ABNT NBR 7285	Cabos de potência com isolamento extrudada de polietileno termofixo (XLPE) para tensão de 0,6/1 kV - Sem cobertura – Especificação
ABNT NBR 7287	Cabos de potência com isolamento sólida extrudada de polietileno reticulado (XLPE) para tensões de isolamento de 1 kV a 35 kV - Requisitos de desempenho
ABNT NBR 7289	Cabos de controle com isolamento extrudada de PE ou PVC para tensões até 1 kV - Requisitos de desempenho
ABNT NBR 7290	Cabos de controle com isolamento extrudada de XLPE ou EPR para tensões até 1 kV - Requisitos de desempenho
ABNT NBR 8182	Cabos de potência multiplexados autossustentados com isolamento extrudada de PE ou XLPE, para tensões até 0,6/1 kV - Requisitos de desempenho
ABNT NBR 9024	Cabos de potência multiplexados autossustentados com isolamento extrudada de XLPE para tensões de 10kV a 35kV com cobertura - Requisitos de desempenho
ABNT NBR 6524	Fios e cabos de cobre duro e meio duro com ou sem cobertura protetora para instalações aéreas – Especificação
ABNT NBR 9113	Cabos flexíveis multipolares, com isolamento sólida extrudada de borracha sintética para tensões até 750 V
ABNT NBR 9375	Cabos de potência com isolamento sólida extrudada de borracha etilenopropileno (EPR) blindados, para ligações móveis de equipamentos para tensões de 3 kV a 25 kV

FORMULAS DA LEI DE OHM

Tensão = Corrente x Resistência
 U (volts, V) = I (ampères, A) x R (ohms, Ω)

Corrente = Tensão/Resistência
 I (A) = U (V)/ R (Ω)

Resistência = Tensão/Corrente
 R (Ω) = U (V)/ I (A)

Potência = Tensão x Corrente
 P (watts, W) = U (V) x I (A)

Manipulando as expressões acima obtemos outras que também podem ser úteis em aplicações específicas:

$P = I^2R$	$I = P/U$	$U = P/I$	$R = P/I^2$
$P = U^2/R$	$I = \sqrt{P/R}$	$U = \sqrt{PR}$	$R = U^2/P$

Todas essas expressões são diretamente aplicáveis a qualquer circuito resistivo, a qualquer trecho resistivo de um circuito, a qualquer circuito CC e a qualquer circuito CA (ou trecho de circuito) com fator de potência unitário.

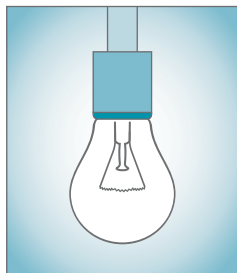
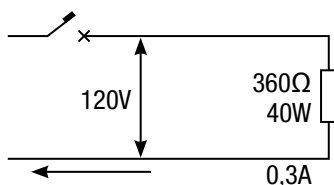
EXEMPLO 1

Qual a resistência de uma lâmpada incandescente onde vão assinalados os valores 40W e 115-125V?

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{120^2}{40} = 360\Omega$$

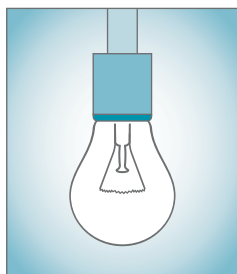
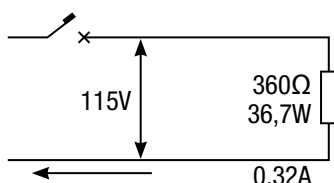
Qual a corrente absorvida pela lâmpada quando usada num circuito de 120V?

$$I = \frac{U}{R} = \frac{120}{360} = 0,3A$$



Qual a potência efetivamente consumida pela lâmpada, quando ligada a um circuito de 115V?

$$P = \frac{U^2}{R} = \frac{115^2}{360} = 36,7W$$



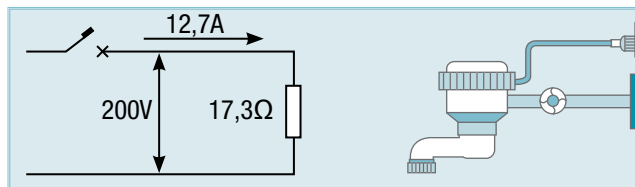
Qual a corrente que circulará?

$$I = \frac{U}{R} = \frac{115}{360} = 0,32A$$

EXEMPLO 2

Uma torneira elétrica traz as indicações 2800W e 220V. Qual o valor da resistência?

$$R = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{2800} = 17,3\Omega$$



Qual a corrente?

$$I = \frac{U}{R} = \frac{220}{17,3} = 12,7A$$

Se a torneira for ligada a um circuito de 230 V, qual a corrente absorvida?

$$I = \frac{U}{R} = \frac{230}{17,3} = 13,3A$$

Qual a potência consumida?

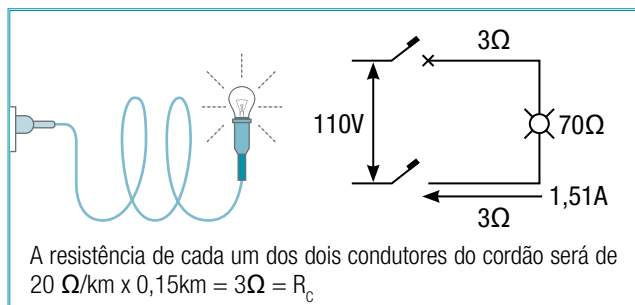
$$P = UI = 230 \times 13,3 = 3059W$$

CIRCUITOS COM CARGAS EM SÉRIE

Geralmente, numa instalação, as cargas de um circuito estão ligadas em paralelo. No entanto, existem casos em que temos que considerar ligações em série – por exemplo, em circuitos muito longos, quando temos uma carga alimentada por algumas dezenas de metros de condutor.

EXEMPLO

Uma lâmpada de prova de 200W, resistência de 70 Ω , alimentada por diversas extensões de cordão flexível, cuja resistência (dada pelo fabricante) é de 20 Ω /km. A tensão na tomada onde é ligada a alimentação é de 110V e o comprimento total do cordão 150m. Qual será a tensão aplicada à lâmpada?



Num circuito série, a corrente é a mesma em todas as cargas ligadas, e a resistência equivalente do circuito é igual à soma das resistências individuais das cargas.

No exemplo temos $\longrightarrow R_{EQ} = 3 + 70 + 3 = 76\Omega$

A corrente será $\longrightarrow I = \frac{U}{R_{EQ}} = \frac{115}{76} = 1,51A$

A tensão aplicada a cada carga será o produto da corrente pela respectiva resistência. A tensão em cada um dos dois condutores será a mesma

$$U_c = I \times R_c = 1,51 \times 3 = 4,53V$$

A tensão na lâmpada será $U_L = I \times R_L = 1,51 \times 70 = 105,7V$

Podemos também dizer que a tensão na lâmpada será igual à tensão na tomada menos a tensão nos condutores, isto é,

$$U_L = 115 - (4,53 + 4,53) = 115 - 9,06 = 105,9V$$

Quando os cálculos são feitos de modos diferentes, sempre aparecem pequenas variações nas respostas, causadas pelo número de decimais e pelos arredondamentos.

A tensão nos condutores não tem nenhuma aplicação direta; ela apenas reduz a tensão na carga. No exemplo, as "perdas" de tensão chegam a

$$4,53 + 4,53 = 9,06V$$

que é a chamada **queda de tensão** do circuito, que poderíamos indicar em porcentagem, por

$$\frac{9,06}{115} \times 100 = 7,8\%$$

CIRCUITOS COM CARGAS EM PARALELO

Nas instalações elétricas, a grande maioria dos circuitos possui cargas em paralelo. Nesses circuitos, um dos cálculos mais comuns consiste em determinar a corrente total exigida pelas cargas, a fim de dimensionar a seção dos condutores e a proteção do circuito.

Num circuito com cargas em paralelo (se desprezarmos a queda de tensão nos condutores), a cada uma das cargas estará aplicada a mesma tensão e a corrente total será a soma das correntes de cada carga individual.

A lei de Ohm pode ser aplicada a cada uma das cargas para determinar as correntes, como será visto nas aplicações que se seguem.

RESISTÊNCIA EQUIVALENTE

A resistência de uma carga específica geralmente não é de interesse, exceto como um passo para encontrar-se a corrente ou a potência consumida. Assim, a corrente total, que circula num circuito com cargas em paralelo, pode ser determinada achando-se inicialmente a "resistência equivalente" do circuito, usando a expressão

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \frac{1}{R_3} + \dots$$

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{P_1}{U_1^2} + \frac{P_2}{U_2^2} + \frac{P_3}{U_3^2} + \dots$$

A resistência de um equipamento elétrico é fixada em seu projeto e qualquer cálculo, envolvendo essa grandeza, deverá utilizar a tensão nominal do equipamento e não a do circuito.

Em outras palavras, as tensões U_1, U_2, U_3 podem ser diferentes entre si, caso as cargas ligadas ao circuito tenham tensões nominais diferentes.

Se todas as cargas tiverem a mesma tensão nominal, a expressão anterior pode ser simplificada para

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{U^2} + \dots$$

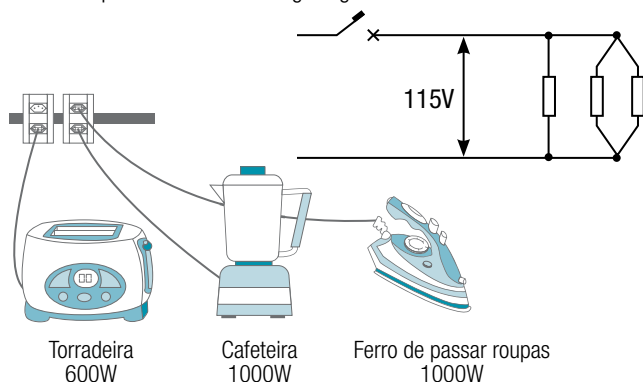
Onde P_1, P_2, \dots são as potências nominais e U a tensão nominal comum. Portanto,

$$\frac{1}{R_{EQ}} = \frac{\text{soma das potências nominais}}{(\text{tensão nominal})^2}$$

$$R_{EQ} = \frac{(\text{tensão nominal})^2}{\text{soma das potências nominais}}$$

EXEMPLO

O circuito de 20A mostrado (de tomadas de cozinha) terá capacidade suficiente para alimentar as cargas ligadas?



Geralmente esses aparelhos têm tensão nominal de 115V; portanto,

$$R_{EQ} = \frac{115^2}{2700} = 4,9\Omega$$

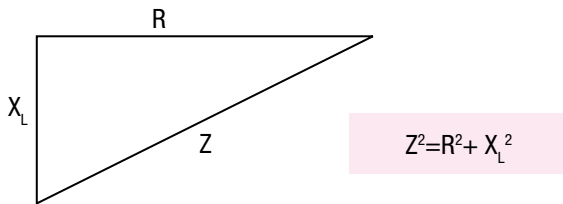
A corrente do circuito será

$$I = \frac{115}{4,9} = 23,5A$$

Logicamente um circuito de 20A não poderá alimentar essas 3 cargas simultaneamente, pois o disjuntor atuará abrindo o circuito. É fácil verificar que se o circuito fosse de 25A as 3 cargas poderiam ser alimentadas normalmente (não considerando que certos disjuntores podem operar com 80% de sua corrente nominal).

IMPEDÂNCIA EM CIRCUITOS INDUTIVOS

A maioria dos circuitos encontrados em instalações elétricas contém indutância. Em alguns circuitos como, por exemplo, os que alimentam iluminação incandescente ou aquecedores a resistor (chuveiros, torneiras, etc.), a indutância é tão pequena que pode ser ignorada. Em outros, como os que servem a motores, reatores de lâmpadas a vapor, transformadores, etc., a indutância pode ser bastante significativa. A corrente através de uma resistência está em fase com a tensão; a corrente através de uma indutância está atrasada de 90°, em relação à tensão. A resistência R e a reatância indutiva X_L, que se opõem à passagem dessas correntes, podem ser consideradas defasadas de 90°. A oposição total à corrente, isto é, a impedância Z, pode ser representada pela hipotenusa do triângulo formado por R, X_L e Z.



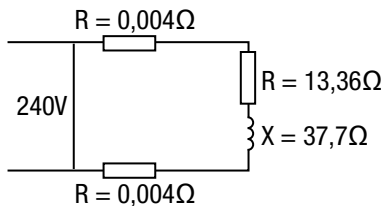
Portanto, num circuito contendo em série resistência e indutância

$$Z = \sqrt{R^2 + X_L^2}$$

A impedância, como a resistência e a reatância, é medida em ohms. Ela representa a "resistência aparente" de um circuito à passagem de corrente alternada, isto é,

$$I(A) = \frac{U(V)}{Z(\Omega)}$$

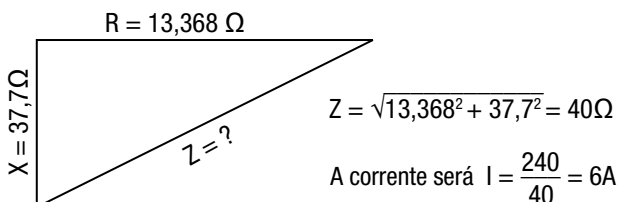
EXEMPLO



Para o circuito acima, determine a impedância e a corrente. Trata-se de um circuito série e, nessas condições, a resistência total (equivalente) será a soma das resistências, ou seja,

$$0,004 + 0,004 + 13,36 = 13,368\Omega$$

Essa resistência está em série com a reatância indutiva de 37,7 Ω. Podemos construir um triângulo, do qual tiramos

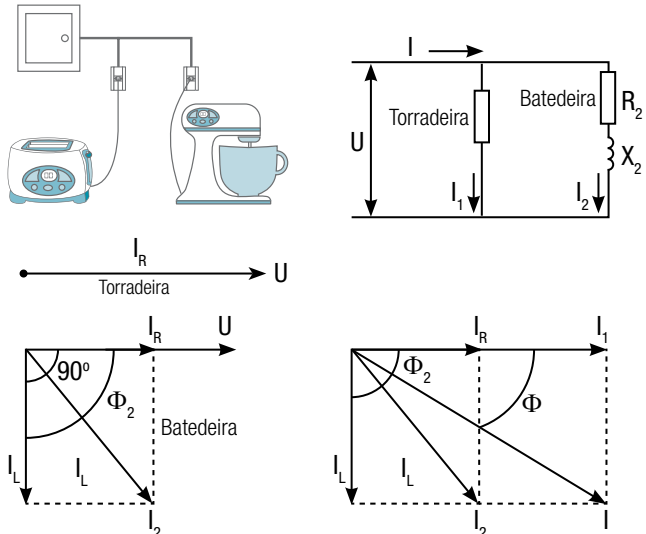


ANÁLISE FASORIAL DE UM CIRCUITO

O circuito mostrado está alimentando 2 tomadas: na primeira está ligada uma torradeira e na segunda uma bateadeira. As duas cargas estão em paralelo.

No trecho de circuito correspondente à torradeira, a corrente I₁, através da resistência R₁, do aparelho, está em fase com a tensão do circuito, U. (O fator de potência desse trecho é 1,0).

No trecho correspondente à bateadeira, a corrente I_R, através da resistência R₂ do motor, está em fase com U; a corrente I_L através da reatância indutiva X₂ do motor, está atrasada de 90° em relação a U. A corrente resultante I₂, através do motor está atrasada de um ângulo Φ em relação a U. (Φ co-seno de Φ é fator de potência do motor). Se os dois diagramas fasoriais forem combinados, o resultado será o diagrama fasorial do circuito série-paralelo. A corrente total I é a resultante de I₁ e I₂; está atrasada de um ângulo Φ em relação à tensão U. (O co-seno de Φ é o fator de potência do circuito).



FÓRMULAS APLICÁVEIS

- ◆ $I_1 = \frac{U}{R_1}$
- ◆ $I_L = \frac{I_2 X_2}{Z_2}$
- ◆ $I_2 = \frac{U}{Z_2}$
- ◆ $I_R = \frac{I_2 R_2}{Z_2}$
- ◆ $Z_2 = \sqrt{R_2^2 + X_2^2}$
- ◆ $I = \sqrt{(I_1 + I_R)^2 + I_L^2}$

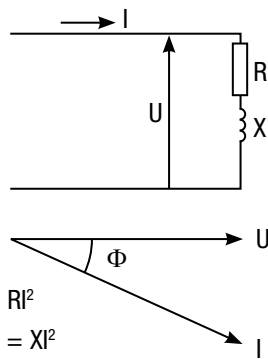
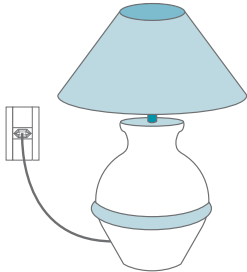
FATOR DE POTÊNCIA DO MOTOR

$$= \cos\Phi = \frac{I_R}{I_2} = \frac{R_2}{Z_2}$$

FATOR DE POTÊNCIA DO CIRCUITO

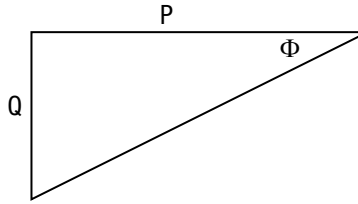
$$= \cos\Phi = \frac{I_R + I_1}{I}$$

POTÊNCIA EM CIRCUITOS DE CORRENTE ALTERNADA



Potência ativa - $P = UI \cos \Phi = RI^2$
 Potência reativa - $Q = UI \sin \Phi = XI^2$
 Potência aparente - $S = UI = ZI^2$

TRIÂNGULO DE POTÊNCIAS



$$P = S \cos \Phi$$

$$Q = S \sin \Phi$$

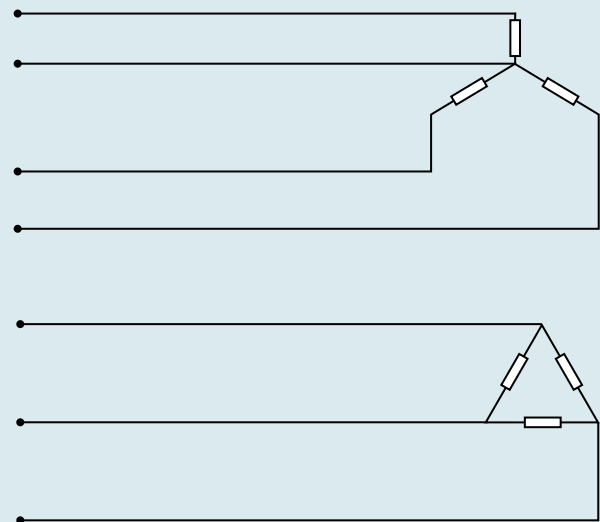
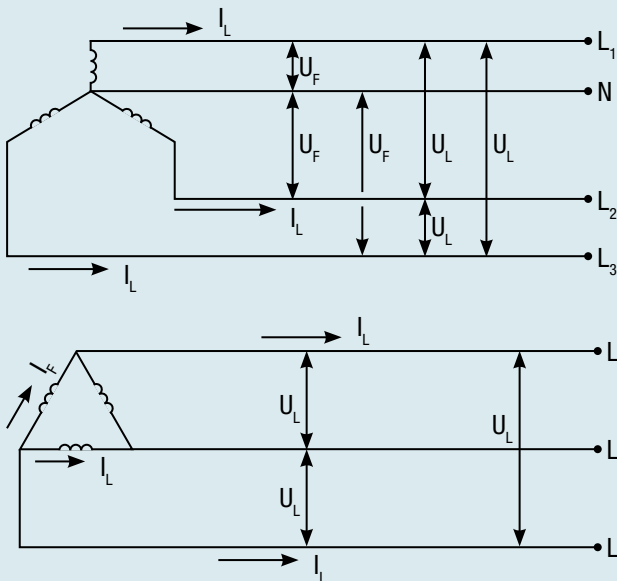
$$\frac{Q}{P} = \tan \Phi$$

housepress - versão B - 03/05/2010

CIRCUITOS TRIFÁSICOS

Ligação em estrela (Y)

- ◆ Tensão de linha - U_L
- ◆ Tensão de fase - U_F
- ◆ Corrente de linha - I_L
- ◆ Corrente de Fase - I_F



Expressões de potência

Potência ativa - $P = \sqrt{3} U_L I_L \cos \Phi$
 Potência reativa - $Q = \sqrt{3} U_L I_L \sin \Phi$
 Potência aparente - $S = \sqrt{3} U_L I_L$

$$U_L = \sqrt{3} U_F$$

$$I_L = I_F$$

$$I_L = \sqrt{3} I_F$$

$$U_L = U_F$$

EXEMPLO

Um motor elétrico trifásico consome 11,8cv, tem um fator de potência 0,85 e é alimentado em 220V. Calcular a corrente de linha do circuito e as potências reativa e aparente.

Temos:

$$P = 11,8 \text{cv} = 11,8 \times 0,736 = 8,68 \text{kW}$$

$$U_L = 220 \text{V}; \cos \Phi = 0,85$$

Da expressão:

$$I_L = \frac{P}{\sqrt{3} U_L \cos \Phi} =$$

$$= \frac{8,68 \times 10^3}{\sqrt{3} \times 220 \times 0,85} = 26,8 \text{A}$$

$$S = \sqrt{3} U_L I_L = \sqrt{3} \times 220 \times 26,8 =$$

$$= 10.200 \text{VA} = 10,2 \text{kVA}$$

Do triângulo de potências: $S^2 = P^2 + Q^2$ e

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}$$

$$Q = \sqrt{104 - 75,3} = \sqrt{28,7} = 5,36 \text{kVA}$$

CAPÍTULO II

Da usina ao consumidor

Um **sistema elétrico**, na sua concepção mais geral, é constituído pelos equipamentos e materiais necessários para transportar a energia elétrica desde a “fonte” até os pontos em que ela é utilizada. Desenvolve-se em quatro etapas básicas: geração, transmissão, distribuição e utilização, como vai esquematizado na Figura abaixo.

A **geração** é a etapa desenvolvida nas usinas geradoras, que produzem energia elétrica por transformação, a partir das fontes primárias. Podemos classificar as usinas em:

- ◆ hidroelétricas, que utilizam a energia mecânica das quedas d'água;
- ◆ termoelétricas, que utilizam a energia térmica da queima de combustíveis (carvão, óleo diesel, gasolina, gás, etc.);
- ◆ nucleares, que utilizam a energia térmica produzida pela fissão nuclear de materiais (urânio, tório, etc.);
- ◆ eólicas, que utilizam a energia mecânica dos ventos;
- ◆ fotovoltaicas, que utilizam a luz do sol para gerar energia elétrica.

A etapa seguinte é a **transmissão**, que consiste no transporte da energia elétrica, em tensões elevadas, desde as usinas até os centros consumidores. Muitas vezes segue-se à transmissão uma etapa intermediária (entre ela e a distribuição) denominada **subtransmissão**, com tensões um pouco mais baixas. Nas linhas de transmissão aéreas são usados, geralmente, cabos nus de alumínio com alma de aço ou cabos de ligas de alumínio, que ficam suspensos em torres metálicas através de isoladores. Nas linhas de transmissão subterrâneas são usados cabos isolados, tais como os cabos a óleo fluido OF, de fabricação exclusiva da Prysmian e que foram muito utilizados até o final dos anos 1980, e os cabos isolados com borracha etileno-propileno (EPR) e polietileno reticulado (XLPE).

Grandes consumidores, tais como complexos industriais de grande porte, são alimentados pelas concessionárias de energia elétrica a partir

das linhas de transmissão ou de subtransmissão. Nesses casos, as etapas posteriores de abaixamento da tensão são levadas a efeito pelo próprio consumidor.

Segue-se a **distribuição**, etapa desenvolvida, via de regra, nos centros consumidores. As linhas de transmissão alimentam subestações abaixadoras, geralmente situadas nos centros urbanos; delas partem as **linhas de distribuição primária**. Estas podem ser aéreas, com cabos nus ou cobertos (redes protegidas) de alumínio ou cobre, suspensos em postes, ou subterrâneas, com cabos isolados.

As **linhas de distribuição primária** alimentam diretamente indústrias e prédios de grande porte (comerciais, institucionais e residenciais), que possuem subestação ou transformador próprios. Alimentam também transformadores de distribuição, de onde partem as **linhas de distribuição secundária**, com tensões mais reduzidas. Estas alimentam os chamados pequenos consumidores: residências, pequenos prédios, oficinas, pequenas indústrias, etc. Podem, também, ser aéreas, normalmente com cabos isolados multiplexados de alumínio ou subterrâneas (com cabos isolados em EPR ou TR-XLPE).

Nos grandes centros urbanos, com elevado consumo de energia, ou condomínios residenciais dá-se preferência à distribuição (primária e secundária) subterrânea. Com a potência elevada a transportar, os cabos a serem empregados são de seção elevada, complicando bastante o uso de estruturas aéreas. Por outro lado, melhora-se a estética urbana, suprimindo-se os postes com seus inúmeros cabos, aumentando-se também a confiabilidade do sistema (não existe, por exemplo, interrupção no fornecimento de energia devido a choque de veículos com postes).

A última etapa de um sistema elétrico é a **utilização**. Ela ocorre, via de regra, nas **instalações elétricas**, onde a energia gerada nas usinas e transportada pelas linhas de transmissão e distribuição é transformada, pelos **equipamentos de utilização**, em energia mecânica, térmica e luminosa, para ser finalmente consumida.



1- Usina hidroelétrica | 2- Parque eólico | 3- Linha de transmissão | 4- Usina termoelétrica | 5- Subestação abaixadora
6- Indústria de grande porte | 7- Rede de distribuição | 8- MetrÓpole: consumidor residencial, comercial e industrial

Versão ampliada na página 18

CAPÍTULO II

A instalação elétrica de baixa tensão

GENERALIDADES

Uma **instalação elétrica** é o conjunto de componentes elétricos associados e com características coordenadas entre si, reunidos para uma finalidade determinada.

As **instalações de baixa tensão** são as alimentadas com tensões não superiores a 1000V, em CA, ou a 1500V, em CC.

As **instalações de extra-baixa tensão** são as alimentadas com tensões não superiores a 50V, em CA, ou a 120V, em CC.

Classificação das Tensões		CA	CC
Extra-Baixa	não superior a	50V	120V
Baixa	não superior a	1000V	1500V
Alta	superior a	1000V	1500V

Os elementos necessários ao funcionamento de uma instalação são chamados de **componentes**.



Os **componentes** de uma instalação, isto é, os elementos que a compõem e são necessários ao seu funcionamento, são:

as **linhas elétricas**, que são constituídas pelos condutores elétricos, seus elementos de fixação ou suporte (abraçadeiras, ganchos, bandejas, etc.), ou de proteção mecânica (elementos, calhas, etc.), sendo o conjunto destinado a transportar energia elétrica ou a transmitir sinais elétricos:

os **equipamentos**, que são elementos que executam as funções de

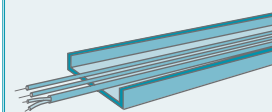
- ◆ **alimentação da instalação** (geradores, transformadores e baterias);
- ◆ **comando e proteção** (chaves em geral, disjuntores, dispositivo, fusíveis, contadores, etc.);
- ◆ **utilização**, transformando a energia elétrica em uma outra forma de energia que seja utilizável (equipamentos a motor, equipamentos a resistor, equipamentos de iluminação, etc.).

Linha elétrica constituída por condutores contidos num eletroduto

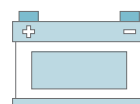


O eletroduto protege os condutores contidos contra agressões mecânicas (p. ex. choques) que poderiam danificá-los

Linha elétrica constituída por condutores elétricos numa bandeja



A bandeja suporta os condutores elétricos



Alimentação da instalação



Comando e proteção

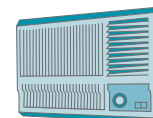
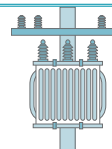


Utilização

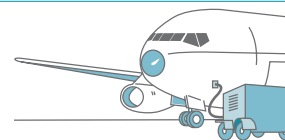
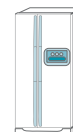
Os **equipamentos**, qualquer que seja o tipo, podem ser classificados em:

- ◆ **fixos**, que são instalados permanentemente num local determinado, como, por exemplo, um transformador num poste (alimentação), disjuntor num quadro (proteção), aparelho de ar condicionado em parede (utilização);
- ◆ **estacionários**, que são os fixos, ou aqueles que não possuem alça para transporte e cujo peso é tal que não possam ser movimentados facilmente, como, por exemplo, gerador provido de rodas (alimentação), geladeira doméstica (utilização);
- ◆ **portáteis**, que são movimentados quando em funcionamento, ou que podem ser facilmente deslocados de um lugar para outro, mesmo quando ligados à fonte de alimentação, como é o caso de certos eletrodomésticos (utilização), como enceradeira, aspirador de pó, etc.);
- ◆ **manuals**, que são os portáteis projetados para serem suportados pelas mãos durante sua utilização normal, como, por exemplo, as ferramentas elétricas portáteis.

equipamentos fixos



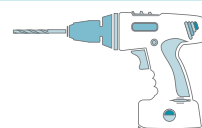
equipamentos estacionários



equipamentos portáteis



equipamentos manuais



CAPÍTULO II

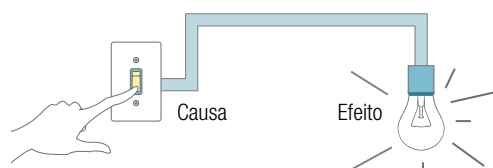
A instalação elétrica de baixa tensão

MANOBRA

Chamamos de **manobra** a mudança na configuração de um circuito (por exemplo, “abrir” ou “fechar”), feita manual ou automaticamente por dispositivo adequado e destinado a essa finalidade.

Comando é a ação destinada a garantir o desligamento, a ligação ou a variação da alimentação de energia elétrica de toda ou parte de uma instalação, em condições de funcionamento normal.

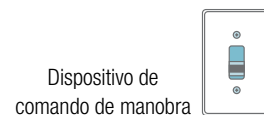
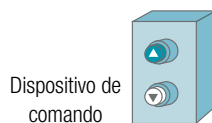
Podemos dizer que **“comando” é a causa que provoca a “manobra”, o efeito**. Assim, quando acionamos um interruptor de luz exercemos um comando, sendo que o efeito, o apagamento ou acendimento da luz, constitui uma manobra no circuito respectivo.



APARELHOS

O termo **aparelho elétrico** é geralmente usado para designar três tipos de equipamentos de utilização, que são:

- ◆ os **aparelhos eletrodomésticos**, destinados à utilização residencial ou análoga (enceradeiras, aspiradores de pó, liquidificadores, etc);
- ◆ os **aparelhos eletrofissionais**, destinados à utilização em estabelecimentos comerciais e de prestação de serviços (monitores, balanças, computadores, etc);
- ◆ os **aparelhos de iluminação**, conjuntos constituídos, no caso mais geral, por lâmpadas, luminária e acessórios (reator, starter, etc).



CHOQUE ELÉTRICO

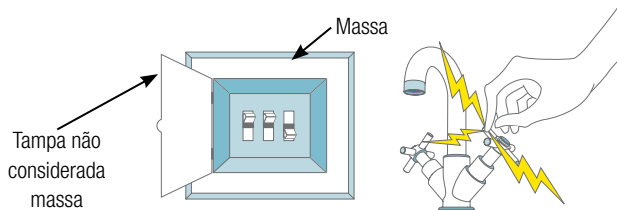
Choque elétrico é o efeito patofisiológico que resulta da passagem de uma corrente elétrica, a chamada **corrente de choque**, através do corpo de uma pessoa ou de um animal. No estudo da **proteção contra choques elétricos** devemos considerar 3 elementos fundamentais: parte viva, massa e elemento condutor estranho à instalação.

A **parte viva** de um componente ou de uma instalação é a parte condutora que apresenta diferença de potencial em relação à terra. Para as linhas elétricas falamos em **condutor vivo**, termo que inclui os condutores fase e o condutor neutro.

A **massa** de um componente ou de uma instalação é a parte condutora que pode ser tocada facilmente e que normalmente não é viva, mas que pode tornar-se viva em condições de faltas ou defeitos. Como exemplos de massa podemos citar as carcaças e invólucros metálicos de equipamentos, os condutos metálicos, etc.

Um **elemento condutor estranho à instalação** é um elemento condutor que não faz parte da instalação, mas nela pode introduzir um potencial, geralmente o da terra.

É o caso dos elementos metálicos usados na construção de prédios, das canalizações metálicas de gás, água, aquecimento, ar condicionado, etc. e dos equipamentos não elétricos a elas ligados, bem como dos solos e paredes não isolantes, etc.



Os choques elétricos numa instalação podem provir de dois tipos de contatos:

- ◆ os **contatos diretos**, que são os contatos de pessoas ou animais com partes vivas sob tensão;

- ◆ os **contatos indiretos**, que são os contatos de pessoas ou animais com massas que ficaram sob tensão devido a uma falha de isolamento.

Os **contatos diretos**, que a cada ano causam milhares de acidentes graves (muitos até fatais) são provocados via de regra por falha de isolamento, por ruptura ou remoção indevida de partes isolantes ou por atitude imprudente de uma pessoa com uma parte viva.

Terminais de equipamentos não isolados, condutores e cabos com isolamento danificada ou deteriorada, equipamentos de utilização velhos, etc., são as “fontes” mais comuns de choques por contatos diretos.

Observe-se, por exemplo, que o (mau) hábito de desconectar da tomada aparelhos portáteis (ferro de passar roupa, secador de cabelos, etc.) ou móveis (cortadores de grama, aspirador de pó, etc.), puxando o cabo ou cordão, aumenta em muito o perigo de acidentes elétricos.

Os **contatos indiretos**, por sua vez, são particularmente perigosos, uma vez que o usuário que encosta a mão numa massa, por exemplo, na carcaça de um equipamento de utilização, não vai suspeitar de uma eventual energização acidental, provocada por uma falta ou por um defeito interno no equipamento.

Como veremos, a ABNT NBR5410 dá uma ênfase especial à proteção contra contatos indiretos.

CHOQUE ELÉTRICO POR:



CARGA

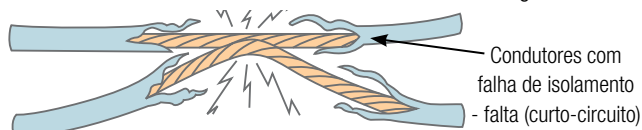
O termo **carga**, na linguagem usual de eletrotécnica, pode ter vários significados, a saber:

- ◆ conjunto de valores das grandezas elétricas (e mecânicas, no caso de máquinas) que caracterizam as solicitações impostas a um equipamento elétrico (transformador, máquina, etc.), em um dado instante, por um circuito elétrico (ou dispositivo mecânico, no caso de máquinas);
- ◆ equipamento elétrico que absorve potência;
- ◆ potência (ou corrente) transferida por um equipamento elétrico;
- ◆ potência instalada.

Por outro lado, para um circuito ou equipamento elétrico falamos em:

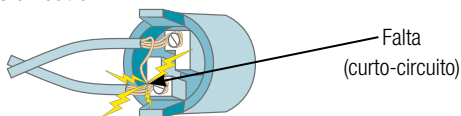
- ◆ **funcionamento em carga**, quando o circuito ou equipamento está transferindo potência, e em:
- ◆ **funcionamento em vazio**, quando o circuito ou o equipamento não está transferindo potência, sendo porém normais as outras condições de funcionamento.

Quando, numa instalação ou num equipamento, duas ou mais partes, que estejam sob potenciais diferentes, entram em contato acidentalmente, por falha de isolamento, entre si ou com uma parte aterrada, temos uma **falta**: por exemplo, dois condutores encostando um no outro, ou um condutor em contato com um invólucro metálico ligado à terra.



Uma falta pode ser **direta**, quando as partes encostam efetivamente, isto é, quando há contato físico entre elas, ou **não direta** quando não há contato físico e sim um arco entre as partes. Quando uma das partes for a terra falamos em **falta para terra**.

Um **curto-circuito** é uma falta direta entre condutores vivos, isto é, fases e neutro.



Qualquer corrente que exceda um valor nominal pré-fixado (por exemplo, a corrente nominal de um equipamento ou a capacidade de condução de corrente de um condutor) é chamada de **sobrecorrente**. Trata-se de um conceito exclusivamente qualitativo; assim, se tivermos um valor nominal de 50A, uma corrente de 51A, será uma sobrecorrente e uma de 5000A também será uma sobrecorrente.

Nas instalações elétricas, as sobrecorrentes podem ser de dois tipos:

- ◆ as **correntes de sobrecarga**, que são sobrecorrentes não produzidas por faltas, que circulam nos condutores de um circuito,
- ◆ as **correntes de falta**, que são as correntes que fluem de um condutor para outro e/ou para a terra, no caso de uma falta; em particular, quando a falta é direta e entre condutores vivos, falamos em **corrente de curto-circuito**.

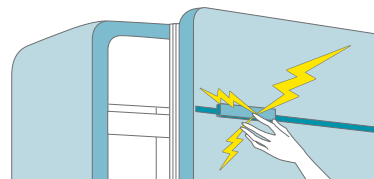
As correntes de sobrecarga que, como vimos, ocorrem em instalações “sadias”, isto é, sem falta, podem ser causadas por:

- ◆ subdimensionamento de circuitos - durante o projeto, erros de avaliação ou de cálculo podem levar o projetista a prever, para um circuito, uma corrente inferior à que circulará efetivamente durante o funcionamento;
- ◆ substituição de equipamentos de utilização previstos ou já instalados por outros de maior potência ou inclusão de equipamento de utilização não previstos inicialmente;
- ◆ motores elétricos que estejam acionando cargas excessivas para sua potência nominal.

Tais correntes, muito embora não sejam, via de regra, muito superiores às correntes nominais, devem ser eliminadas no menor tempo possível, sob pena de provocarem, por aquecimento, uma drástica redução na vida útil dos condutores.

As correntes de curto-circuito, por sua vez, são em geral muitíssimo superiores às correntes nominais e se não forem interrompidas podem provocar, em tempos extremamente curtos, o superaquecimento e a inutilização dos condutores, além de poderem ser o início de um incêndio.

A **corrente de fuga** é a corrente que, por imperfeição da isolamento, flui para a terra ou para elementos condutores estranhos à instalação.

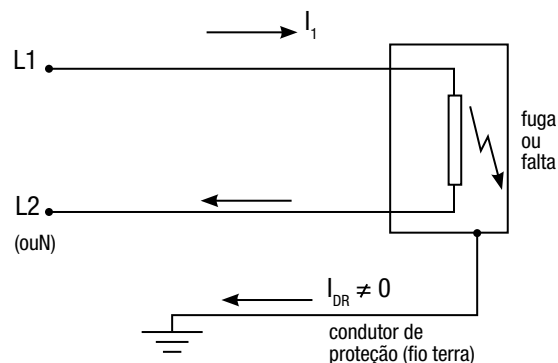
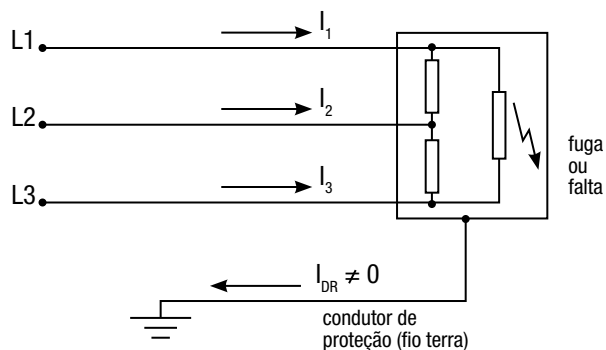


É importante observar que na prática sempre existe, em qualquer circuito, uma corrente de fuga, uma vez que não há, rigorosamente falando, isolantes perfeitos. No entanto, em condições normais, as correntes de fuga são extremamente baixas (só detectáveis por amperímetros muito sensíveis) e não chegam a causar problemas à instalação.

LIMITES DE CORRENTES DE FUGA DE EQUIPAMENTOS DE UTILIZAÇÃO

Aparelho	Correntes de Fuga admitidas (mA)	
	Aparelho de 220 V	Aparelho de 110 V
Eletrodoméstico a motor	< 3,5 (fixo) < 0,5 (portátil)	< 2,6 (fixo) < 0,4 (portátil)
Eletrodoméstico com aquecimento (ferro, torradeira, etc.)	< 3	< 2,3
Equipamento para tratamento de pele	< 0,5	< 0,4
Ferramenta portátil	< 0,5 (comum) < 0,1 (classe II)	< 0,4 (comum) < 0,08 (classe II)
Luminária	< 0,1	< 0,08
Chuveiro, torneira (com resistência blindada e isolamento classe II)	< 3	—

Consideremos um circuito de uma instalação. Em condições normais, se envolvermos com um amperímetro alicate, de uma só vez, todos os seus condutores vivos (fases e neutro, se existir) a leitura obtida será zero (indicando que toda a corrente que “vai”, volta). Se o circuito possuir uma corrente de fuga detectável ou estiver com uma falta para terra, a leitura do amperímetro será diferente de zero (indicando que parte da corrente vai para a terra). Nessas condições dizemos que a circuito possui uma **corrente diferencial-residual**, que, no caso, é a medida pelo amperímetro.



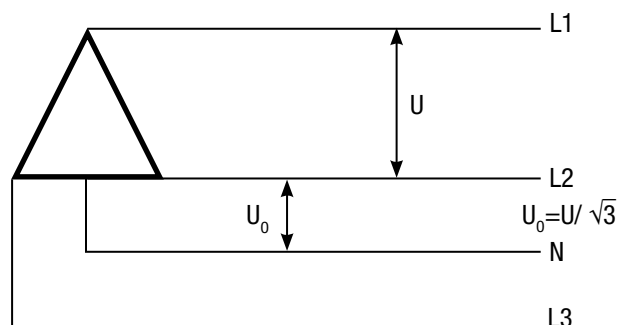
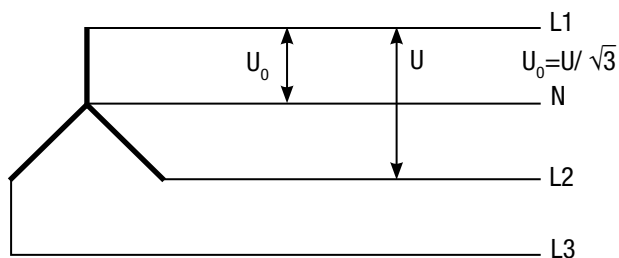
Havendo fuga ou falta no circuito a corrente diferencial-residual será diferente de zero.

TENSÕES

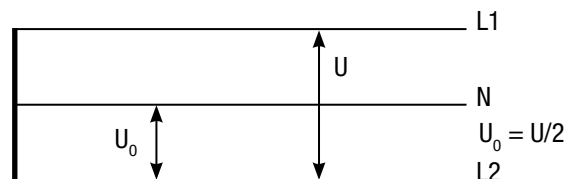
Os sistemas de distribuição e as instalações são caracterizadas por suas **tensões nominais**, dadas em valores eficazes. A tensão nominal de uma instalação alimentada por uma rede pública de baixa tensão é igual à da rede, isto é, do sistema de distribuição. Se a instalação for alimentada por um transformador próprio, sua tensão nominal é igual à tensão nominal do secundário do transformador.

As tensões nominais são indicadas por U_0/U ou por U , sendo U_0 a tensão fase-neutro e U a tensão fase-fase.

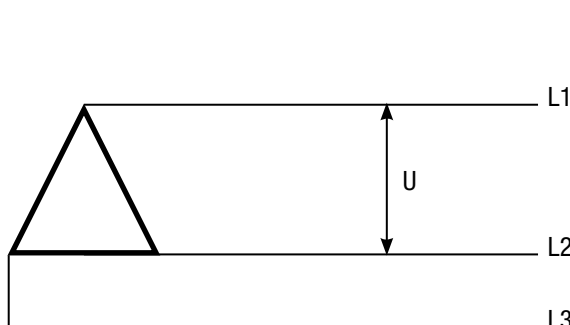
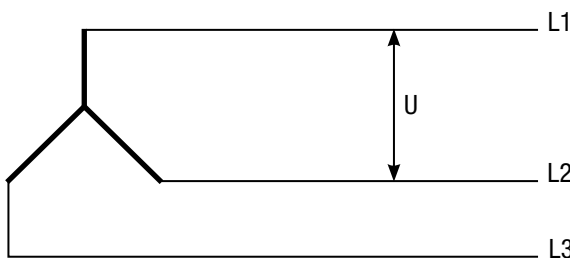
Sistemas trifásicos a 4 condutores



Sistema monofásico a 3 condutores



Sistemas trifásicos a 3 condutores



TENSÕES NOMINAIS DE SISTEMA DE BAIXA TENSÃO USADAS NO BRASIL

Sistemas Trifásicos a 3 ou 4 Condutores (V)	Sistemas Monofásicos a 3 condutores (V)
115/230 (*)	110/220
120/280 (*)	115/230 (*)
127/220 (*)	127/254 (*)
220/380 (*)	
220 (*)	
254/440	
440	
460	

(*) Usadas em redes públicas de baixa tensão

TENSÕES NOMINAIS DE EQUIPAMENTOS DE UTILIZAÇÃO NO BRASIL

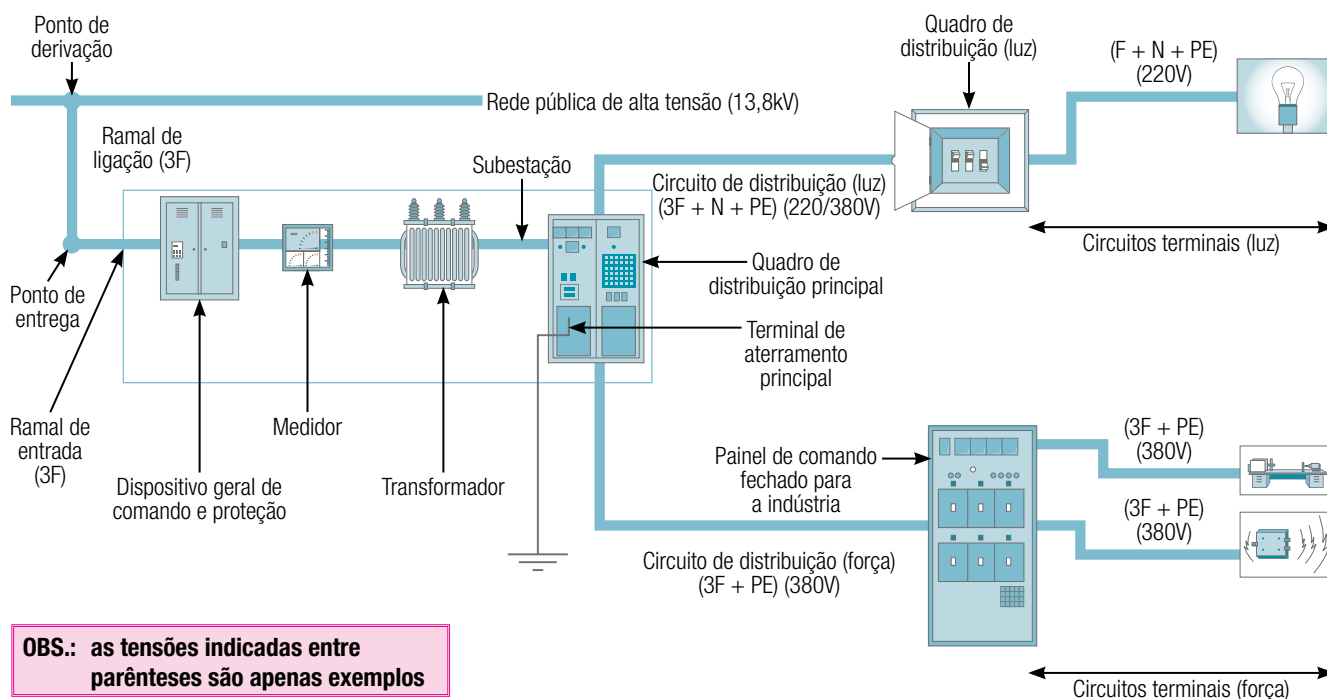
Tipo	Tensão Nominal (V)
Monofásicos	110
	115
	120
	127
	220
Trifásicos	220
	380
	400

INSTALAÇÃO

Setores de uma Instalação

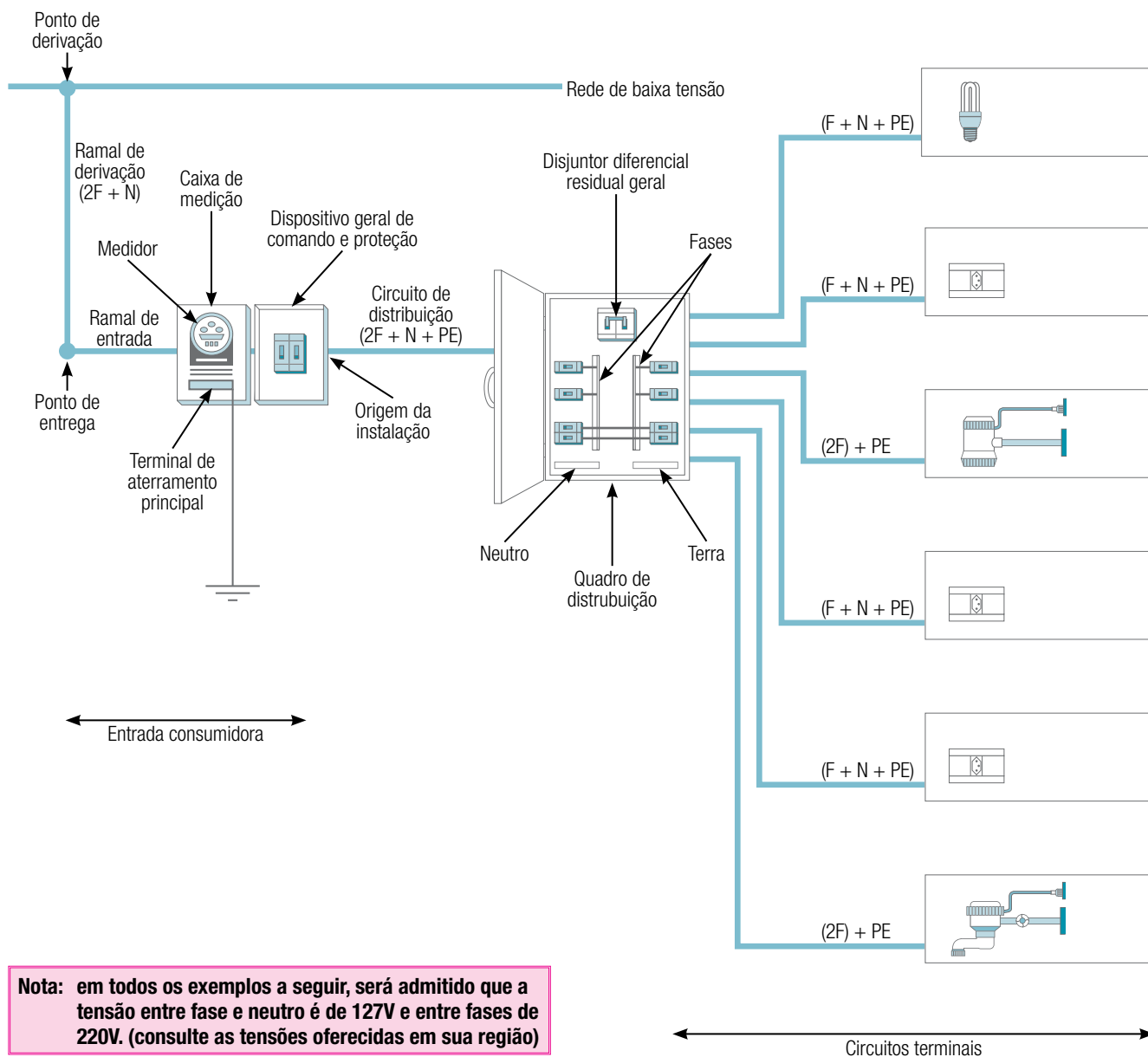
- ♦ **entrada de serviço** - conjunto de equipamentos/condutores/acessórios entre o ponto de derivação da rede e a proteção/medição (inclusive);
- ♦ **ponto de entrega** - ponto até o qual a concessionária se obriga a fornecer energia;
- ♦ **ramal de ligação** - conjunto de condutores/acessórios entre ponto de derivação e ponto de entrega;
- ♦ **ramal de entrega** - conjunto de condutores/acessórios entre ponto de entrega e a proteção/medição;
- ♦ **origem** - ponto de alimentação da instalação, a partir do qual aplica-se a NBR5410;
- ♦ **circuito de distribuição** - circuito que alimenta 1 ou mais quadros de distribuição;
- ♦ **circuito terminal** - ligado diretamente a equipamentos de utilização e/ou a tomadas de corrente;
- ♦ **quadro de distribuição** - equipamento que recebe e distribui energia, podendo desempenhar funções de proteção/seccionamento/controlar/medição.

SETORES DE INSTALAÇÃO DE UMA INDÚSTRIA (CASO TÍPICO)



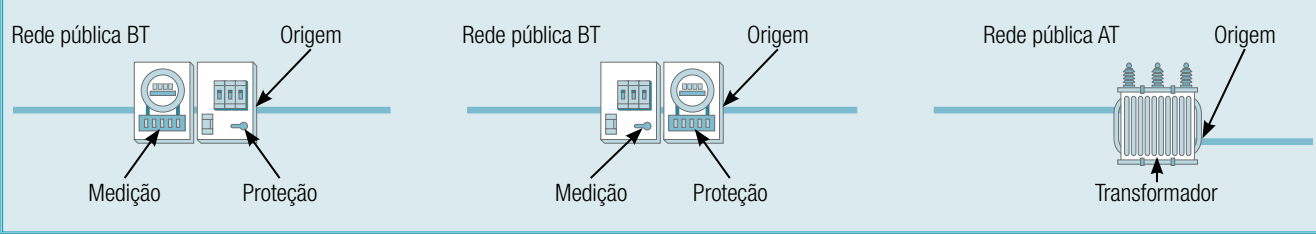
OBS.: as tensões indicadas entre parênteses são apenas exemplos

SETORES DA INSTALAÇÃO DE UMA RESIDÊNCIA (CASO TÍPICO)



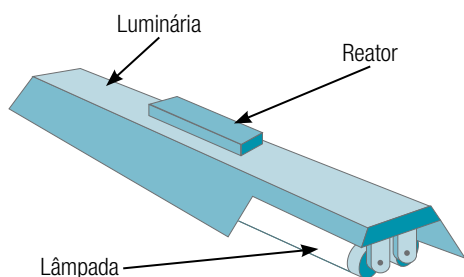
Nota: em todos os exemplos a seguir, será admitido que a tensão entre fase e neutro é de 127V e entre fases de 220V. (consulte as tensões oferecidas em sua região)

DEFINIÇÃO DE ORIGEM DA INSTALAÇÃO

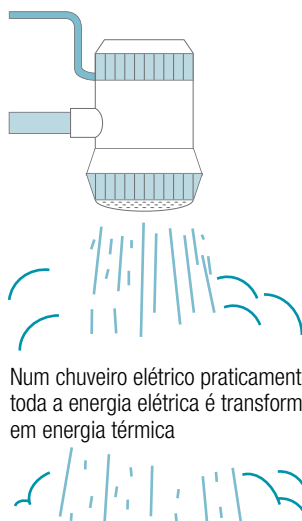


EQUIPAMENTOS DE UTILIZAÇÃO

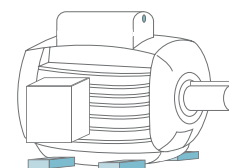
Os **equipamentos de utilização** são os componentes que possibilitam a utilização prática da energia elétrica, convertendo-a basicamente em energia mecânica, térmica e luminosa.



Um aparelho de iluminação fluorescente é constituído pelas lâmpadas, pela luminária e pelo reator. A energia elétrica é convertida principalmente em energia luminosa, sendo que uma pequena parte transforma-se em energia térmica, caracterizada pelo aquecimento do reator (perdas)



Num chuveiro elétrico praticamente toda a energia elétrica é transformada em energia térmica



Os motores elétricos, que estão presentes em grande parte dos equipamentos de utilização, convertem a energia elétrica em energia mecânica, sendo que, no processo, ocorrem perdas por aquecimento

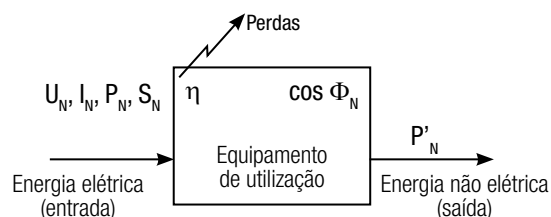
CLASSIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS DE UTILIZAÇÃO

Geral	Específica	Exemplos	Aplicação
Aparelho de iluminação	Incandescentes de descarga	Fluorescentes, a vapor de mercúrio, a vapor de sódio, de luz mista	Em todos os tipos de local e de instalação
Equipamentos não industriais	Eletroprofissionais Eletrodomésticos	Ver quadro na página 16	Em locais residenciais, comerciais, institucionais e mesmo nas indústrias, fora dos locais de produção.
	Ventilação, aquecimento e ar condicionado	Sistemas centrais de ar condicionado, ventilação e aquecimento	
	Hidráulicos e Sanitários	Bombas de recalque, compressores, ejetores de poços	
	Aquecimento de água	Sistemas centrais de aquecimento de água	
	Transporte vertical	Elevadores, escadas rolantes, monta-cargas	
	De cozinha e lavanderias	Equipamentos usados em cozinhas e lavanderias industriais, comerciais e institucionais	
	Especiais	Equipamentos hospitalares, de laboratórios e outros que não se enquadrem nas demais categorias	
Equipamentos industriais	De força-motriz	Compressores, ventiladores, bombas, equipamentos de levantamento e de transporte	Nas áreas de produção das indústrias
	Máquinas-ferramentas, Caldeiras e Solda	Tomos, fresas	
	Conversão	Retificadores, grupos motogeradores (conversão de corrente)	

Os equipamentos de utilização são caracterizados por valores nominais, indicados e garantidos pelos fabricantes:

- ◆ potência (ativa) nominal de saída, P'_N (em W, kW ou cv); no caso de motores é a potência indicada e refere-se à potência no eixo do motor; no caso de aparelhos de iluminação é a soma das potências das lâmpadas;
- ◆ potência (ativa) nominal de entrada, P_N (em W ou kW); difere da de saída em virtude das perdas normais do equipamento; é a indicada no caso de alguns aparelhos eletrodomésticos e eletroprofissionais;
- ◆ rendimento; $\eta = \frac{P'_N}{P_N}$
- ◆ tensão nominal U_N (em V);
- ◆ Corrente nominal, I_N (em A);
- ◆ fator de potência nominal, $\cos \Phi_N$

- ◆ potência aparente de entrada, S_N (em VA ou kVA)



EXPRESSÕES PRÁTICAS

FATOR A

$$a = \frac{1}{\eta \times \cos \Phi_N}$$

FATOR F

- ◆ Equipamentos monofásicos $f = \frac{1000}{U_N}$

- ◆ Equipamentos trifásicos $f = \frac{1000}{\sqrt{3} \times U_N}$

CORRENTE NOMINAL

- ◆ Equipamentos monofásicos $I_N (A) = \frac{P'_N (kW) \times 1000}{U_N (V) \times \cos \Phi_N \times \eta}$

- ◆ Equipamentos trifásicos $I_N (A) = \frac{P'_N (kW) \times 1000}{\sqrt{3} \times U_N (V) \times \cos \Phi_N \times \eta}$

$$I_N (A) = P'_N (kW) \times a \times f$$

POTÊNCIA APARENTE DE ENTRADA

- ◆ Equipamentos monofásicos $S_N (kVA) = \frac{U_N (V) \times I_N (A)}{1000}$

- ◆ Equipamentos trifásicos $S_N (kVA) = \frac{\sqrt{3} \times U_N (V) \times I_N (A)}{1000}$

$$S_N (kVA) = P'_N (kW) \times a$$

CAPÍTULO II

A instalação elétrica de baixa tensão

VALORES TÍPICOS DO FATOR DE POTÊNCIA, RENDIMENTO E DO FATOR A (A SEREM USADOS NA FALTA DE DADOS ESPECÍFICOS DO FABRICANTE).

Equipamentos	cos Φ	η	a
Iluminação			
Incandescente	1,0	1,0	1,0
Mista	~1,0	1,0	1,4*
Vapor de sódio à baixa pressão (sempre aparelhos compensados) • 18 a 180W	0,85	0,7 a 0,8	1,6'
Aparelhos não compensados (baixo cos Φ)	Iodeto metálico • 220 V-230 a 1000 W • 380V-2000V	0,6 0,6	0,9 a 0,95 0,9 3,5* 3,5*
	Fluorescente • com starter- 18 a 65 W • partida rápida- 20a 110 W	0,5 0,5	0,6 a 0,83 0,54 a 0,8 3,2 a 2,4 3,7 a 2,5
	Vapor de mercúrio • 220 V-50 a 1000 W	0,5	0,87 a 0,95 4,0*
	Vapor de sódio à alia pressão • 70 a 1000 W	0,4	0,9 4,2*
Aparelhos não compensados (alto cos Φ)	Iodeto metálico • 220 V-230 a 1000 W • 380 V- 2000 W	0,85 0,85	0,9 a 0,95 0,9 2,4* 2,4*
	Fluorescente • com starter -18 a 65 W • partida rápida - 20 a 110 W	0,85 0,85	0,6 a 0,83 0,54 a 0,8 1,9a 1,4 2,2 a 1,5
	Vapor de mercúrio • 220 V- 50 a 1000 W	0,85	0,87 a 0,95 2,5*
	Vapor de sódio à alta pressão • 70 a 1000W	0,85	0,9 2,0*
Motores (trifásicos de gaiola)			
Até 600 W	0,5	—	2,0
De 1 a 4 cv	0,75	0,75	1,8
De 5 a 50 cv	0,85	0,8	1,5
Mais de 50 cv	0,9	0,9	1,2
Aquecimento (por resistor)	1,0	1,0	1,0

*
Para certos aparelhos de iluminação, o fator a foi majorado, para levar em conta as correntes absorvidas na partida.

Tipo de alimentação	Tensão (V)	f (A/kW)
Monofásica (F-N ou F-F)	110	9
	115	8,6
	127	8
	208	4,8
	220	4,5
	230	4,3

Tipo de alimentação	Tensão (V)	f (A/kW)
Trifásica	208	2,8
	220	2,7
	230	2,5
	380	1,5
	440	1,3
	460	1,25

EXEMPLOS

Aparelho de iluminação com 4 lâmpadas fluorescentes de 40W cada, compensado e de partida rápida, 220V.

Temos:

$$- P_N = 4 \times 40W = 160W = 0,16 \text{ kW}$$

$$- U_N = 220V$$

$$- \text{Da tabela} - a = 2,2 \text{ a } 1,5$$

$$- \text{Da tabela} - f = 4,5$$

A corrente nominal será:

$$- \text{Para } a = 2,2 - I_N = 0,16 \times 2,2 \times 4,5 = 1,58 \text{ A}$$

$$- \text{Para } a = 1,5 - I_N = 0,16 \times 1,5 \times 4,5 = 1,08 \text{ A}$$

Motor trifásico de gaiola de 15cv,380V.

Temos:

$$- P_N = 15cv = 15 \times 0,736 = 11 \text{ kW}$$

$$- U_N = 380V$$

$$- \text{Da tabela} - a = 1,5$$

$$- \text{Da tabela} - f = 1,5$$

A corrente nominal será:

$$I_N = 11 \times 1,5 \times 1,5 = 24,8 \text{ A}$$

CORRENTES NOMINAIS DE MOTORES TRIFÁSICOS DE GAIOLA (60 Hz)

Potência do motor cv	Corrente nominal em 220V - 1800 rpm	Corrente nominal em 220V - 3600 rpm
0.33	1.6	1,5
0,5	2,2	2,0
0.75	3,0	3.0
1	4,2	3.6
1,5	5.2	5,0
2	6,8	6,4
3	9.5	9.0
4	12	11
5	15	15
6	17	-
7,5	21	21
10	28	28
12.5	34	—
15	40	40
20	52	52
25	65	65
30	75	78
40	105	105
50	130	130
60	145	145
75	175	185
100	240	240
125	290	300
150	360	350
200	460	480

Para se obter a corrente em 380V, multiplicar por 0.577. Em 440V, multiplicar por 0.5.

POTÊNCIAS TÍPICAS DE ALGUNS APARELHOS ELETRODOMÉSTICOS E ELETROPROFISSIONAIS

Aparelho	Potências Nominais Típicas (de entrada)
Aquecedor de água central (Boiler) 50 a 100 l	1.000W
150 a 200 l	1.250W
250 l	1.500W
300 a 350 l	2.000W
400 l	2.500W
Aquecedor de água de passagem	4.000 a 8.000W
Aquecedor de ambiente (portátil)	500 a 1.500W
Aspirador de pó (tipo residencial)	500 a 1.000W
Barbeador	8a12W
Batedeira	100 a 300W
Cafeteira	1.000W
Caixa registradora	100W
Centrifuga	150a300W
Churrasqueira	3.000W
Chuveiro	4.000 a 6.500W
Condicionador de ar central	8.000W
Condicionador tipo janela 7.100 BTU/h	900W
8.500 BTU/h	1.300W
10.000 BTU/h	1.400W
12.000 BTU/h	1.600W
14.000 BTU/h	1.900W
18.000 BTU/h	2.600W
21.000 BTU/h	2.800W
30.000 BTU/h	3.600W
Congelador (freezer) (tipo residencial)	350 a 500 VA
Copiadora tipo xerox	1.500 a 3.500 VA

De acordo com informações de fabricantes

Aparelho	Potências Nominais Típicas (de entrada)
Cortador de grama	800 a 1.500W
Distribuidor de ar (fan coil)	250W
Ebulidor	2.000W
Esterilizador	200W
Exaustor de ar para cozinha (tipo residencial)	300 a 500 VA
Ferro de passar roupa	800 a 1.650W
Fogão (tipo residencial) - por boca	2.500W
Forno (tipo residencial)	4.500W
Forno de microondas (tipo residencial)	1.200 VA
Geladeira (tipo residencial)	150 a 500 VA
Grelha	1.200W
Lavadora de pratos (tipo residencial)	1.200 a 2.800 VA
Lavadora de roupas (tipo residencial)	770 VA
Liquidificador	270W
Máquina de costura (doméstica)	60 a 150W
Máquina de escrever	150 VA
Projektor de slides	250W
Retroprojektor	1.200W
Secadora de cabelos (doméstica)	500 a 1.200W
Secadora de roupas (tipo residencial)	2.500 a 6.000W
Televisor	75 a 300W
Torneira	2.800 a 4.500W
Torradeira (tipo residencial)	500 a 1.200W
Triturador de lixo (tipo pia)	300W
Ventilador (circulador de ar) - portátil	60 a 100W
Ventilador (circulador de ar) - de pé	300W

De acordo com informações de fabricantes

housepress - versão C - 21/06/2010

CONCEITO BÁSICO SOBRE CONDUTORES

Um **condutor** (elétrico) é um produto metálico, geralmente de forma cilíndrica e de comprimento muito maior do que a maior dimensão transversal, utilizado para transportar energia elétrica ou para transmitir sinais elétricos.

Dado um condutor cilíndrico de comprimento ℓ , seção transversal S (uniforme), sua resistência (elétrica) será, como sabemos

$$R = \rho \frac{\ell}{S} (\Omega).$$

Sendo ρ a **resistividade** do material, também chamada de “resistividade de volume”, medida em ohm. metro ($\Omega \cdot m$) ou, em termos mais práticos, em ohm. milímetro quadrado por metro ($\Omega \cdot mm^2/m$)

$$\rho = R \frac{S}{\ell} (\Omega \cdot m \text{ ou } \Omega \cdot mm^2/m)$$

Nos metais, a resistividade aumenta com a temperatura, sendo essa variação dada pela expressão

$$\rho_2 = \rho_1 [1 + \alpha_1 (\theta_2 - \theta_1)]$$

Sendo ρ_2 a resistividade à temperatura θ_2 , ρ_1 a resistividade à temperatura θ_1 e α_1 , o **coeficiente de temperatura** relativo θ_1 . Normalmente a resistividade é referida a 20°C.

A **condutividade** σ é definida como o inverso da resistividade, sendo medida em siemens por metro (S/m)

$$\sigma = \frac{1}{\rho} (S/M = 1/\Omega \cdot m)$$

Um **fio** é um produto metálico maciço e flexível, de seção transversal invariável e de comprimento muito maior do que a maior dimensão transversal. Os fios podem ser usados diretamente como condutores (com ou sem isolamento) ou na fabricação de cabos.

A ABNT NBR 5111 indica, para os fios de cobre nu de seção circular para fins elétricos, os valores de resistividade e condutividade percentual. Veja a tabela abaixo.

A ABNT NBR NM 280 define, para condutores de cobre, cinco **classes de encordoamento**, com graus crescentes de flexibilidade, sendo:

Classe 1	Condutores sólidos (fios)
Classe 2	Condutores encordoados, compactados ou não
Classe 4*, 5 e 6	Condutores Flexíveis

* O Condutor classe 4 foi eliminado da IEC e não é mais utilizado em nenhum outro país exceto o Brasil. O Condutor classe 4 normalmente é fabricado com cobre de baixa qualidade.

O **padrão internacional de condutividade** IACS (“international annealed copper standard”, padrão internacional de cobre recozido) corresponde a um fio de cobre com 1 m de comprimento, 1 mm² de seção transversal e resistividade a 20°C.

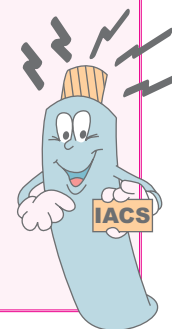
$$\rho_{20} = \frac{1}{58} = 0,01724 \Omega \cdot mm^2/m$$

com um coeficiente de temperatura a 20°C

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

Os condutores, sejam de cobre, de alumínio, ou de outro metal, têm suas condutividades sempre referidas ao padrão e dados em porcentagem, isto é

$$\sigma\% = \frac{\sigma_{20}}{\sigma_{\text{IACS},20}} \times 100$$



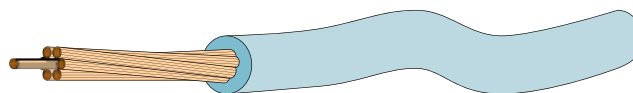
O **cobre** e o **alumínio** são os metais mais usados na fabricação de condutores elétricos, tendo em vista suas propriedades elétricas e seu custo. Ao longo dos anos, o cobre tem sido o mais utilizado sobretudo em condutores providos de isolamento. O alumínio praticamente domina o campo dos condutores nus para transmissão e distribuição, sendo também usado na fabricação de condutores com isolamento, ainda que em escala bem inferior ao cobre.

Um **condutor encordoado** é o condutor constituído por um conjunto de fios dispostos helicoidalmente. Essa construção confere ao condutor uma flexibilidade maior em relação ao condutor sólido (fio).

Resistividade e Condutividade a 20DC para fios de cobre nu para fins elétricos (ABNT NBR 5111).

Material	Diâmetros Nominais (d) em mm	Resistividade a 20°C em $\Omega \cdot mm^2/m$	Condutividade a 20°C em %
Cobre mole		0.017241	100
Cobre meio-duro	$1,024 \leq d \leq 8,252$	0.017837	96,66
	$8,252 < d \leq 11,684$	0.017654	97,66
Cobre duro	$1,024 \leq d \leq 8,252$	0,017930	96,16
	$8,252 < d \leq 11,684$	0,017745	97,16

Um **cabo** é um condutor encordoado constituído por um conjunto de fios encordoados, isolados ou não entre si, podendo o conjunto ser isolado ou não.



O termo “cabo” é muitas vezes usado para indicar, de um modo global, fios e cabos (propriamente ditos) em expressões como “cabos elétricos”, “cabos de baixa tensão”, etc.

Um **condutor compactado** é um condutor rígido encordoado no qual foram reduzidos os interstícios entre os fios componentes, por compressão mecânica, trefilação ou escolha adequada da forma ou disposição dos fios.



Condutor flexível é um condutor encordoado formado por uma grande quantidade de fios finos agrupados em forma de feixe. Este tipo de condutor é o mais utilizado em cabos de baixa tensão.

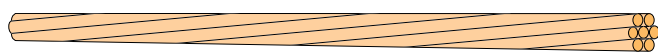
Chamamos de **corda** o componente de um cabo constituído por um conjunto de fios encordoados e não isolados entre si. Uma corda pode ser constituída por várias “cordinhas”, que são usualmente chamadas de pernas.

O **revestimento** é definido como uma camada delgada de um metal ou liga, depositada sobre um metal ou liga diferente, para fins de proteção. Um **fio revestido** é um fio dotado de revestimento, como por exemplo, o “fio estanhado”. Por sua vez, um **cabo revestido** é um cabo sem isolamento ou cobertura, constituído de fios revestidos.

Um **fio nu** é um fio sem revestimento, isolamento ou cobertura.



Um **cabo nu** é um cabo sem isolamento ou cobertura, constituído por fios nus.

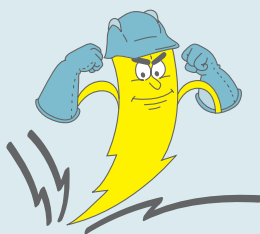


A **isolação** é definida como o conjunto dos materiais isolantes utilizados para isolar eletricamente. É um termo com sentido estritamente qualitativo (isolação de um condutor, isolamento de borracha, etc), que não deve ser confundido com isolamento, este de sentido quantitativo (tensão de isolamento de 750V, resistência de isolamento de 5M Ω , etc).

ISOLAÇÃO

Refere-se à qualidade e espécie.

Isolação de :
borracha, plástico,
vinil, etc.



ISOLAMENTO

É quantitativo.

Tensão do
isolamento.

Resistência
de isolamento

A **cobertura** é um invólucro externo não-metálico e contínuo, sem função de isolamento, destinado a proteger o fio ou cabo contra influências externas.

Um **fio coberto** é um fio com ou sem revestimento, dotado apenas de cobertura.

Por sua vez, um **cabo coberto** é um cabo dotado unicamente de cobertura.



Cobertura

Isolação

Condutor

A **isolação** é aplicada sobre o condutor com a finalidade de isolá-lo eletricamente do ambiente que o circunda. Os materiais utilizados como isolamento, além de alta resistividade, devem possuir alta rigidez dielétrica, sobretudo quando empregados em tensões elétricas superiores a 1 kV. São vários os materiais empregados na isolamento de condutores:

Polímeros termoplásticos	cloreto de polivinila (PVC), polietileno(PE), poliolefina livre de halogênio,,etc.
Polímeros termofixos	polietileno reticulado (XLPE), borracha etileno-propileno (EPR), borracha de silicone, etc.
Outros materiais	papel impregnado, fibra de vidro, etc.

Chamamos de **condutor isolado** o fio ou cabo dotado apenas de isolamento. Observe-se que a **isolação** não precisa necessariamente ser constituída por uma única camada (por exemplo, podem ser usadas duas camadas do mesmo material, sendo a camada externa especialmente resistente à abrasão).



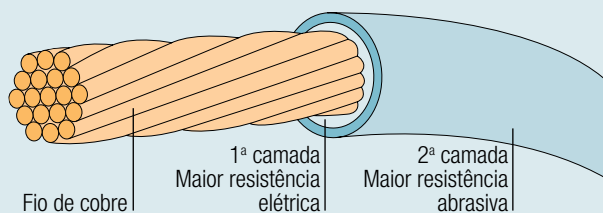
Condutor isolado (fio)



Condutor isolado (cabo)

AFUMEX 750V

O condutor isolado AFUMEX 750V é fabricado com condutor flexível classe 5. Sua **isolação** é constituída por duas camadas de composto poliolefinico livre de halogênio, sendo que a externa possui resistência maior à abrasão, tendo a superfície bastante deslizante, o que facilita o puxamento.



Fio de cobre

1ª camada
Maior resistência
elétrica

2ª camada
Maior resistência
abrasiva

Um **cabo unipolar** é um cabo constituído por um único condutor isolado e dotado, no mínimo, de cobertura.

Um **cabo multipolar** é constituído por dois ou mais condutores isolados e dotado, no mínimo, de cobertura. Os condutores isolados constituintes dos cabos unipolares e multipolares são chamados de **veias**. Os cabos multipolares contendo 2, 3 e 4 veias são chamados, respectivamente, de cabos bipolares, tripolares e tetrapolares.



Veias

Capa

Cobertura

O termo genérico **cabo isolado** indica um cabo constituído de uma ou mais veias e, se existentes, o envoltório individual de cada veia, o envoltório do conjunto das veias e os envoltórios de proteção do cabo, podendo ter também um ou mais condutores não isolados.

Nos cabos uni e multipolares, a cobertura atua principalmente como proteção da isolação, impedindo seu contato direto com o ambiente, devendo, portanto, possuir propriedades compatíveis com a aplicação do cabo. Nas coberturas, podem ser utilizados vários materiais, sendo os mais comuns:

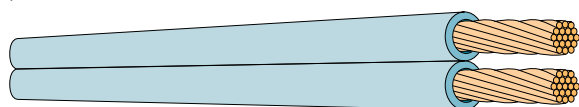
Polímeros termofixos como neoprene, polietileno clorossulfonado (hypalon), borracha de silicone, etc.

Polímeros termoplásticos, tais como poliolefinas não halogenadas, PVC, polietileno, poliuretano, etc.

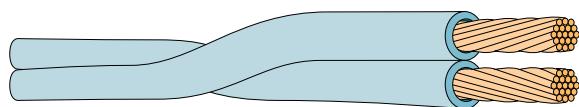
O **enchimento** é o material utilizado em cabos multipolares para preencher os interstícios entre as veias. A **capa** é o invólucro interno, metálico ou não, aplicado sobre uma veia, ou sobre um conjunto de veias de um cabo.

As capas não metálicas, geralmente de polímeros termoplásticos, têm como finalidade principal dar ao cabo a forma cilíndrica. As capas metálicas, geralmente feitas de chumbo ou alumínio, exercem também função mecânica e elétrica.

Um **cordão** é um cabo flexível com reduzido número de condutores isolados (em geral 2 ou 3) de pequena seção transversal, geralmente paralelos ou torcidos.



Cordão paralelo

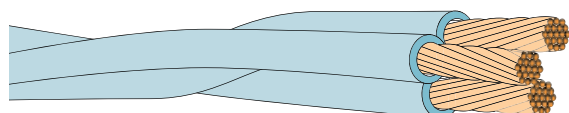


Cordão torcido

Chamamos de **cordoalha** o condutor formado por um tecido de fios metálicos.

Um **cabo multiplexado** é um cabo formado por dois ou mais condutores isolados, ou cabos unipolares, dispostos helicoidalmente, sem cobertura.

Um **cabo multiplexado auto-sustentado** (ou **cabo pré-reunido**) é um cabo multiplexado que contém um condutor de sustentação, isolado ou não.



Cabo multiplexado

A **armação** de um cabo é o elemento metálico ou de polímero especial que protege o cabo contra esforços mecânicos. As armações podem ser compostas por fios de aço ou de alumínio, ou por camada Air Bag®, constituindo uma proteção mecânica adicional, que absorve os esforços de tração, compressão ou de impacto.

Tipos de Condutores

Condutor Isolado	Condutor sólido ou encordoado + isolação
Cabo Unipolar	Condutor isolado + cobertura (no mínimo)
Cabo Multipolar	2 ou mais condutores isolados (veias) + cobertura (no mínimo)
Cordão	Condutores isolados de pequena seção (2 ou 3) paralelos ou torcidos
Cabo Multiplexado	Condutores isolados ou cabos unipolares (2 ou mais) dispostos helicoidalmente (sem cobertura)
Cabo Pré-Reunido	Cabo multiplexado + condutor de sustentação

Um **condutor setorial** é um condutor cuja seção tem a forma aproximada de um setor circular. Um **cabo setorial** é um cabo multipolar cujos condutores são setoriais.

Existem duas grandes famílias de cabos, os **cabos de potência** e os **cabos de controle**. Os **cabos de potência** são os condutores isolados, os cabos unipolares e os cabos multipolares utilizados para transportar energia elétrica em instalações de geração, transmissão, distribuição ou utilização de energia elétrica. Os **cabos de controle** são os cabos utilizados em circuitos de controle de sistemas e equipamentos elétricos.

Os cabos são caracterizados por sua **seção nominal**, grandeza referente ao condutor respectivo (ou aos condutores respectivos, no caso de cabo com mais de um condutor). A seção nominal **não corresponde** a um valor estritamente geométrico (área da seção transversal do condutor) e sim a um valor determinado por uma medida de resistência. É o que se poderia chamar de "seção elétrica efetiva". As seções nominais são dadas em **milímetros quadrados**, de acordo com uma série definida pela IEC, seguida pela ABNT e internacionalmente aceita, reproduzida na Tabela.

Série métrica IEC (seções nominais em mm²)

0,5	16	185
0,75	25	240
1	35	300
1,5	50	400
2,5	70	500
4	95	630
6	120	800
10	150	1000

A ABNT NBR NM 280 define as seções nominais dos condutores de cobre, caracterizando para as diversas classes de encordoamento os seguintes valores:

Encordoamento Classe 1	Resistência máxima a 20°C, em Ω/km
Encordoamentos Classe 2	Resistência máxima a 20°C, em Ω/km e número mínimo de fios no condutor
Encordoamentos Classes 5 e 6	Resistência máxima a 20°C, em Ω/km e diâmetro máximo dos fios no condutor, em mm

Para os cabos de um único condutor, indica-se a seção nominal do condutor respectivo, isto é, S (mm²) ou $1 \times S$ (mm²). Para os cabos multipolares de condutores componentes de seções iguais, a seção nominal é indicada sob a forma de produto do número de veias pela seção nominal de uma veia, isto é, $N \times S$ (mm²); para os cabos multipolares com condutores componentes de seções diferentes, a seção nominal é indicada sob a forma de soma dos produtos do número de veias de cada seção pela respectiva seção, assim, por exemplo, $N_1 \times S_1$ (mm²) + $N_2 \times S_2$ (mm²). Para os cabos multiplexados utiliza-se a mesma indicação.

TEMPERATURA

Os cabos providos de isolamento são caracterizados por **três temperaturas**, medidas no condutor propriamente dito, em regime permanente, em regime de sobrecarga e em regime de curto-circuito.

A **temperatura no condutor em regime permanente** (ou em serviço contínuo) é a temperatura alcançada em qualquer ponto do condutor em condições estáveis de funcionamento. A cada tipo (material) de isolamento corresponde uma **temperatura máxima** para serviço contínuo, designada por θ_z .

A **temperatura no condutor em regime de sobrecarga** é a temperatura alcançada em qualquer ponto do condutor em regime de sobrecarga. Para os cabos de potência, estabelece-se que a operação em regime de sobrecarga, para temperaturas máximas especificadas em função da isolamento, designadas por θ_{sc} , não deve superar 100 horas durante doze meses consecutivos, nem superar 500 horas durante a vida do cabo.

A **temperatura no condutor em regime de curto-circuito** é a temperatura alcançada em qualquer ponto do condutor durante o regime de curto-circuito. Para os cabos de potência, a duração máxima de um curto-circuito, no qual o condutor pode manter temperaturas máximas especificadas em função da isolamento, designadas por θ_{cc} , é de 5 segundos.

CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE

A capacidade de condução de corrente (I_c) de um condutor ou de um conjunto de condutores é a corrente máxima que pode ser conduzida pelo condutor, ou pelo conjunto de condutores, continuamente, em condições especificadas, sem que a sua temperatura em regime permanente ultrapasse a temperatura máxima para serviço contínuo. Nos fios e cabos providos de isolamento, a capacidade de condução de corrente depende de diversos fatores, a saber:

Material do condutor
Seção
Material da isolamento (que determina a temperatura máxima para serviço contínuo)
Temperatura ambiente ou, no caso de cabos enterrados, temperatura do solo
Resistividade térmica do solo (para cabos enterrados)
Agrupamento de fios e cabos
Agrupamento de condutos

Tensões de isolamento nominais dos cabos são as tensões para as quais eles são projetados. São designadas pelo par de valores V_0/V , associados a sistemas trifásicos, sendo V_0 o valor eficaz da tensão entre condutor e terra ou blindagem da isolamento (tensão fase-terra) e V o valor eficaz da tensão entre condutores (tensão fase-fase). O valor de V é usado para classificar os cabos quanto à tensão:

Cabos de baixa tensão	$V \leq 1$ kV
Cabos de média tensão	$1 \text{ kV} < V \leq 35$ kV
Cabos de alta tensão	$V > 35$ kV

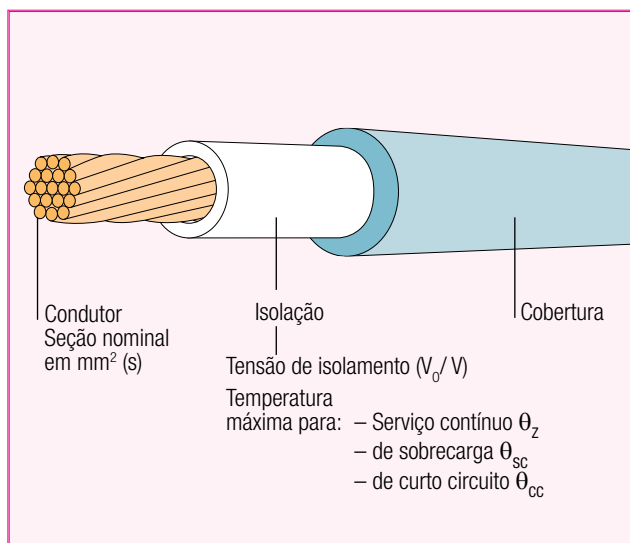
EXEMPLOS DE CARACTERIZAÇÃO DE SEÇÕES NOMINAIS PELA ABNT NBR NM 280

No caso de um condutor encordoado de 10mm², classe 2, para condutor isolado (por exemplo, cabo Superastic), a norma especifica que ele deve possuir, no mínimo, 7 fios (no caso de condutor não compactado circular) e apresentar uma resistência máxima de 1,83 Ω /km a 20°C.

Tratando-se de um condutor encordoado de 10mm², classe 5, para condutor isolado flexível (por exemplo, cabo Afumex 750V), a ABNT NBR NM 280 caracteriza essa seção nominal, indicando que os fios componentes devem possuir, no máximo, diâmetro de 0,41 mm cada um e o condutor deve apresentar uma resistência máxima de 1,91 Ω /km a 20°C.

A tabela indica os valores de θ_z , θ_{sc} e θ_{cc} dados pelas normas, em função dos materiais usados na isolamento.

Material	θ_z (°C)	θ_{sc} (°C)	θ_{cc} (°C)
PVC	70	100	160
EPR	90	130	250
XLPE	90	130	250



CAPÍTULO III

Linhas elétricas



A IMPORTÂNCIA DA QUALIDADE NOS CONDUTORES ELÉTRICOS

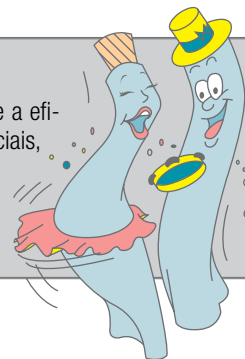
QUALIDADE GERA SEGURANÇA

A qualidade dos condutores elétricos flexíveis, que são geralmente embutidos em paredes e tetos, é de fundamental importância para a segurança, o bom desempenho da instalação e a conservação da energia.



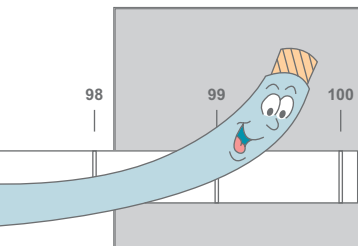
CABOS FLEXÍVEIS

O uso da linha de cabos flexíveis garante a eficiência das instalações elétricas residenciais, com segurança e economia. Facilita a instalação em eletrodutos e a ligação em tomadas e interruptores, evitando danos e economizando mão-de-obra,



...98... 99... 100!

Apesar da indicação "100 metros", nem sempre os produtos de segunda linha possuem este comprimento. Já os produtos de boa qualidade são medidos por equipamento eletrônico, o que garante rolos com a medida indicada na embalagem.



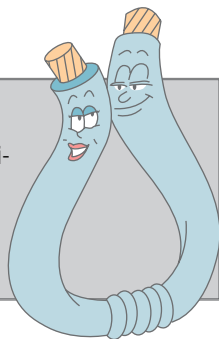
O BARATO QUE SAI CARO

O uso de condutores de segunda linha, (geralmente apresentados como "similar mais barato") pode causar prejuízos e propagar incêndios. Proteja seu patrimônio com a segurança dos produtos de qualidade.



UNIÃO FLEXÍVEL

O cobre puro utilizado nos condutores de primeira linha é recozido em processo contínuo, o que aumenta a sua flexibilidade e facilita os trabalhos de emendas, dobras e ligações em tomadas e interruptores.



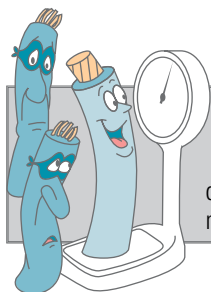
NÃO PAGUE PARA VER

O cobre utilizado nos condutores de primeira linha segue normas de qualidade nacionais e internacionais, garantindo um desempenho perfeito. O cobre utilizado em condutores de segunda linha, com alto grau de impurezas, provoca superaquecimento e pode originar fúgas de corrente, choques elétricos, curto-circuitos e incêndios.



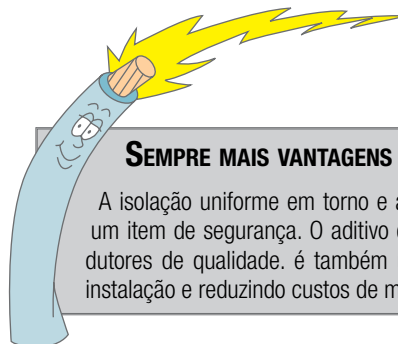
A PROVA DA BALANÇA

Também na balança, os fios e cabos de boa qualidade apresentam peso constante, normalmente maior que os produtos e segunda linha.



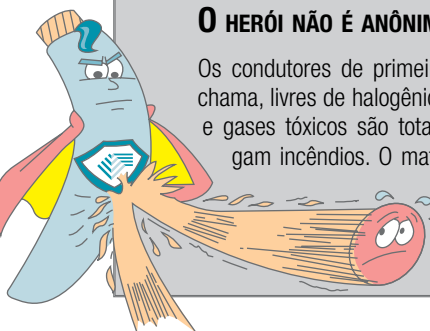
SEMPRE MAIS VANTAGENS

A isolamento uniforme em torno e ao longo do condutor é mais um item de segurança. O aditivo deslizante, utilizado nos condutores de qualidade, é também uma vantagem, facilitando a instalação e reduzindo custos de mão-de-obra.



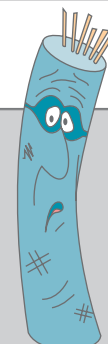
O HERÓI NÃO É ANÔNIMO

Os condutores de primeira linha acrescidos do item anti-chama, livres de halogênio e com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos são totalmente seguros, pois não propagam incêndios. O material dos condutores de segunda linha não possui a característica anti-chama propagando o fogo com facilidade, emitindo fumaça escura e gases tóxicos.



OS RECUPERADOS

O isolamento especial dos bons condutores permite trabalho contínuo à temperatura de 70°C (85°C os mais resistentes), com total segurança. O isolamento utilizado nos condutores de qualidade inferior, à base de PVC recuperado, têm curta vida útil, aumentando os riscos.



VIDA CURTA

Quando instalados corretamente, os condutores de primeira linha apresentam vida útil superior a 30 anos, em perfeitas condições de uso. A utilização de condutores de segunda linha geralmente resulta em curta vida útil, com mais chances de curto-circuitos, choques elétricos e incêndios de origem elétrica.



SEGURANÇA TOTAL


Os condutores de primeira linha, portanto, obedecem às mais rigorosas normas nacionais e internacionais de qualidade e segurança. Seus componentes são testados e submetidos a ensaios rigorosos durante o processo de fabricação, em modernos laboratórios, para oferecer segurança total.





COMPORTAMENTO DOS CABOS EM CONDIÇÕES DE FOGO E INCÊNDIO

Como vimos, a construção dos cabos elétricos envolve volumes significativos de materiais orgânicos na isolação, na cobertura, e em outros componentes. Tais materiais são combustíveis e podem conferir ao cabo uma perigosa característica de elemento propagador de fogo durante a ocorrência de incêndios.

Tendo em vista o comportamento de seu invólucro externo (isolação, no caso de condutores isolados, ou cobertura, no caso de cabos uni e multipolares), quando submetido à ação do fogo, os condutores e cabos isolados podem ser classificados em quatro grandes categorias:

 (1) **Propagador de chama** - O cabo, quando submetido à ação direta da chama, mesmo por curto intervalo de tempo, entra em combustão e a mantém mesmo após a retirada da chama ativadora. Tais cabos podem contribuir para o desenvolvimento e a propagação dos incêndios. O polietileno (PE) pode ser considerado material propagador de chama.

 (2) **Não propagador de chama** - A chama se autoextingue após cessar a causa ativadora da mesma. O comportamento desses cabos em relação ao fogo depende, em grande parte do tempo, da exposição à chama, da intensidade da chama, da quantidade de cabos agrupados, etc. O PVC e o neoprene podem ser considerados materiais não propagadores de chama. Os cabos de instrumentação (ABNT NBR 10300) isolados em PVC podem estar nesta categoria.

 (3) **Resistente à chama** - Com esses cabos, a chama não se propaga mesmo em caso de exposição prolongada. Quando submetidos ao rigoroso ensaio de queima vertical, efetuado em feixe de cabos com concentração de material combustível bem definida (de acordo com a serie ANBT IEC 60332), os danos causados pela chama ficam limitados a poucas dezenas de centímetros. A poliolefina não halogenada e o PVC especialmente aditivados conferem aos cabos essa propriedade. Os cabos de PVC assim fabricados são designados por BWF-B (ABNT NBR NM 247-3).

Os condutores isolados de cobre com poliolefina não halogenada, como os da linha Afumex 750V, bem como os cabos uni e multipolares com isolação em EPR e cobertura também em poliolefina não halogenada, como os da linha Afumex 1kV, enquadram-se na categoria dos resistentes à chama.

 (4) **Resistente ao fogo** - O cabo tem a característica de permitir e manter um circuito em funcionamento em presença de incêndio, atendendo à norma ABNT NBR 10301 (exposição e chama direta, 750°C, por 3 horas). Tais cabos são parti-

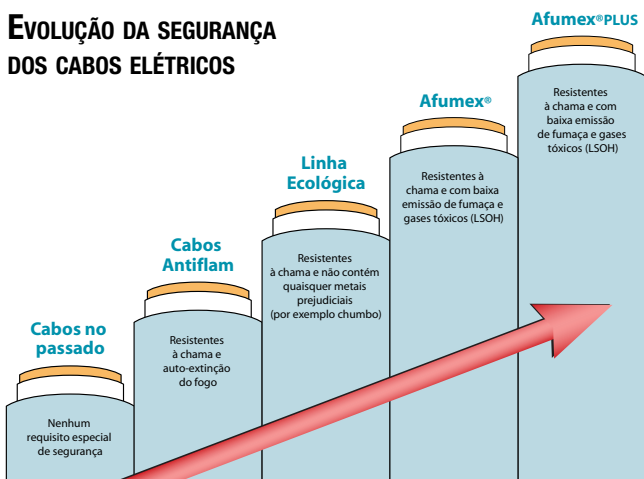
cularmente recomendados para os circuitos de segurança como os de detectores de fumaça, luzes de emergência, alarmes de incêndio ou circuitos de bombas de combate a incêndios.

Além da resistência ao fogo, outro ponto importante considerado no projeto de um cabo e, conseqüentemente, em sua escolha, é seu comportamento durante um incêndio.

Quando consumidos pelo fogo, os cabos elétricos podem emitir grande quantidade de fumaça e gases tóxicos. Esta característica está associada à composição da isolação (nos casos de condutores isolados) e à isolação e cobertura (no caso de cabos unipolares e multipolares).

Para evitar que os cabos emitam grandes quantidades de fumaça escura, tóxica e corrosiva em caso de incêndio, foi desenvolvido o composto poliolefínico não halogenado (LSOH). Este composto, utilizado na isolação e/ou cobertura de cabos, oferece resistência à chama, evitando que a esta se propague por ele, e praticamente não emite fumaça escura nem gases tóxicos. Cabos com isolação deste tipo foram desenvolvidos para aplicações especiais, em que a fuga das pessoas em caso de incêndio é muito difícil, como é o caso de submarinos, aviões, navios, etc. Depois passaram a ser utilizados em edificações onde o tempo de fuga das pessoas em caso de incêndio é lento, como no metrô, em hospitais ou em outras áreas públicas com grande concentração de pessoas, tais como escolas, shopping centers, cinemas e teatros. Atualmente estes cabos são utilizados em diversos tipos de edificações, aumentando a segurança das pessoas e do patrimônio.

EVOLUÇÃO DA SEGURANÇA DOS CABOS ELÉTRICOS



EVOLUÇÃO DOS CABOS EM CONDIÇÕES DE INCÊNDIO

Se construirmos uma curva do tempo registrando a evolução do comportamento dos cabos elétricos em condições de incêndio, veremos que as novas tecnologias são desenvolvidas para aumentar sua segurança em aplicações especiais. Com a maturidade dos projetos, os cabos de alta tecnologia têm seu campo de aplicação ampliado e se tornam requisitos mínimos de segurança nas instalações modernas.

Um exemplo disso foi a evolução dos cabos isolados em tecido para os cabos isolados em PVC, passando de propagadores de chama para não propagadores de chama. Mesmo assim, era iminente a necessidade de se exigir que os cabos isolados em PVC passassem à categoria resistente à chama.

No início da década de 80, a característica de resistência à chama passou a ser uma obrigatoriedade nos condutores isolados utilizados em todos os tipos de edificações. Estas alterações permitiram um aumento significativo no nível de segurança oferecido às pessoas e ao patrimônio nas edificações.

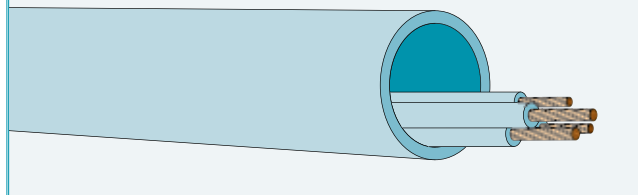
Mesmo impedindo a propagação da chama e evitando que o incêndio seja levado de um ambiente a outro, os cabos convencionais podem causar grandes danos em caso de incêndio, devido à alta emissão de fumaça escura e gases tóxicos. Estes dois fatores dificultam ou até inviabilizam a fuga de pessoas da área atingida pelo incêndio. Para solucionar esse problema, foi desenvolvida uma nova categoria de cabos – isolados com poliolefinas não halogenadas (LSOH) – que proporcionam mais segurança em situações de incêndio pois, além de serem resistentes à chama, emitem baixa quantidade de fumaça escura e gases tóxicos.

Os cabos Afumex, fazem parte dessa nova geração, pois são fabricados segundo a ABNT NBR 13248 e apresentam característica de resistência à chama, com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos.

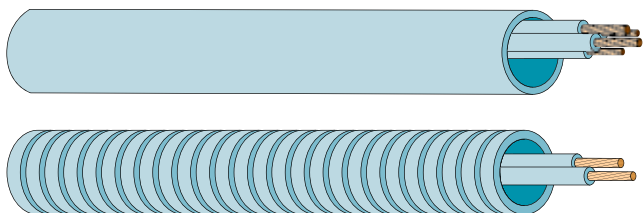
Esta nova tecnologia está incorporada à ABNT NBR 5410, que prevê a obrigatoriedade da utilização de cabos que atendam à ABNT NBR 13248 em edificações com trânsito intenso de pessoas.

CONDUTO ELÉTRICO

Chamamos de **conduto elétrico** (ou simplesmente conduto) uma canalização destinada a conter condutores elétricos. Nas instalações elétricas são utilizados vários tipos de condutos: eletrodutos, calhas, molduras, blocos alveolados, canaletas, bandejas, escadas para cabos, poços e galerias.

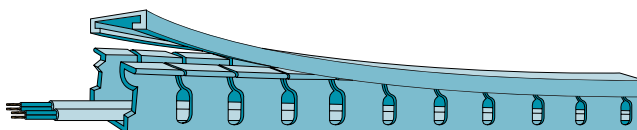


Um **eletroduto** é um elemento de linha elétrica fechada, de seção circular ou não, destinado a conter condutores elétricos, permitindo tanto a enfição quanto a retirada dos condutores por puxamento. Na prática, o termo se refere tanto ao elemento (tubo), quanto ao conduto formado pelos diversos tubos.

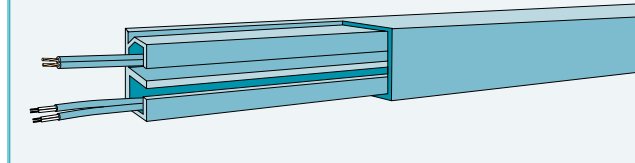


Os eletrodutos podem ser metálicos (aço, alumínio) ou de material isolante (PVC, polietileno, fibro-cimento.etc). São usados em linhas elétricas embutidas ou aparentes.

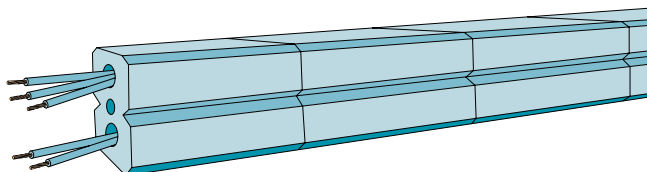
Uma **eletrocalha** é um conduto fechado utilizado em linhas aparentes, com tampas em toda sua extensão, para permitir a instalação e a remoção de condutores. As calhas podem ser metálicas (aço, alumínio) ou isolantes (plástico); as paredes podem ser maciças ou perfuradas e a tampa simplesmente encaixada ou fixada com auxílio de ferramenta.



Chamamos de **moldura** o conduto utilizado em linhas aparentes, fixado ao longo de paredes, compreendendo uma base com ranhuras para colocação de condutores e uma tampa desmontável em toda sua extensão. Recebe o nome de **alizer**, quando fixada em torno de um vão de porta ou de janela, e de **rodapé**, quando fixada junto ao ângulo parede-piso. As molduras podem ser de madeira ou de plástico.



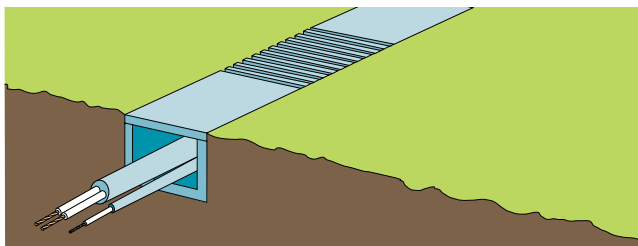
Um **bloco alveolado** é um bloco de construção com um ou mais furos que, por justaposição com outros blocos, forma um ou mais condutos fechados.



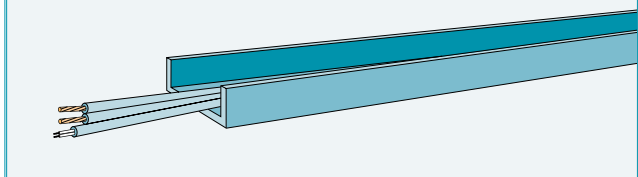
CAPÍTULO III

Linhas elétricas

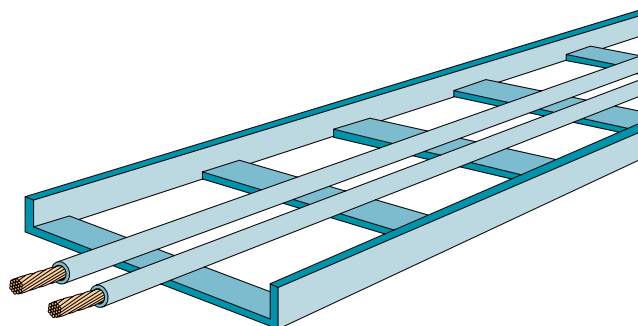
Uma **canaleta** no solo é um conduto com tampas ao nível do solo, removíveis e instaladas em toda sua extensão. As tampas podem ser maciças e/ou ventiladas e os cabos podem ser instalados diretamente ou em eletrodutos.



Uma **bandeja** é um suporte de cabos constituído por uma base contínua com rebordos e sem cobertura, podendo ser ou não perfurada; é considerada perfurada se a superfície retirada da base for superior a 30%. As bandejas são geralmente metálicas (aço, alumínio).



Uma **escada para cabos** (ou simplesmente escada) é um suporte constituído por uma base descontínua, formada por travessas ligadas a duas longarinas longitudinais, sem cobertura. As travessas devem ocupar menos de 10% da área total da base. Assim como as bandejas, as escadas são geralmente metálicas.



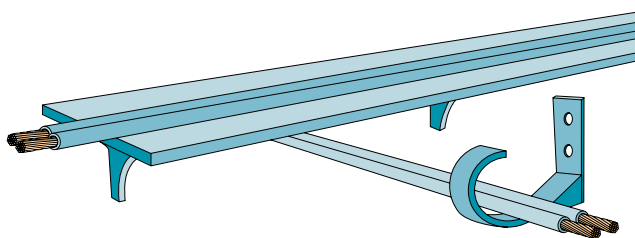
Chamamos de **poço** um conduto vertical formado na estrutura do prédio. Nos poços, via de regra, os condutores são fixados diretamente às paredes ou a bandejas ou escadas verticais, ou são instalados em eletrodutos.

A **galeria elétrica** (ou simplesmente **galeria**) é um conduto fechado que pode ser visitado em toda sua extensão. Nas galerias, os condutores geralmente são instalados em bandejas, escadas, eletrodutos ou em outros suportes (como prateleiras, ganchos, etc).

Além dos condutos, os condutores podem ser instalados em prateleiras, ganchos e em espaços de construção.

A **prateleira para cabos** (ou simplesmente prateleira) é um suporte contínuo para condutores, engastado ou fixado numa parede ou no teto por um de seus lados e com uma borda livre.

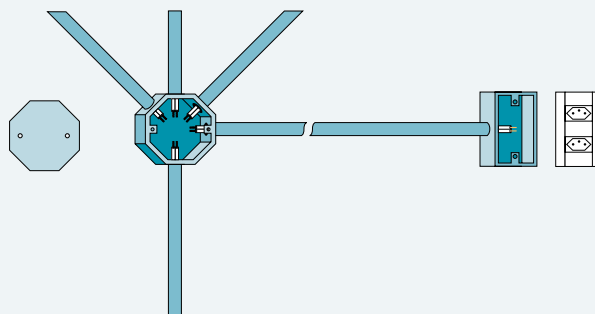
Um **gancho para cabos** (ou apenas **gancho**) é um suporte constituído por elementos simples fixados à estrutura ou aos elementos da construção.



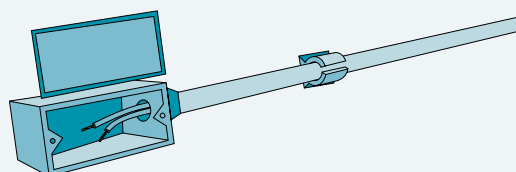
Um **espaço de construção** é um espaço existente na estrutura de um prédio, acessível apenas em certos pontos, e no qual são instalados condutores diretamente ou contidos em eletrodutos. São exemplos de espaço de construção dos forros falsos, pisos técnicos, pisos elevados, espaço no interior de divisórias ou de paredes de gesso acartonado (do tipo "Dry-wall").

Chamamos de **caixa de derivação** a caixa utilizada para passagem e/ou ligações de condutores entre si e/ou a dispositivos nela instalados.

Espelho é a peça que serve de tampa para uma caixa de derivação, ou de suporte e remate para dispositivos de acesso externo.

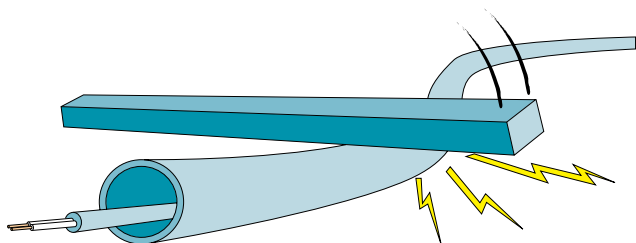


Condutele é uma caixa de derivação para linhas aparentes, dotada de tampa própria.



ELETRODUTOS

Sua função principal é proteger os condutores elétricos contra certas influências externas (ex. choques mecânicos, agentes químicos, etc.) podendo também, em alguns casos, proteger o meio ambiente contra riscos de incêndio e de explosão resultantes de faltas envolvendo condutores, além de servir como condutor de proteção.



Embora a definição atual de **eletroduto** não faça qualquer referência à forma da seção, os eletrodutos de seção circular são os de uso mais frequente e constituem o tipo mais comum de conduto.

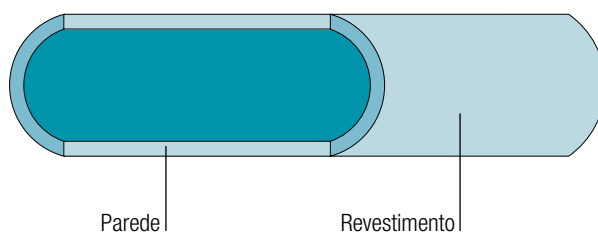
Em função do material de composição, os eletrodutos podem ser **metálicos** ou **isolantes**, e ainda **magnéticos** ou **não magnéticos**. Eles classificam-se, segundo a IEC, em **rígidos**, **curváveis**, **transversalmente elásticos** e **flexíveis** (ver definições no quadro).

Os **eletrodutos metálicos** rígidos são geralmente de aço-carbono, com proteção interna e externa feita com materiais resistentes à corrosão, podendo, em certos casos, ser fabricados em aço especial ou em alumínio (muito comum nos Estados Unidos). Normalmente a proteção dos eletrodutos de aço-carbono é caracterizada por um revestimento de zinco aplicado por imersão a quente (galvanização) ou zincagem em linha com cromatização, ou por um revestimento com tinta ou esmalte, ou ainda com composto asfáltico (externamente). No Brasil, devem obedecer às seguintes normas:

ABNT NBR 5597	Eletroduto de aço-carbono e acessórios, com revestimento protetor e rosca NPT - Requisitos (2007)
ABNT NBR 5598	Eletroduto de aço-carbono e acessórios, com revestimento protetor e rosca BSP – Requisitos (2009)
ABNT NBR 5624	Eletroduto rígido de aço-carbono, com costura, com revestimento protetor e rosca ABNT NBR 8133 (1994)
ABNT NBR 13057	Eletroduto rígido de aço-carbono, com costura, zincado eletroliticamente e com rosca ABNT NBR 8133 (1994)



Os eletrodutos metálicos rígidos fabricados segundo a ABNT NBR 5597 e segundo a ABNT NBR 5598, de paredes mais grossas, são destinados, em princípio, a instalações industriais semelhantes. Os esmaltados só devem ser usados em instalações internas, em linhas embutidas ou em linhas aparentes, em locais onde a presença de substâncias corrosivas não seja notável.



Os galvanizados são geralmente aplicados em instalações externas (aparentes) ou em linhas subterrâneas, em contato direto com a terra ou envelopados em concreto.

Os fabricados segundo a ABNT NBR 13057 são destinados, em princípio, a instalações não industriais, sendo feitas as mesmas restrições quanto à aplicação dos esmaltados e galvanizados.

Os eletrodutos metálicos rígidos são fabricados em “varas” de 3 metros, sendo suas dimensões principais indicadas na tabela a seguir.

Os **eletrodutos isolantes rígidos ou flexíveis** constituem um outro tipo importante de conduto. São fabricados principalmente em polímeros (plásticos) como o PVC ou polietileno (PE), mas podem ser de barro vitrificado (manilhas), cimento-amianto, etc. Para linhas acima do solo, aparentes ou embutidas, os de PVC são os mais utilizados no Brasil e para linhas subterrâneas em envelopes de concreto os de PE.

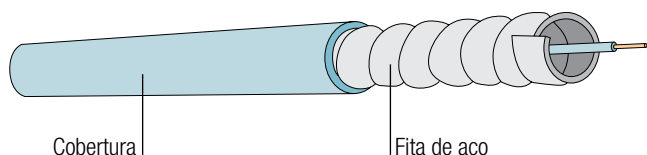
Os eletrodutos poliméricos devem atender à norma ABNT NBR 15465 - Sistemas de eletrodutos plásticos para instalações elétricas de baixa tensão - Requisitos de desempenho (2008) que prevê os requisitos de desempenho para eletrodutos plásticos rígidos (até DN 110) ou flexíveis (até DN 40), de seção circular. Estes eletrodutos podem ser aplicados aparentes, embutidos ou enterrados, e são empregados em instalações elétricas de edificações alimentadas sob baixa tensão.

O eletrodutos flexíveis corrugados de PVC podem ser utilizados embutidos em paredes de alvenaria (tipo leve de até 320N / 5 cm) ou em lajes e pisos (tipo médio de até 750N / 5 cm), onde a resistência à compressão deve ser maior. Os eletrodutos flexíveis de PVC são fornecidos em rolos de 50 m ou 25 m.

Os demais tipos são usados exclusivamente em linhas subterrâneas ou, eventualmente, contidos em canaletas. A tabela dá as dimensões principais dos eletrodutos de PVC.

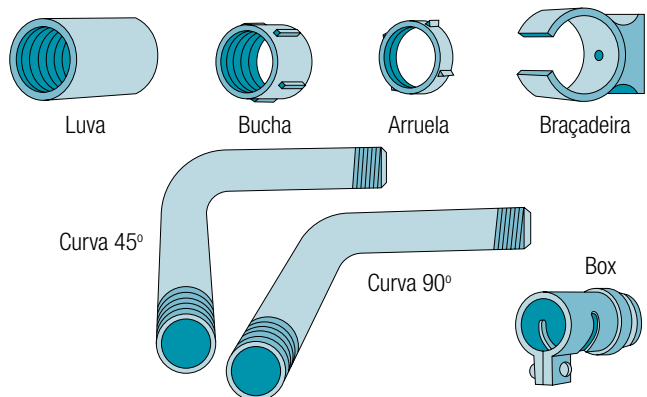
Importante: a ABNT NBR 5410, em seu item 6.2.11.1.1 indica que “ é vedado o uso, como eletroduto, de produtos que não sejam expressamente apresentados e comercializados como tal.” E complementa em nota: “Esta proibição inclui, por exemplo, produtos caracterizados por seus fabricantes como mangueiras “

Os **eletrodutos flexíveis metálicos** são construídos, em geral, por uma fita de aço enrolada em hélice, por vezes com uma cobertura impermeável de plástico, ou isolantes de polietileno ou PVC. Sua aplicação típica é na ligação de equipamentos que apresentem vibrações ou pequenos movimentos durante seu funcionamento.



Numa linha elétrica com eletrodutos, são usados os seguintes acessórios:

- ◆ **luva** (rígidos) - peça cilíndrica rosqueada internamente, destinada a unir dois tubos ou um tubo e uma curva
- ◆ **bucha** (rígidos) - peça de arremate das extremidades dos eletrodutos, destinada a evitar danos à isolamento dos condutores por eventuais rebarbas, durante o puxamento. Instalada na parte interna da caixa de derivação
- ◆ **arruela** (rígidos) - peça rosqueada internamente (porca), colocada na parte externa da caixa de derivação, complementando a fixação do eletroduto à caixa
- ◆ **curva** (rígidos) - de 45° e 90°
- ◆ **braçadeira** (rígidos e flexíveis)
- ◆ **box** (flexíveis) - peça destinada a fixar um eletroduto flexível a uma caixa ou a um eletroduto rígido



Recomenda a ABNT NBR 5410 que nos eletrodutos só sejam instalados condutores isolados, cabos unipolares e cabos multipolares.

Nas instalações elétricas abrangidas pela ABNT NBR 5410 só são admitidos eletrodutos não-propagantes de chama.

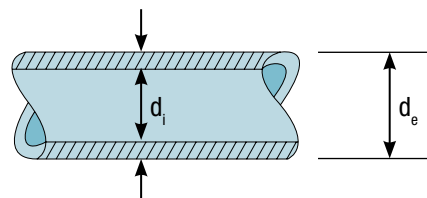
Só são admitidos em instalação embutida os eletrodutos que suportem os esforços de deformação característicos do tipo de construção utilizado.

As dimensões internas dos eletrodutos e respectivos acessórios, os comprimentos entre os pontos de puxada e o número de curvas devem ser suficientes para que os condutores ou cabos a serem protegidos possam ser facilmente instalados e retirados após a instalação dos eletrodutos e acessórios.

Para tanto é necessário que:

- ◆ os condutores ou cabos não ocupem uma porcentagem da área útil do eletroduto superior a 53% para um condutor ou cabo, 31% para dois e 40% para três ou mais
- * Essa recomendação serve para excluir das linhas embutidas os pseudoeletrodutos flexíveis plásticos conhecidos por “mangueiras”, que não suportam qualquer tipo de esforço e podem comprometer a integridade dos condutores contidos.
- ◆ não haja trechos contínuos retilíneos de tubulação (sem interposição de caixas de derivação ou equipamentos) superiores a 15 m, sendo que nos trechos com curvas essa distância deve ser reduzida de 3 m para cada curva de 90°. Assim, por exemplo, um trecho de tubulação contendo 3 curvas não poderá ter um comprimento superior a $15 - (3 \times 3) = 6$ m.

A figura abaixo indica as dimensões a considerar num eletroduto, e as tabelas dão as dimensões normalizadas dos eletrodutos de aço-carbono, e rígidos e flexíveis de PVC, respectivamente. A tabela dá as dimensões dos eletrodutos de acordo com a ABNT NBR 5598, para eletrodutos de aço carbono, e ABNT NBR 15465, para eletrodutos em PVC.



EQUIVALÊNCIA ENTRE DIÂMETRO INTERNO E TAMANHO NOMINAL

Tradicionalmente no Brasil os eletrodutos eram designados por seu diâmetro interno em polegadas. Com o advento das novas normas, a designação passou a ser feita pelo tamanho nominal, um simples número sem dimensão.

Eletrodutos Rígidos de Aço-Carbono.

Tamanho Nominal	(Designação da Rosca) (Pol.)
10	3/8
15	1/2
20	3/4
25	1
32	1-1/4
40	1.1/2
50	2
65	2.1/2
80	3
90	3.1/2
100	4
125	5
150	6

Eletrodutos Rígidos de PVC.

Tamanho Nominal	(Designação da Rosca) (Pol.)
16	1/2
20	3/4
25	1
32	1.1/4
40	1.1/2
50	2
60	2.1/2
75	3
85	3.1/2
100	4



Em cada trecho de tubulação entre duas caixas, ou entre extremidades, ou ainda entre caixa e extremidade, só devem ser previstas, no máximo, 3 curvas de 90°, ou seu equivalente até, no máximo, 270°, não devendo ser previstas curvas com deflexão superior a 90°.

As caixas de derivação devem ser previstas:

- ◆ em todos os pontos de entrada ou saída de condutores ou cabos na tubulação, exceto nos pontos de transição ou passagem de linhas abertas para linhas em eletrodutos que, nesses casos, devem ser rematados com buchas
- ◆ em todos os pontos de emenda ou derivação dos condutores ou cabos
- ◆ para dividir a tubulação, quando necessário, como visto anteriormente.

Quando o ramal de eletrodutos passar obrigatoriamente por áreas inaccessíveis onde não haja possibilidade de emprego de caixas de derivação, a distância máxima entre caixas pode ser aumentada, procedendo-se da seguinte forma:

- ◆ calcula-se a distância máxima permitida, considerando as curvas existentes
- ◆ para cada 6 m (ou fração) de aumento da distância máxima, utiliza-se um eletroduto de tamanho nominal imediatamente superior ao que seria normalmente utilizado

CÁLCULO DA OCUPAÇÃO DE UM ELETRODUTO

- ◆ Vamos considerar, a título de exemplo, condutores isolados cobre/polioléfina não halogenada, do tipo cabo flexível Afumex de 2,5mm², cujo diâmetro externo nominal é d = 3,4 mm
- ◆ Adotaremos no cálculo a ocupação máxima de 40% da área útil do eletroduto e consideraremos eletrodutos de tamanho nominal 20 (antigo 3/4").
- ◆ O procedimento de cálculo será o seguinte:

- ◆ Cálculo da área útil do eletroduto (A_E)

$$A_E = \frac{\pi}{4} (d_e - 2e)^2 \text{ (mm}^2\text{)}$$

sendo d_e o diâmetro externo mínimo e "e" a espessura

- ◆ Área total do condutor (A_C)

$$A_C = \frac{\pi}{4} d^2 \text{ (mm}^2\text{)}$$

- ◆ Número máximo de condutores (N)

$$N = \frac{0,40 A_E}{A_C}$$



- (1) Eletroduto de aço-carbono, tipo pesado, segundo a ABNT NBR 5597:

$$A_E = \frac{\pi}{4} [(26,7 - 0,38) - 2 \times 2,65]^2 = 347 \text{ mm}^2$$

$$A_C = \frac{\pi}{4} \times 3,4^2 = 9,08 \text{ mm}^2$$

$$N = \frac{0,40 \times 347}{9,08} = 15,2 \rightarrow 15$$

- (2) Eletroduto de aço-carbono segundo a ABNT NBR 5597:

$$A_E = \frac{\pi}{4} [(26,7 - 0,38) - 2 \times 2,25]^2 = 373 \text{ mm}^2$$

$$N = \frac{0,40 \times 373}{9,08} = 16,4 \rightarrow 16$$

- (3) Eletroduto de aço-carbono, segundo a ABNT NBR 5598:

$$A_E = \frac{\pi}{4} [(26,9 - 0,40) - 2 \times 2,25]^2 = 380 \text{ mm}^2$$

$$N = \frac{0,40 \times 380}{9,08} = 16,7 \rightarrow 16$$

- (4) Eletroduto de PVC, tipo soldável segundo a ABNT NBR 15465:

$$A_E = \frac{\pi}{4} [(20,0 - 0,3) - 2 \times 1]^2 = 246 \text{ mm}^2$$

$$N = \frac{0,40 \times 246}{9,08} = 10,8 \rightarrow 10$$

- (5) Eletroduto de PVC, tipo roscável segundo a ABNT NBR 15465:

$$A_E = \frac{\pi}{4} [(21,1 - 0,3) - 2 \times 1,8]^2 = 232 \text{ mm}^2$$

$$N = \frac{0,40 \times 232}{9,08} = 10,2 \rightarrow 10$$

DIMENSÕES PRINCIPAIS DOS ELETRODUTOS RÍGIDOS DE AÇO-CARBONO

Tamanho Nominal	Diâmetro Externo (mm)	Espessura de Parede (mm)
ABNT NBR 5597		
10	17,1 ± 0,38	2,00
15	21,3 ± 0,38	2,25
20	26,7 ± 0,38	2,25
25	33,4 ± 0,38	2,65
32	42,2 ± 0,38	3,00
40	48,3 ± 0,38	3,00
50	60,3 ± 0,38	3,35
65	73,0 ± 0,64	3,75
80	88,9 ± 0,64	3,75
90	101,6 ± 0,64	4,25
100	114,3 ± 0,64	4,25
125	141,3 ± 1%	5,00
130	168,3 ± 1%	5,30
ABNT NBR 5598		
10	17,1 ± 0,40	2,00
15	21,3 ± 0,40	2,25
20	26,9 ± 0,40	2,25
25	33,7 ± 0,40	2,65
32	42,4 ± 1%	2,65
40	48,3 ± 1%	3,00
50	60,3 ± 1%	3,00
65	76,1 ± 1%	3,35
80	88,9 ± 1%	3,35
90	101,6 ± 1%	3,35
100	114,3 ± 1%	3,75
125	139,7 ± 1%	4,75
130	161,1 ± 1%	5,00
ABNT NBR 13057		
10	16,5	1,50
15	20,4	1,50
20	25,6	1,50
25	31,9	1,50
32	41,0	2,00
40	47,1	2,25
50	59,0	2,25
65	74,9	2,65
80	87,6	2,65
90	100,0	2,65
100	112,7	2,65

DIMENSÕES PRINCIPAIS DOS ELETRODUTOS RÍGIDOS DE PVC (ABNT NBR 15465)

Tamanho Nominal	Diâmetro Externo (mm)	Espessura de Parede (mm)
Tipo Soldável		
16	16,0 ± 0,3	1,0
20	20,0 ± 0,3	1,0
25	25,0 ± 0,3	1,0
32	32,0 ± 0,3	1,0
40	40,0 ± 0,4	1,0
50	50,0 ± 0,4	1,1
60	60,0 ± 0,4	1,3
75	75,0 ± 0,4	1,5
85	85,0 ± 0,4	1,8
Tipo Roscável		
16	16,7 ± 0,3	1,8
20	21,1 ± 0,3	1,8
25	26,2 ± 0,3	2,3
32	33,2 ± 0,3	2,7
40	42,2 ± 0,3	2,9
50	47,8 ± 0,4	3,0
60	59,4 ± 0,4	3,1
75	75,1 ± 0,4	3,8
85	88,0 ± 0,4	4,0
110	113,1 ± 0,4	4,0
Notas:		
1. Para ambos os tipos são admitidas as seguintes variações na espessura de parede:		
<ul style="list-style-type: none"> • para tamanhos de 16 a 32 - + 0,4, - 0 • para tamanhos de 40 a 75 - + 0,5, - 0 • para o tamanho de 85 - + 0,6, - 0 		
2. Os eletrodutos devem ser fabricados em varas de 3,00 m, com variações de +1% e -0,5%.		

Notas:

1. Para os eletrodutos fabricados de acordo com as normas ABNT NBR 5597 e ABNT NBR 5598 são admitidas variações na espessura da parede que não excedam 12,5% para menos, ficando em aberto as variações para mais.
2. Os eletrodutos rígidos devem ser fabricados em varas de 3.000 ± 20 mm.

DIMENSÕES PRINCIPAIS DOS ELETRODUTOS FLEXÍVEIS DE PVC (ABNT NBR 15465)

Tamanho Nominal	Diâmetro Externo (mm)	Espessura de Parede (mm)
Tipo Corrugado – Leve ou Médio		
16	16,0 ± 0,3	2,1
20	20,0 ± 0,3	2,3
25	25,0 ± 0,4	3
32	32,0 ± 0,4	3,5
40	40,0 ± 0,5	4,5

TIPOS DE LINHAS ELÉTRICAS

Esta tabela indica os tipos de linhas elétricas recomendados pela ABNT NBR 5410. É importante observar que as linhas estão classificadas em grupos (em função das capacidades de condução de corrente).

Tipos de linhas elétricas (conforme tabela 33 da ABNT NBR 5410)

Método de instalação número	Descrição	Método de referência a utilizar 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 de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	B1
4	Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto	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
7	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B1
8	Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em alvenaria	B2
11	Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre parede ou espaçado desta menos de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C
11A	Cabos unipolares ou cabo multipolar fixado diretamente no teto	C
11B	Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado do teto mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo	C
12	Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja não perfurada ou prateleira	C
13	Cabos unipolares ou cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical	E (multipolar) F (unipolares)
14	Cabos unipolares ou cabo multipolar sobre suportes horizontais ou tela	E (multipolar) F (unipolares)

Método de instalação número	Descrição	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente '1'
15	Cabos unipolares ou cabo multipolar afastado(s) da parede mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo	E (multipolar) F (unipolares)
16	Cabos unipolares ou cabo multipolar em leito	E (multipolar) F (unipolares)
17	Cabos unipolares ou cabo multipolar suspenso por cabo de suporte, incorporado ou não	E (multipolar) F (unipolares)
18	Condutores nus ou isolados sobre isoladores	G $1,5 D_e \leq V < 5 D_e^{(9)}$
21	Cabos unipolares ou cabos multipolares em espaço de construção ⁽⁵⁾ , sejam eles lançados diretamente sobre a superfície do espaço de construção, sejam instalados em suportes ou condutos abertos (bandeja, prateleira, tela ou leito) dispostos no espaço de construção ^{(5) (6)}	B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e$ B1
22	Condutores isolados em eletroduto de seção circular em espaço de construção ^{(5) (7)}	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e^{(9)}$ B2 $V \geq 20 D_e^{(9)}$ B1
23	Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção circular em espaço de construção ^{(5) (7)}	B2
24	Condutores isolados em eletroduto de seção não-circular ou eletrocalha em espaço de construção ⁽⁵⁾	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e^{(9)}$ B2 $V \geq 20 D_e^{(9)}$ B1
25	Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção não-circular ou eletrocalha em espaço de construção ⁽⁵⁾	B2
26	Condutores isolados em eletroduto de seção não-circular embutido em alvenaria ⁽⁶⁾	$1,5 D_e \leq V < 5 D_e^{(9)}$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e^{(9)}$ B1
27	Cabos unipolares ou cabo multipolar em eletroduto de seção não-circular embutido em alvenaria	B2
28	Cabos unipolares ou cabo multipolar em forro falso ou em piso elevado ⁽⁷⁾	$1,5 D_e \leq V < 5 D_e^{(9)}$ B2 $5 D_e \leq V < 50 D_e^{(9)}$ B1
31 32	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B1
31A 32A	Cabo multipolar em eletrocalha sobre parede em percurso horizontal ou vertical	B2
33	Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta fechada encaixada no piso	B1
34	Cabo multipolar em canaleta fechada encaixada no piso	B2
35	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletrocalha ou perfilado suspensa(o)	B1
36	Cabo multipolar em eletrocalha ou perfilado suspensa(o)	B2
41	Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto de seção circular contido em canaleta fechada com percurso horizontal ou vertical	$1,5 D_e \leq V < 20 D_e^{(9)}$ B2 $V \geq 20 D_e^{(9)}$ B1
42	Condutores isolados em eletroduto de seção circular contido em canaleta ventilada encaixada no piso	B1
43	Cabos unipolares ou cabo multipolar em canaleta ventilada encaixada no piso	B1
51	Cabo multipolar embutido diretamente em parede termicamente isolante ⁽²⁾	A1

Método de instalação número	Descrição	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente'1'
52	Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria sem proteção mecânica adicional	C
53	Cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria com proteção mecânica adicional	C
61	Cabo multipolar em eletroduto (de seção circular ou não) ou em canaleta não ventilada enterrado(a)	D
61A	Cabo unipolar em eletroduto (de seção circular ou não) ou em canaleta não ventilada enterrado(a) ⁽⁸⁾	D
63	Cabos unipolares ou cabo multipolar diretamente enterrado(s), com proteção mecânica adicional	D
71	Condutores isolados ou cabos unipolares em moldura	A1
72	Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta provida de separações sobre parede	B1
72A	Cabo multipolar em canaleta provida de separações sobre parede	B2
73	Condutores isolados em eletroduto, cabos unipolares ou cabo multipolar embutido(s) em caixilho de porta	A1
74	Condutores isolados em eletroduto, cabos unipolares ou cabo multipolar e embutido(s) em caixilho de janela	A1
75	Condutores isolados ou cabos unipolares em canaleta embutida em parede	B1
75A	Cabo multipolar em canaleta embutida em parede	B2

housepress - versão A - 05/07/2010

1) Método de referência a ser utilizado na determinação da capacidade de condução de corrente. Ver 6.2.5.1.2.

2) Assume-se que a face interna da parede apresenta uma condutância térmica não inferior a 10 W/m².K.

3) Admitem-se também condutores isolados em perfilado, desde que nas condições definidas na nota de 6.2.11.4.1.

4) A capacidade de condução de corrente para bandeja perfurada foi determinada considerando-se que os furos ocupassem no mínimo 30% da área da bandeja. Se os furos ocuparem menos de 30% da área da bandeja, ela deve ser considerada como "não-perfurada".

5) Conforme a ABNT NBR IEC 60050 (826), os poços, as galerias, os pisos técnicos, os condutos formados por blocos alveolados, os forros falsos, os pisos elevados e os espaços internos existentes em certos tipos de divisórias (como, por exemplo, as paredes de gesso acartonado) são considerados espaços de construção.

6) De é o diâmetro externo do cabo, no caso de cabo multipolar. No caso de cabos unipolares ou condutores isolados, distinguem-se duas situações:

- três cabos unipolares (ou condutores isolados) dispostos em trifólio: De deve ser tomado igual a 2,2 vezes o diâmetro do cabo unipolar ou condutor isolado;

- três cabos unipolares (ou condutores isolados) agrupados num mesmo plano: De deve ser tomado igual a 3 vezes o diâmetro do cabo unipolar ou condutor isolado.

7) De é o diâmetro externo do eletroduto, quando de seção circular, ou altura/profundidade do eletroduto de seção não-circular ou da eletrocalha.

8) Admite-se também o uso de condutores isolados, desde que nas condições definidas na nota de 6.2.11.6.1.

9) Admitem-se cabos diretamente enterrados sem proteção mecânica adicional, desde que esses cabos sejam providos de armação (ver 6.2.11.6). Deve-se notar, porém, que esta Norma não fornece valores de capacidade de condução de corrente para cabos armados. Tais capacidades devem ser determinadas como indicado na ABNT NBR 11301.

NOTA: Em linhas ou trechos verticais, quando a ventilação for restrita, deve-se atentar para risco de aumento considerável da temperatura ambiente no topo do trecho vertical.

OS PERIGOS DA CORRENTE ELÉTRICA

Especialistas de diversos países têm estudado atentamente os efeitos da passagem da corrente elétrica pelo corpo humano. As conclusões a que chegaram eminentes cientistas e pesquisadores, através de experiências feitas com seres humanos e com animais, foram utilizadas pela IEC em sua Publicação nº 479-1, "Effects of current passing through the human body", de 1984. É nesse documento que se baseiam as principais normas internacionais de instalações elétricas, inclusive a nossa ABNT NBR 5410, nas partes que tratam da proteção das pessoas e dos animais domésticos contra os choques elétricos. Podem ser caracterizados quatro fenômenos patológicos críticos: a tetanização, a parada respiratória, as queimaduras e a fibrilação ventricular, que passamos a descrever sucintamente.

Tetanização

É a paralisia muscular provocada pela circulação de corrente através dos tecidos nervosos que controlam os músculos. Superposta aos impulsos de comando da mente, a corrente os anula podendo bloquear um membro ou o corpo inteiro. De nada valem, nesses casos, a consciência do indivíduo e sua vontade de interromper o contato.

Parada respiratória

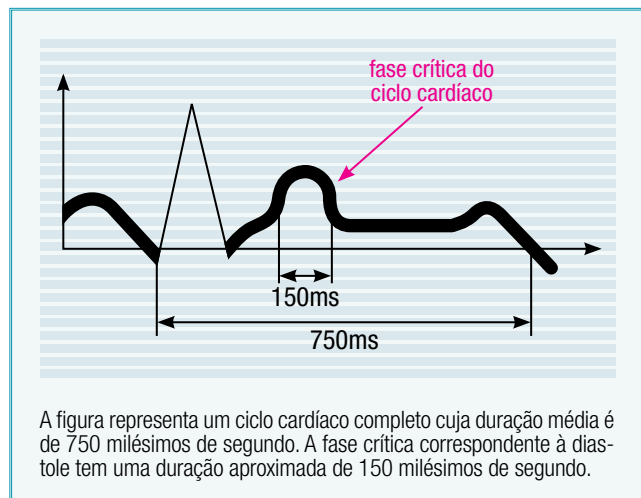
Quando estão envolvidos na tetanização os músculos peitorais, os pulmões são bloqueados e a função vital de respiração para. Trata-se de uma situação de emergência.

Queimaduras

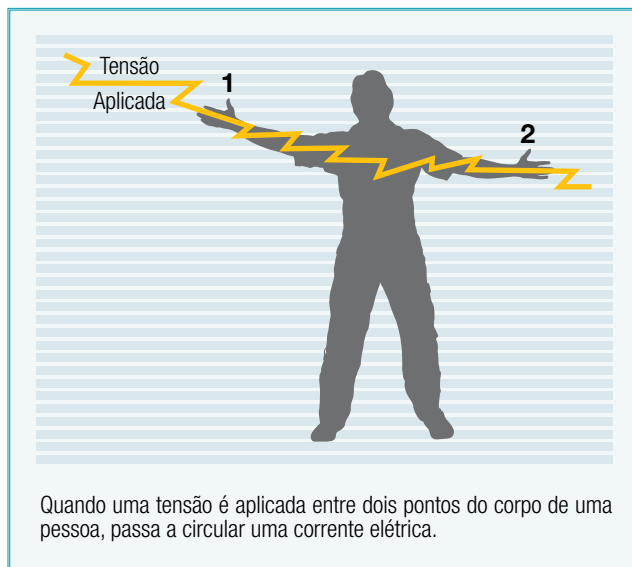
A passagem da corrente elétrica pelo corpo humano é acompanhada do desenvolvimento de calor por efeito Joule, podendo produzir queimaduras. Nos pontos de entrada e saída da corrente a situação torna-se mais crítica, tendo em vista, principalmente, a elevada resistência da pele e a maior densidade de corrente naqueles pontos. As queimaduras produzidas por corrente elétrica são, via de regra, as mais profundas e as de cura mais difícil, podendo mesmo causar a morte por insuficiência renal.

Fibrilação ventricular

Se a corrente atinge diretamente o músculo cardíaco, poderá perturbar seu funcionamento regular. Os impulsos periódicos que, em condições normais, regulam as contrações (sístole) e as expansões (diástole) são alterados: o coração vibra desordenadamente e, em termos técnicos, "perde o passo".



A situação é de emergência extrema, porque cessa o fluxo vital de sangue ao corpo. Observe-se que a fibrilação é um fenômeno irreversível, que se mantém mesmo quando cessa a causa; só pode ser anulada mediante o emprego de um equipamento chamado "desfibrilador", disponível, via de regra, apenas em hospitais e pronto-socorros.



Ocorre que a resistência do corpo humano não é constante, mas varia bastante dentro de limites amplos, dependendo de diversos fatores de natureza física e biológica, inclusive da tensão aplicada, bem como do trajeto da corrente, sendo muito difícil estabelecer um valor padronizado.

Efeitos Fisiológicos da Corrente Elétrica

CA de 15 a 100Hz, trajeto entre extremidades do corpo, pessoas de, no mínimo, 50 quilos de peso

Faixa de corrente	Reações fisiológicas habituais
0,1 a 0,5mA	Leve percepção superficial; habitualmente nenhum efeito
0,5 a 10mA	Ligeira paralisia nos músculos do braço, com início de tetanização; habitualmente nenhum efeito perigoso
10 a 30mA	Nenhum efeito perigoso se houver interrupção em, no máximo, 5 segundos
30 a 500mA	Paralisia estendida aos músculos do tórax, com sensação de falta de ar e tontura; possibilidade de fibrilação ventricular se a descarga elétrica se manifestar na fase crítica do ciclo cardíaco e por tempo superior a 200 ms
Acima de 500mA	Traumas cardíacos persistentes; nesse caso o efeito é letal, salvo intervenção imediata de pessoal especializado com equipamento adequado.

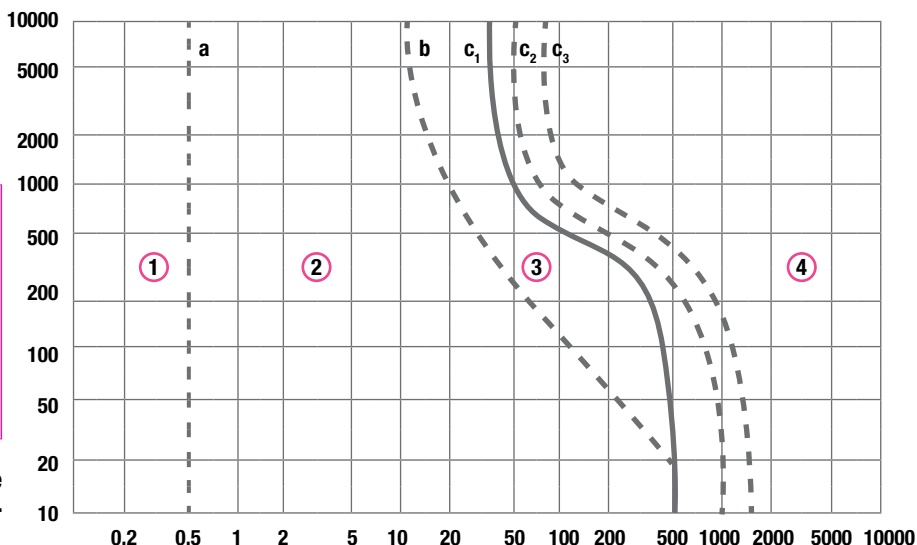
CAPÍTULO IV

Proteção contra choques elétricos

A Publicação nº 479-1 da IEC define quatro zonas de efeitos para correntes alternadas de 15 a 100Hz, admitindo a circulação de correntes entre as extremidades do corpo para pessoas com 50Kg ou mais.

- 1** - Nenhum efeito perceptível
- 2** - Efeitos fisiológicos geralmente não danosos
- 3** - Efeitos fisiológicos notáveis (parada cardíaca, parada respiratória, contrações musculares) geralmente reversíveis
- 4** - Elevada probabilidade de efeitos fisiológicos graves e irreversíveis: fibrilação cardíaca, parada respiratória

Zonas tempo-corrente de efeitos de corrente alternada (15 a 100Hz) sobre as pessoas.



PROTEÇÃO CONTRA CHOQUES ELÉTRICOS

São duas, como vimos no capítulo anterior, as condições de perigo para as pessoas em relação às instalações elétricas:

- ◆ Os contatos diretos, que consistem no contato com partes metálicas normalmente sob tensão (partes vivas);
- ◆ Os contatos indiretos, que consistem no contato com partes metálicas normalmente não energizadas (massas), mas que podem ficar energizadas devido a uma falha de isolamento.

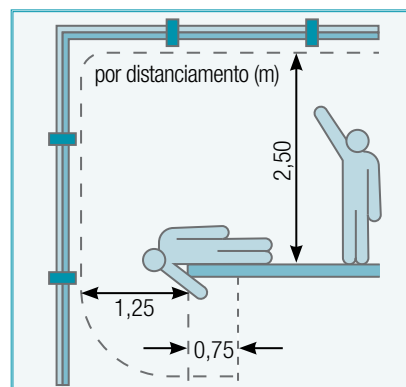
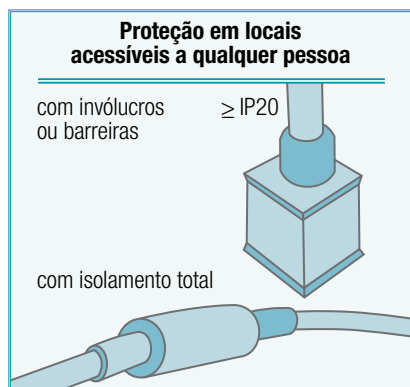
Para ambas as condições a ABNT NBR 5410 prescreve rigorosas medidas de proteção, que podem ser “ativas” ou “passivas”.

As **medidas ativas** consistem na utilização de dispositivos e métodos que proporcionam o seccionamento automático do circuito quando ocorrerem situações de perigo para os usuários.

As **medidas passivas**, por sua vez, consistem no uso de dispositivos e métodos que se destinam a limitar a corrente elétrica que pode atravessar o corpo humano ou a impedir o acesso às partes energizadas.

PROTEÇÃO CONTRA CONTATOS DIRETOS SEGUNDO A ABNT NBR 5410

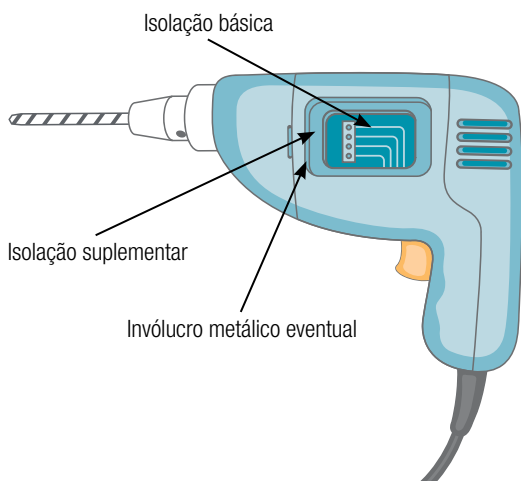
Proteção	Tipo de Medida	Sistema	Tipo de Pessoa
Total	Passiva	Isolação das partes vivas sem possibilidade de remoção	Comum
	Passiva	Invólucros ou barreiras removíveis apenas com chave ou ferramenta com intertravamento ou com uso de barreira intermediária	Comum
Parcial	Passiva	Obstáculos removíveis sem ferramenta	Advertida Qualificada
	Passiva	Distanciamento das partes vivas acessíveis	Advertida Qualificada
Complementar	Ativa	Circuito protegido por dispositivo DR de alta sensibilidade	Qualquer



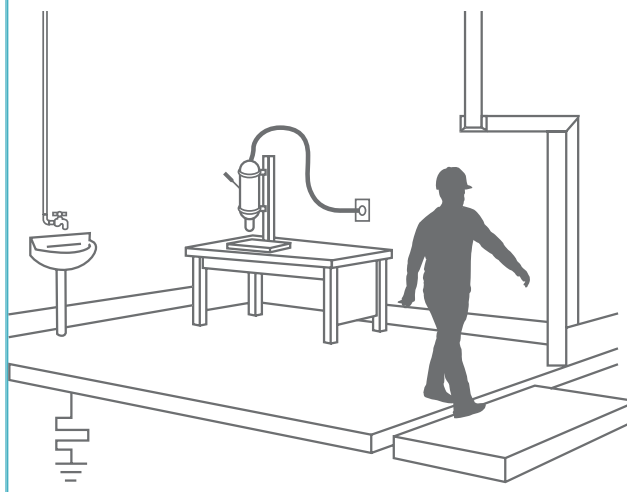
PROTEÇÃO CONTRA CONTATOS INDIRETOS SEGUNDO A ABNT NBR 5410

Tipo de Medida	Sistema
Passiva (sem seccionamento automático do circuito)	Isolação dupla
	Locais não condutores
	Separação elétrica
	Ligações equipotenciais
Ativa (com seccionamento automático do circuito)	Esquema TN
	Esquema TT
	Esquema IT

Proteção por dupla isolação



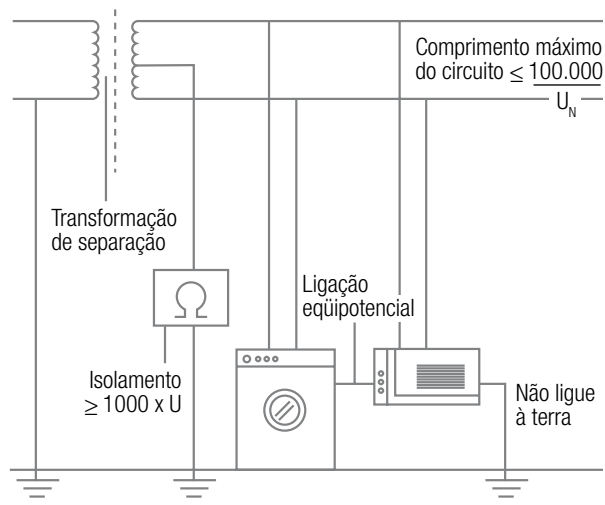
Proteção por locais não condutores



Proteção por ligação equipotencial



Proteção por separação elétrica



ATERRAMENTOS

Entendemos por **aterramento** a ligação intencional de um condutor à terra.

Se essa ligação é feita diretamente, sem a interposição de qualquer impedância (ou resistência) falamos em **aterramento direto**.

Se, ao contrário, entre o condutor e a terra insere-se uma impedância, dizemos que o aterramento é **não direto**.

Dois são os tipos de aterramento numa instalação:

- ◆ **o aterramento funcional** que consiste na ligação à terra de um dos condutores do sistema (geralmente o neutro), com o objetivo de garantir o funcionamento correto, seguro e confiável da instalação
- ◆ **o aterramento de proteção** que consiste na ligação à terra das massas e dos elementos condutores estranhos à instalação, com o único objetivo de proporcionar proteção contra contatos indiretos.

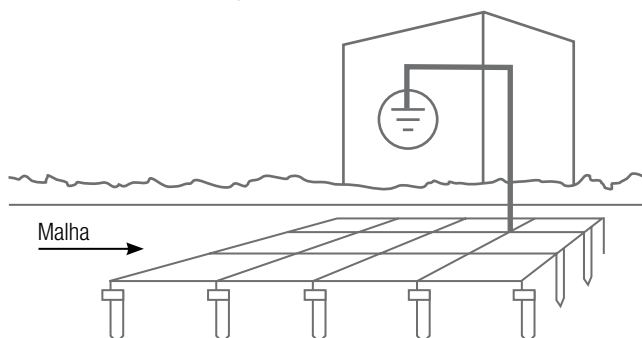
Algumas vezes são realizados aterramentos “conjuntos”, funcionais e de proteção.

Os aterramentos são efetuados com **eletrodos de aterramento**, que são os condutores colocados em contato com a terra. Estes podem ser: hastes, perfis, barras, cabos nus, fitas, etc. A ABNT NBR 5410 estabelece que o eletrodo de aterramento preferencial de uma instalação seja aquele constituído pelas armaduras de aço embutidas no concreto das fundações das edificações.

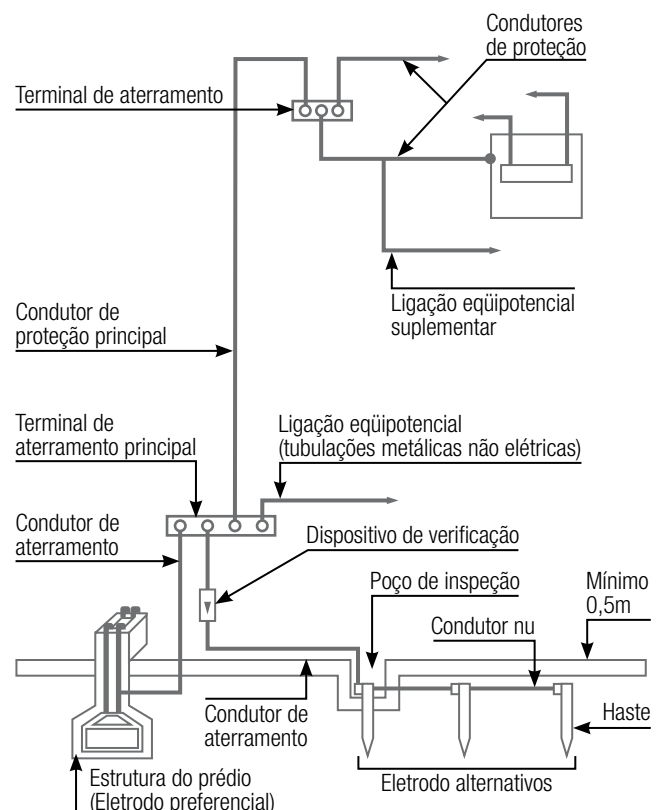
O termo “eletrodo” refere-se sempre ao condutor ou ao conjunto de condutores em contato com a terra e, portanto, abrange desde uma simples haste isolada até uma complexa “malha” de aterramento, constituída pela associação de hastes com cabos.

Em qualquer tipo de prédio deve existir um “sistema de terra” constituído por:

- ◆ **eletrodo de aterramento** - condutor ou conjunto de condutores em contato íntimo com o solo e que garante(m) uma ligação elétrica com ele;
- ◆ **condutor de proteção (PE)** - condutor prescrito em certas medidas de proteção contra os choques elétricos e destinado a ligar eletricamente:
 - massa
 - elementos condutores estranhos à instalação
 - eletrodos de aterramento principal
 - eletrodos de aterramento, e/ou
 - pontos de alimentação ligados à terra ou ao ponto neutro artificial



- ◆ **condutor PEN** - condutor ligado à terra garantindo ao mesmo tempo as funções de condutor de proteção e de condutor neutro; a designação PEN resulta da combinação PE (de condutor de proteção) +N (de neutro); o condutor PEN não é considerado um condutor vivo;
- ◆ **terminal (ou barra) de aterramento principal** - terminal (ou barra) destinado a ligar, ao dispositivo de aterramento, os condutores de proteção, incluindo os condutores de equipotencialidade e, eventualmente, os condutores que garantam um aterramento funcional;
- ◆ **resistência de aterramento (total)** - resistência elétrica entre o terminal de aterramento principal de uma instalação elétrica e a terra;
- ◆ **condutor de aterramento** - condutor de proteção que liga o terminal (ou barra) de aterramento principal ao eletrodo de aterramento;
- ◆ **ligação equipotencial** - ligação elétrica destinada a colocar no mesmo potencial ou em potenciais vizinhos as massas e os elementos condutores estranhos à instalação; podemos ter numa instalação três tipos de ligação equipotencial:
 - a ligação equipotencial principal,
 - ligações equipotenciais suplementares,
 - ligações equipotenciais não ligadas à terra;
- ◆ **condutor de equipotencialidade** - condutor de proteção que garante uma ligação equipotencial;
- ◆ **condutor de proteção principal** - condutor de proteção que liga os diversos condutores de proteção da instalação ao terminal de aterramento principal.



TENSÃO DE CONTATO

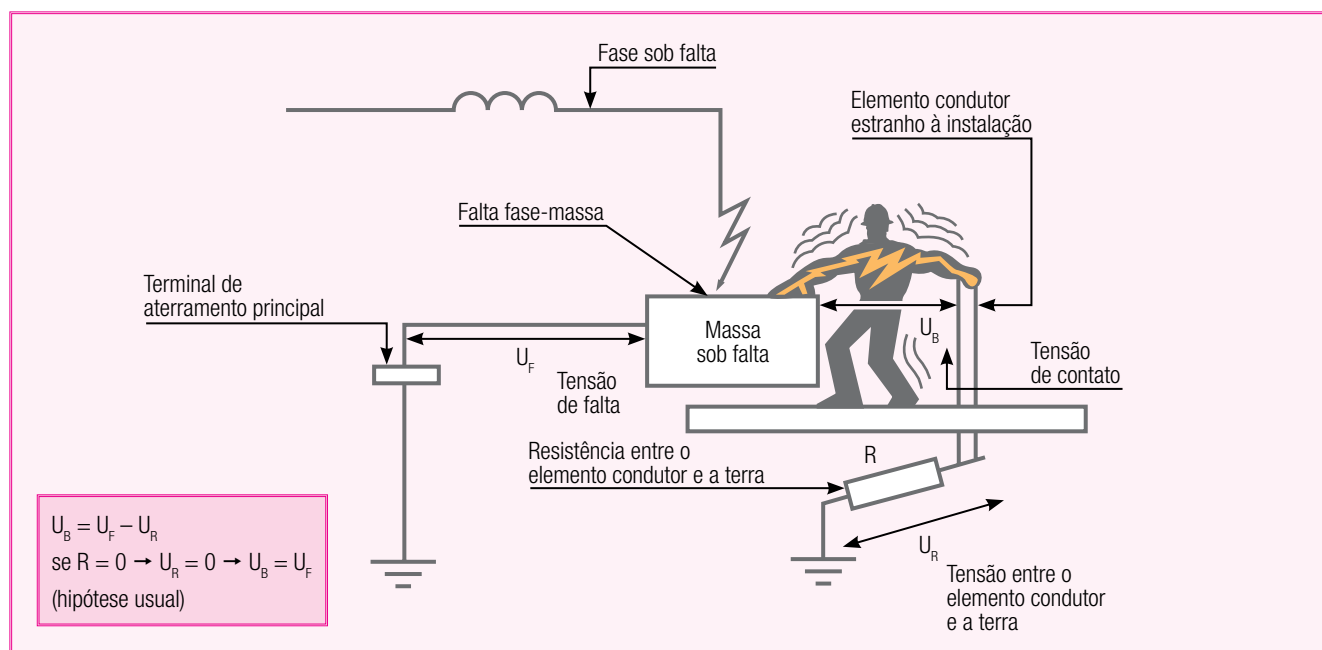
Muito embora seja a corrente (juntamente com o tempo) a grandeza mais importante no estudo do choque elétrico, como foi visto anteriormente, por razões óbvias, só se pode avaliá-la indiretamente, ou seja, recorrendo à tensão aplicada ao corpo humano.

Define-se então a **tensão de contato**, como sendo a tensão a que uma pessoa possa ser submetida ao tocar, simultaneamente, em um objeto colocado sob tensão e um outro elemento que se encontra num potencial diferente.

O perigo para uma pessoa não está simplesmente em tocar um objeto sob tensão, mas, sim, em tocar simultaneamente um outro objeto que

esteja num potencial diferente em relação ao primeiro. As pessoas encontram-se, via de regra, em contato com o solo, ou com o soalho ou com uma parede. Na posição normal, os pés estão sobre o solo e, a menos que a pessoa esteja calçando sapatos com sola isolante, seu corpo encontra-se praticamente no potencial do solo.

Em certos casos o solo é isolante e está realmente isolado da terra, não havendo então qualquer perigo. No entanto, como regra geral, os indivíduos encontram-se em contato com objetos ou partes de um prédio que estão num potencial elétrico bem definido, geralmente o da terra, e qualquer contato com um outro elemento num potencial diferente pode ser perigoso.



A ABNT NBR 5410 estabelece o tempo máximo durante o qual uma pessoa pode suportar uma dada tensão de contato. Esses tempos consideram duas “situações” em que podem estar as pessoas:

- ◆ situação 1: ambientes normais;
- ◆ situação 2: áreas externas, canteiros de obras, outros locais em que as pessoas estejam normalmente molhadas.

TEMPOS DE SECCIONAMENTO MÁXIMOS NO ESQUEMA TN (CONFORME TABELA 25 DA ABNT NBR 5410)

U_0 (V)	Tempo de seccionamento(s)	
	Situação 1	Situação 2
115, 120, 127	0,8	0,35
220	0,4	0,20
254	0,4	0,20
277	0,4	0,20
400	0,2	0,05

NOTA

U_0 = tensão nominal entre fase e neutro, valor eficaz em corrente alternada.

A proteção contra contatos indiretos por seccionamento automático da alimentação do circuito (onde ocorra a falta fase-massa) é a **principal** das medidas de proteção, segundo a ABNT NBR 5410. Seu objetivo é evitar que uma tensão de contato U_b superior à tensão de contato limite U_L (50V na situação 1 ou 25V na situação 2) permaneça por um tempo que possa resultar em perigo para as pessoas.

Baseia-se em 2 condições:

- ◆ existência de um percurso para a corrente de falta,
- ◆ seccionamento do circuito por dispositivo apropriado em tempo adequado.

O **percurso da corrente de falta** é função do esquema de aterramento e só pode ser realizado através dos condutores de proteção que ligam as massas ao terminal de aterramento principal.

O **seccionamento** do circuito depende das características dos dispositivos de proteção utilizados (disjuntores, dispositivos fusíveis ou dispositivos DR).

O tempo t em que deve ocorrer o seccionamento automático do circuito deve ser:

- ◆ no máximo 5 segundos, quando $U_b = U_L$
- ◆ no máximo 5 segundos para circuitos de distribuição e para circuitos terminais que só alimentam equipamentos fixos (na situação 1)
- ◆ no máximo igual ao obtido da curva t em função de U_b .

A ABNT NBR 5410 classifica os esquemas de aterramento (considerando o aterramento funcional e o de proteção), de acordo com a seguinte notação, que utiliza 2, 3 ou 4 letras:

1ª letra — indica a situação da alimentação em relação à terra:

- ◆ T — um ponto diretamente aterrado,
- ◆ I — isolamento de todas as partes vivas ou aterramento através da impedância;

2ª letra — situação das massas em relação à terra:

- ◆ T — massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto de alimentação,
- ◆ N — massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado, geralmente o ponto neutro;

outras letras (eventuais) — disposição do condutor neutro e do condutor de proteção:

- ◆ S — funções de neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos,
- ◆ C — funções de neutro e de proteção combinadas em único condutor (condutor PEN).

CONDUTORES DE PROTEÇÃO

Os condutores de proteção devem estar presentes em todas as instalações de baixa tensão, seja qual for o esquema de aterramento adotado, TN, TT, ou IT, e desempenham um papel fundamental na proteção contra os contatos indiretos. São eles que garantem a perfeita continuidade do circuito de terra para o escoamento das correntes de fuga e/ou de falta da instalação.

Em seu sentido mais geral o termo “condutor de proteção” inclui:

- ◆ os condutores de proteção dos circuitos terminais e de distribuição;
- ◆ os condutores de equipotencialidade;
- ◆ o condutor de aterramento.

Trataremos aqui dos condutores de proteção dos circuitos, designados internacionalmente pelas letras PE (de **Protection Earth**).

Num circuito terminal o condutor de proteção liga as massas dos equipamentos de utilização e, se for o caso, o terminal “terra” das tomadas de corrente, alimentados pelo circuito ao terminal de aterramento do quadro de distribuição respectivo.

Num circuito de distribuição, o condutor de proteção interliga o terminal de aterramento do quadro de onde parte o circuito ao terminal de aterramento do quadro alimentado pelo circuito.

Como condutores de proteção de circuito devem ser usados preferencialmente:

- ◆ **condutores isolados**, como o **Afumex Plus** e o **Superastic Flex**
- ◆ **cabos unipolares**, como o **Afumex 1 kV** e o **Gsette** (de 1 condutor)
- ◆ **veias de cabos multipolares**, como o **Afumex 1 kV** e o **Gsette** (de 3 ou 4 condutores)

Os condutores isolados e os cabos unipolares devem, de preferência, fazer parte da mesma linha elétrica do circuito, o que é, aliás, explicitamente recomendado pela ABNT NBR 5410 nos esquemas TN.

Quando os condutores de proteção forem identificados através de cor, deve ser usada a dupla coloração verde-amarelo ou, opcionalmente, a cor verde. No caso dos condutores PEN deve ser usada a cor azul-claro (a mesma que identifica o neutro), com indicação verde-amarelo nos pontos visíveis e/ou acessíveis. Nos condutores isolados e nas veias de cabos multipolares a identificação deve ser feita na isolamento, enquanto que, nos cabos unipolares, deve ser feita na cobertura.

Seção dos condutores fase (S) mm ²	Seção dos condutores de proteção (S _{PE}) mm ²
$S \leq 16$	$S_{PE} = S$
$16 < S \leq 35$	$S_{PE} = 16$
$S > 35$	$S_{PE} = S/2$

DISPOSITIVO DR

Princípio de funcionamento do dispositivo diferencial-residual.

Um dispositivo diferencial-residual (dispositivo DR) é constituído, em suas linhas essenciais, pelos seguintes elementos principais:

- 1 — contatos fixos e contatos móveis
- 2 — transformador diferencial
- 3 — disparador diferencial (relê polarizado)

Os contatos têm por função permitir a abertura e o fechamento do circuito e são dimensionados de acordo com a corrente nominal (I_N) do dispositivo. Quando se trata de um disjuntor termomagnético diferencial, os contatos são dimensionados para poder interromper correntes de curto-circuito até o limite dado pela capacidade de interrupção de corrente nominal do dispositivo.

O transformador é constituído por um núcleo laminado, de material com alta permeabilidade, com tantas bobinas primárias quantos forem os pólos do dispositivo (no caso do dispositivo da fig., bipolar, duas bobinas) e uma bobina secundária destinada a detectar a corrente diferencial-residual.

As bobinas primárias são iguais e enroladas de modo que, em condições normais, seja praticamente nulo o fluxo resultante no núcleo; a bobina secundária tem por função “sentir” um eventual fluxo resultante.

O sinal na saída da bobina secundária é enviado a um relê polarizado, que aciona o mecanismo de disparo para abertura dos contatos principais.

O disparador diferencial é um relê polarizado constituído por um ímã permanente, uma bobina ligada à bobina secundária do transformador e uma peça móvel, fixada de um lado por uma mola e ligada mecanicamente aos contatos do dispositivo; na condição de repouso, a peça móvel permanece na posição fechada, encostada no núcleo e tracionando a mola. A aplicação do relê polarizado por desmagnetização ou por saturação é generalizada nos dispositivos diferenciais, uma vez que com ele é suficiente uma pequena energia para acionar mecanismos de uma certa complexidade. Em condições de funcionamento normal, o fluxo resultante no núcleo do transformador, produzido pelas correntes que percorrem os condutores de alimentação, é nulo e na bobina secundária não é gerada nenhuma força eletromotriz. A parte móvel do disparador diferencial está em contato com o núcleo (como na fig.), tracionando a mola, atraída pelo campo do ímã permanente.

Quando o fluxo resultante no núcleo do transformador for diferente de zero, isto é, quando existir uma corrente diferencial-residual, I_{DR} , será gerada uma força eletromotriz na bobina secundária e uma corrente percorrerá a bobina do núcleo do disparador.

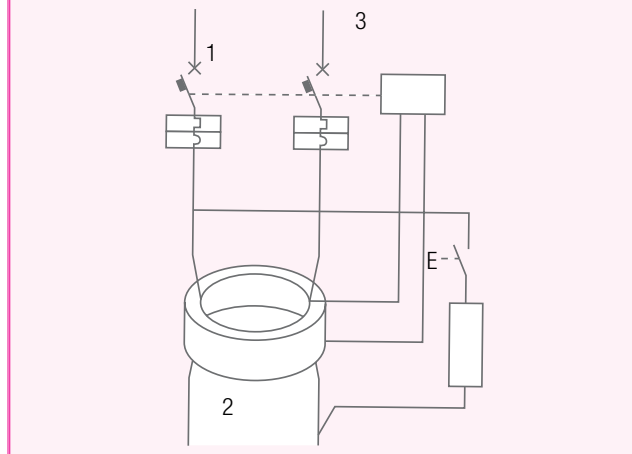
Quando I_{DR} for igual ou superior a $I_{\Delta N}$ (corrente diferencial-residual nominal de atuação do dispositivo), o fluxo criado no núcleo do disparador pela corrente proveniente da bobina secundária do transformador provoca a desmagnetização do núcleo, abrindo o contato da parte móvel e, conseqüentemente, os contatos principais do dispositivo.

Os dispositivos DR com $I_{\Delta N}$ superior a 0,03A (baixa sensibilidade) são destinados à proteção contra contatos indiretos e contra incêndio.

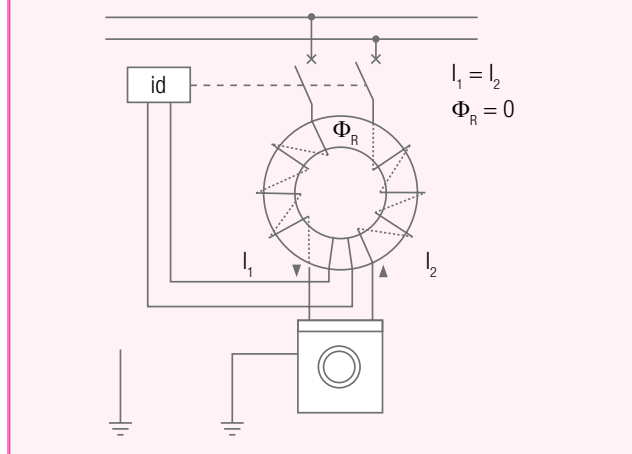
Os dispositivos com $I_{\Delta N}$ igual ou inferior a 0,03A (alta sensibilidade), além de proporcionarem proteção contra contatos indiretos, se constituem, como vimos, numa proteção complementar contra contatos diretos.

Em condições normais a soma das correntes que percorrem os condutores vivos do circuito (I_1, I_2, I_3 e I_N) é igual a zero, isto é, $I_{DR} = 0$, mesmo que haja desequilíbrio de correntes.

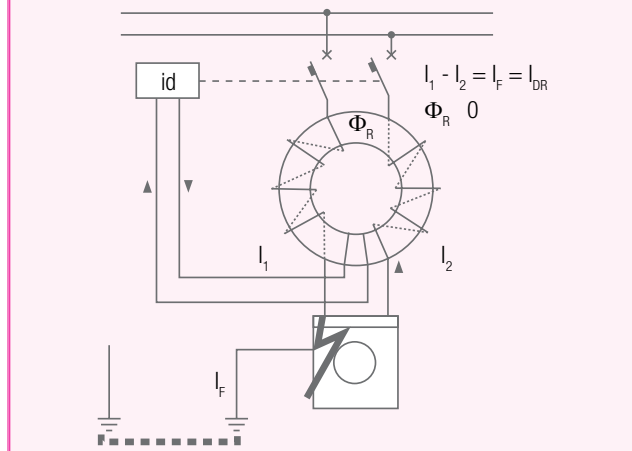
ESQUEMA DO DISJUNTOR DIFERENCIAL



AUSÊNCIA DE FALTA PARA TERRA



CONDIÇÃO DE FALTA PARA TERRA



Esquema	Princípio	Configurações básicas	Percurso da corrente de falta	Tempo de seccionamento	Impedância	Tensão de contato	Dispositivos de proteção contra contatos indiretos	Condição de proteção	Observações
TN	TN-S	Alimentação aterrada; massas aterradas junto com a alimentação.					Disjuntores Dispositivos fusíveis Dispositivos DR		<p>- TN-C só pode ser usado em instalações fixas com $S \geq 10 \text{ mm}^2$;</p> <p>- No TN-C não podem ser utilizados dispositivos DR;</p> <p>- Os dispositivos DR devem ser usados quando não puder ser cumprida a condição de proteção;</p> <p>- Devem ser objeto de proteção complementar contra contatos diretos por meio de dispositivos DR de alta sensibilidade ($I_{\Delta N} \leq 30\text{mA}$):</p> <p>a) circuitos que sirvam a pontos em locais contendo banheira ou chuveiro;</p> <p>b) circuitos que alimentem tomadas de corrente em áreas externas;</p> <p>c) circuitos de tomadas de corrente em áreas internas que possam vir alimentar equipamentos no exterior;</p> <p>d) circuitos de tomadas de corrente em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e, no geral, a todo local interno molhado em uso normal ou sujeito a lavagens.</p>
	TN-C				$Z_S = R_E + R_L + R_{PE}$	$U_B = U_0 \frac{R_{PE}}{Z_S}$	Disjuntores Dispositivos fusíveis	$Z_S \cdot I_a \leq U_0$	
	TN-CS						Disjuntores Dispositivos fusíveis Dispositivos DR		
	Alimentação por rede pública BT (TN-CS)				$Z_S = R_E + R_L + R_L + R_{PE} + R_{PEN}$	$U_B = U_0 \frac{R_{PE} + R_{PEN}}{Z_S}$	Dispositivos DR Disjuntores Dispositivos fusíveis		
TT	Clássico	Alimentação aterrada; massas aterradas utilizando eletrodo(s) independente(s).			No máximo 5_s			$R_A \cdot I_{\Delta N} \leq U_L$	<p>- Os dispositivos DR são os únicos permitidos para proteção contra contatos indiretos.</p> <p>- Devem ser objeto de proteção complementar contra contatos diretos por meio de dispositivos DR de alta sensibilidade ($I_{\Delta N} \leq 30\text{mA}$):</p> <p>a) circuitos que sirvam a pontos em locais contendo banheira ou chuveiro;</p> <p>b) circuitos que alimentem tomadas de corrente em áreas externas;</p> <p>c) circuitos de tomadas de corrente em áreas internas que possam vir alimentar equipamentos no exterior;</p> <p>d) circuitos de tomadas de corrente em cozinhas, copas-cozinhas, lavanderias, áreas de serviço, garagens e, no geral, a todo local interno molhado em uso normal ou sujeito a lavagens.</p>
	Alimentação por rede pública BT							$R_A \cdot I_a \leq U_L$	
							Dispositivos DR	$R_A \cdot I_{\Delta N} \leq U_L$	

Legendas

- U Tensão entre fases
- U₀ Tensão fase-neutro
- R_A Resistência de aterramento das massas
- R_B Resistência de aterramento da alimentação
- R_N Resistência de aterramento do neutro
- R_L Resistência do(s) condutor(es) fase
- R_{L'} Resistência do(s) condutor(es) fase no trecho à jusante do ponto de entrega
- R_{PE} Resistência do(s) condutor(es) de proteção
- R_{PEN} Resistência do(s) condutor(es) PEN
- I_F Corrente de falta direta fase-massa
- Z_S Impedância do percurso da corrente de falta
- I_a Corrente que provoca a atuação do dispositivo de proteção no tempo máximo indicado
- U_F Tensão de falta
- U_B Tensão de contato
- U_L Tensão de contato limite
- I_{ΔN} Corrente diferencial-residual nominal de atuação (dispositivo DR)
- R_E Resistência do secundário do transformador

APLICAÇÃO DOS DISPOSITIVOS DR

As instalações elétricas sempre apresentam correntes de fuga. O valor de tais correntes, que fluem para a terra, dependerá de diversos fatores, entre os quais a qualidade dos componentes e dos equipamentos de utilização empregados, a qualidade da mão de obra de execução da instalação, a idade da instalação, o tipo de prédio, etc. Via de regra, as correntes de fuga variam desde uns poucos miliampères até alguns centésimos de ampère.

É evidente que para poder instalar um dispositivo DR na proteção de um circuito ou de uma instalação (proteção geral), as respectivas correntes de fuga deverão ser inferiores ao limiar de atuação do dispositivo. Observe-se, por exemplo, que não se poderia nunca utilizar um dispositivo DR (pelo menos um de alta sensibilidade) numa instalação onde exista um chuveiro elétrico metálico com resistência nua (não blindada).

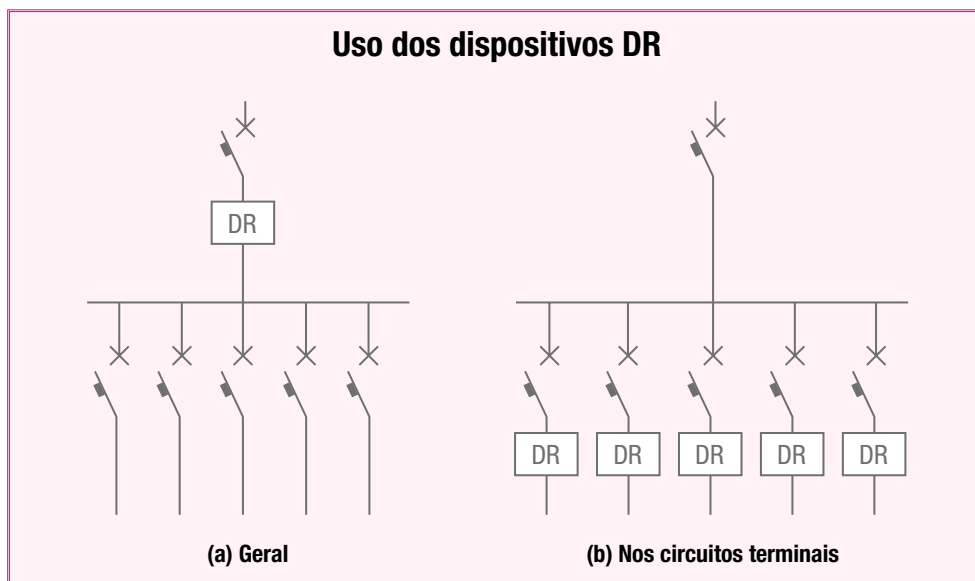
Nessas condições, antes de instalar um dispositivo DR, sobretudo em instalações mais antigas, é necessário efetuar uma medição preventiva destinada a verificar a existência, pelo menos, de correntes de fuga superiores a um certo limite. Se o resultado dessa prova for favorável, isto é, se não existirem correntes significativas fluindo para a terra, poder-se-á instalar um dispositivo DR como proteção geral contra contatos indiretos; caso contrário, só poderão ser instalados dispositivos DR nas derivações da instalação (geralmente em circuitos terminais).

É importante observar que pequenas correntes de fuga aumentam a eficácia dos dispositivos DR. De fato, se considerarmos uma instalação protegida por um diferencial com $I_{\Delta N} = 0,03A$, cujo limiar de atuação seja de $0,025A$, e que apresente uma corrente de fuga permanente de $0,008A$, um incremento de corrente diferencial (provocado, por exemplo, por uma pessoa tocando numa parte viva, ou por uma falta fase-massa num equipamento de utilização) de $0,017A$ será suficiente para determinar a atuação da proteção.

Para os esquemas TT a ABNT NBR 5410 recomenda que, se a instalação for protegida por um único dispositivo DR este deve ser colocado na origem da instalação, como proteção geral contra contatos indiretos, a menos que a parte da instalação compreendida entre a origem e o dispositivo não possua qualquer massa e satisfaça à medida de proteção pelo emprego de equipamentos classe II ou por aplicação de isolamento suplementar. Na prática essa condição pode ser realizada se entre a origem (situada, por exemplo, na caixa de entrada da instalação) e o dispositivo DR único (instalado, por exemplo, no quadro de distribuição) existirem apenas condutores isolados contidos em eletrodutos isolantes ou cabos uni ou multipolares (contidos, ou não, em condutos isolantes). A opção à utilização de um único DR é o uso de vários dispositivos, um em cada derivação (geralmente nos circuitos terminais), como mostra a figura (b) no quadro abaixo.

Valores máximos de resistência de aterramento das massas (R_A) num esquema TT, em função da corrente diferencial-residual de atuação do dispositivo DR ($I_{\Delta N}$) e da tensão de contato limite (U_L).

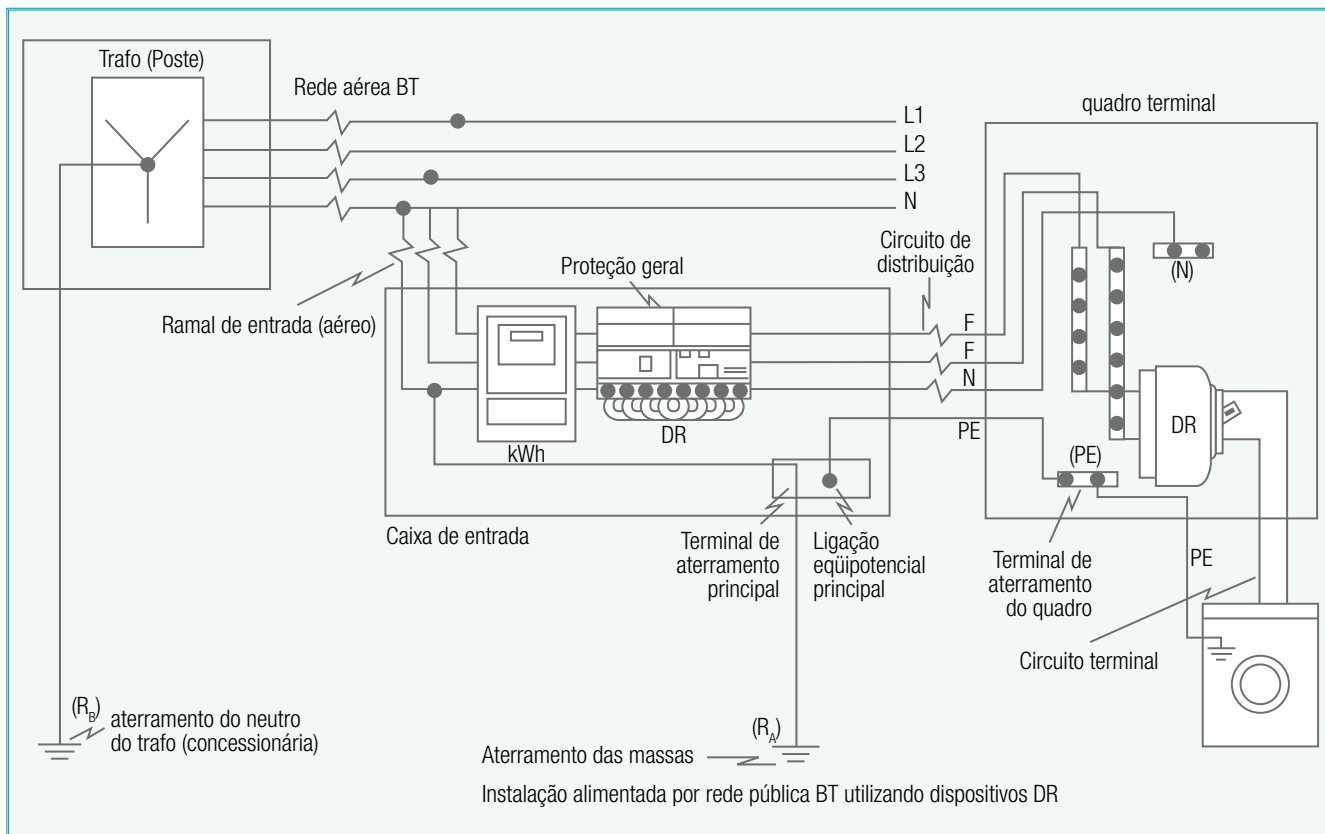
$I_{\Delta N}$ (A)	Valor máximo de R_A (Ω)	
	Situação 1 ($U_L = 50$ V)	Situação 2 ($U_L = 25$ V)
0,03	1667	833
0,3	167	83,3
0,5	100	50



APLICAÇÃO TÍPICA DE UM DISPOSITIVO DR NUM ESQUEMA TT

Um pequeno prédio (1 único consumidor) é alimentado a partir de uma rede pública de baixa tensão, com duas fases e neutro. No quadro de entrada, além do medidor existe um disjuntor termomagnético diferencial, que se constitui na proteção geral da instalação. O aterramento das massas é feito junto ao quadro, onde se localiza o terminal de aterramento principal da instalação. Do quadro de entrada parte o circuito de distribuição principal, com duas fases,

neutro e condutor de proteção, que se dirige ao quadro de distribuição (terminal) da instalação onde, eventualmente, poderão existir outros dispositivos DR (por exemplo, outros disjuntores termomagnéticos diferenciais), devidamente coordenados com o primeiro, para a proteção de certos circuitos terminais; a coordenação pode ser conseguida tendo-se para o dispositivo geral $I_{\Delta N} = 0,3A$ e para os demais $I_{\Delta N} = 0,03A$.



housepress - versão A - 02/09/2010

CORRENTE DE PROJETO

Os circuitos de uma instalação, ou seja, os **circuitos terminais** e os **circuitos de distribuição**, são caracterizados pela **corrente de projeto**, I_B . Trata-se da corrente que os condutores do circuito devem transformar em condições normais de funcionamento.

No cálculo de I_B estão envolvidas, no caso mais geral, várias grandezas, que passamos a analisar:

- a - **potência (ativa) nominal de saída de um equipamento de utilização** P'_N (em W ou kW)
- b - **potência (ativa) nominal de entrada de um equipamento de utilização** P_N (em W ou kW)
- c - **rendimento de um equipamento de utilização S_N (em VA ou kVA)** $\eta = \frac{P'_N}{P_N}$
- d - **potência aparente nominal de entrada de um equipamento de utilização** $S_N = \frac{P_N}{\cos\Phi_N}$
- e - **fator de potência nominal de um equipamento de utilização** $\cos\Phi_N$
- f - **fator a** $a = \frac{1}{\eta \times \cos\Phi_N}$ (ver tabela 2)
- g - **tensão nominal (de linha) do circuito** U_N (em V)
- h - **fator t**, que vale $A\sqrt{3}$ para circuitos trifásicos (3F ou 3F + N) e 1 para circuito monofásicos (FF ou FN ou 2F + N);
- i - **fator que converte kVA em A** $f = \frac{10^3}{t \cdot U_N}$ (ver tabela 1)
- j - **potência instalada**, P_{INST} (em W ou kW), é definida como a soma das potências nominais de entrada dos equipamentos de utilização ligados a um circuito terminal (potência instalada de um circuito terminal), ou de um conjunto de equipamentos de utilização de mesmo tipo ligados a um quadro de distribuição (por exemplo, conjunto de aparelhos de iluminação, conjunto de tomadas, conjunto de motores, etc), ou de todos os equipamentos de utilização ligados a um quadro de distribuição (potência instalada de um quadro de distribuição), ou de todos os equipamentos de utilização de uma instalação (potência instalada de uma instalação);
- k - **potência de alimentação**, P_A (em W ou kW), é definida como a soma das potências nominais de entrada dos equipamentos de utilização de um conjunto de equipamentos de utilização de mesmo tipo ligados a um quadro de distribuição, ou de todos os equipamentos de utilização ligados a um quadro de distribuição, **que estejam em funcionamento no instante de maior solicitação da instalação**;

- l - **fator de demanda**, g , é definido como o fator que caracteriza a simultaneidade de funcionamento dos equipamentos de utilização, de um conjunto de equipamentos de utilização de mesmo tipo ligados a um quadro de distribuição, ou de todos os equipamentos de utilização ligados a um quadro de distribuição, **no instante de maior solicitação (maior demanda) da instalação**.

As tabelas 3 a 8 são exemplos de fatores de demanda. Elas devem ser utilizadas com cautela, uma vez que os fatores podem variar em função da região onde a instalação está situada. Geralmente, as concessionárias de energia locais possuem valores mais adequados a serem utilizados.

$$g = \frac{P_A}{P_{INST}}$$

EXEMPLO

Entre os equipamentos de utilização ligados a um quadro de distribuição de uma indústria existem 12 tornos de 3 kW cada um. O fator de demanda do conjunto é estimado em 0,3.

- A **potência instalada** do conjunto dos tornos ligados ao quadro é de $12 \times 3 = 36$ kW ($P_{INST} = 36$ kW)

- No instante de maior solicitação da instalação estão em funcionamento $0,3 \times 12 = 4$ dos tornos ligados ao quadro; em outras palavras, a potência de alimentação do conjunto de tornos ligados ao quadro no instante de maior demanda da instalação é $P_A = g \times P_{INST} = 0,3 \times 36 = 12$ kW

A corrente de projeto de um circuito terminal (que só deve alimentar equipamentos de mesmo tipo) é determinada a partir da potência instalada do circuito, isto é,

$$I_B = \frac{P_{INST}}{t \times U_N \times \cos\Phi_N}$$

(Obs.: Se P_{INST} for dada em kW devemos multiplicá-la por 1000)

ou então, se forem dadas apenas as potências de saída (P'_N) dos equipamentos,

$$I_B = \frac{\sum P'_N}{t \times U_N \times \eta \times \cos\Phi_N}$$

(Obs.: Se $\sum P'_N$ for dada em kW devemos multiplicá-la por 1000)

TABELA 1

Valores típicos do fator f

Tipo de circuito	Tensão U_N (V)	f (Valor arredondado)
Monofásico (FN, FF ou 2F-N)	110	9
	115	8,6
	127	8
	208	4,8
	220	4,5
	230	4,3
Trifásico (3F ou 3F-N)	208	2,8
	220	2,7
	230	2,5
	380	1,5
	440	1,3
	460	1,25

TABELA 2

Valores típicos do fator de potência, do rendimento e do *fator a*, a ser utilizados na falta de dados específicos do fabricante.

Equipamento	cosΦ	η	a
ILUMINAÇÃO			
Incandescente	1,0	1,0	1,0
Mista	~1,0	1,0	1,4*
Vapor de sódio à baixa pressão (sempre aparelhos compensados) • 8a 180W	0,85	0,7 a 0,8	1,6*

APARELHOS NÃO COMPENSADOS (baixo cosΦ)

Iodeto metálico • 220 V-230 a 1000 W • 380 V - 2000 W	0,6 0,6	0,9 a 0,95 0,9	3,5* 3,5'
Fluorescente • com starter -18 a 65 W • partida rápida - 20 a 110 W	0,5 0,5	0,6 a 0,83 0,54 a 0,8	3,2 a 2,4 3,7 a 2,5
Vapor de mercúrio 220 V-50 a 1000 W	0,5	0,87 a 0,95	4,0*
Vapor de sódio à alta pressão • 70 a 1000 W	0,4	0,9	4,2*

APARELHOS COMPENSADOS (alto cosΦ)

Iodeto metálico • 220 V-230 a 1000 W • 380 V - 2000 W	0,85 0,85	0,9 a 0,95 0,9	2,4* 2,4*
Fluorescente • com starter-18 a 65 W • partida rápida - 20 a 110 W	0,85 0,85	0,6 a 0,83 0,54 a 0,8	1,9 a 1,4 2,2 a 1,5
Vapor de mercúrio 220 V- 50 a 1000 W	0,85	0,87 a 0,95	2,5*
Vapor de sódio à alta pressão • 70 a 1000 W	0,85	0,9	2,0*

MOTORES (trifásicos de gaiola)

Até 600 W	0,5	—	2,0
De 1 a 4 cv	0,75	0,75	1,8
De 5 a 50 cv	0,85	0,8	1,5
Mais de 50 cv	0,9	0,9	1,2
AQUECIMENTO (por resistor)	1,0	1,0	1,0

* Para certos aparelhos de iluminação, o **fator a** foi majorado para levar em conta as correntes absorvidas na partida.

Sendo $\Sigma P'_N$ a soma das potências de saída dos equipamentos, em kW, ligados ao circuito, podemos escrever também

$$I_b = \Sigma P'_N \times a \times f$$

($\Sigma P'_N$ dada em kW)

EXEMPLOS

1 - Circuito terminal alimentando um motor trifásico de 5 cv (1cv = 0,736 kW), tensão de 220 V.

- $\Sigma P'_N = P'_N = 5 \times 0,736 = 3,68$ kW (só 1 motor no circuito)
- dadas tabelas $\begin{cases} f = 2,7 \\ a = 1,5 \end{cases}$
- $I_b = 3,68 \times 1,5 \times 2,7 = 14,9$ A (no caso, por haver apenas um motor no circuito, a corrente de projeto é igual à corrente nominal do motor)

2 - Circuito terminal (monofásico) alimentando 3 tomadas de 600 VA cada e 3 tomadas de 100 VA cada, todas com o fator de potência 0,8; tensão 127 V.

- Potência (de entrada) duas tomadas
600 VA — $P_N = 600 \times 0,8 = 480$ W
100 VA — $P_N = 100 \times 0,8 = 80$ W

- $P_{INST} = 3 \times 480 + 3 \times 80 = 1680$ W
- $t = 1$

$$I_b = \frac{1680}{1 \times 127 \times 0,8} = 16,5 \text{ A}$$

Calculando pelas potências aparentes, teremos:

- $\Sigma S_N = 3 \times 600 + 3 \times 100 = 2100$ VA

$$I_b = \frac{2100}{1 \times 127} = 16,5 \text{ A}$$

Nos circuitos terminais, como todos os equipamentos de utilização alimentados são de mesmo tipo, o fator de potência é o mesmo e podemos somar as potências aparentes nominais de entrada. Assim, a corrente de projeto pode ser calculada por

$$I_b = \frac{\Sigma S_N}{t \times U_N}$$

3 - Circuito terminal alimentando 10 aparelhos de iluminação fluorescente, compensados, partida rápida, cada um com 4 lâmpadas de 65 W (potência de saída); circuito monofásico de 115 V

$$\Sigma P'_N = 10 \times (4 \times 65) = 2600 \text{ W} = 2,6 \text{ kW}$$

$$t = 1$$

Da tabela 2: a varia de 2,2 a 1,5; tomando a média a = 1,85.

Da tabela 1: f = 8,6

$$I_B = 2,6 \times 1,85 \times 8,6 = 41,4 \text{ A}$$

A corrente de projeto de um circuito de distribuição deve ser calculada a partir da potência de alimentação do quadro de distribuição alimentado pelo circuito. Geralmente, um quadro de distribuição alimenta, por meio de diversos circuitos terminais, diferentes conjuntos de cargas de mesmo tipo, bem como cargas isoladas (1 de cada), e, portanto, sua potência de alimentação será a soma das potências de alimentação dos diferentes conjuntos (ΣP_A) mais a soma das potências nominais (de entrada) das cargas isoladas (ΣP_N), ou seja:

$$I_B = \frac{P_A}{t \times U_N \times \cos\Phi}$$

ou

$$I_B = \frac{\Sigma P_A + \Sigma P_N}{t \times U_N \times \cos\Phi}$$

(Obs.: Se P_A , ΣP_A e ΣP_N forem dados em kW, os numeradores das duas expressões devem ser multiplicados por 1000)

Essas expressões são válidas para quadros de distribuição que alimentam cargas cujos fatores de potência são iguais ou próximos.

Se forem dadas as potências de saída das diversas cargas, a potência de alimentação de cada conjunto será dada por

$$P_A = \frac{\Sigma P'_N}{\eta} \times g$$

e a potência de cada carga isolada por

$$P_N = \frac{P'_N}{\eta}$$

No caso particular de unidades residenciais, a potência de alimentação do quadro de distribuição da unidade pode ser calculada pela expressão

$$P_A = (P_{\text{INST,IL}} + P_{\text{INST,TUG}}) g + \Sigma P_N$$

Potência instalada de iluminação

Potência instalada de tomadas de uso geral

Soma das potências nominais das cargas isoladas

Fator de demanda obtido a partir de $(P_{\text{INST,IL}} + P_{\text{INST,TUG}})$ (tabela 3)

TABELA 3

Fatores de demanda para iluminação e tomadas de uso geral para uma unidade residencial

Potência - P (kVA)	Fator de demanda (%)
0 < P ≤ 1	86
1 < P ≤ 2	75
2 < P ≤ 3	66
3 < P ≤ 4	59
4 < P ≤ 5	52
5 < P ≤ 6	45
6 < P ≤ 7	40
7 < P ≤ 8	35
8 < P ≤ 9	31
9 < P ≤ 10	27
acima de 10	24

TABELA 4

Fatores de demanda para iluminação e tomadas de uso para edifícios de apartamentos e conjuntos habitacionais

Potência Instalada (kW)	Fator de demanda (%)
Primeiros 20	40
Seguintes 40	30
Seguintes 40	25
Seguintes 100	20
Seguintes 200	15
0 que exceder de 400	10

TABELA 5

Fatores de demanda para motor de hidromassagem

Nº de Aparelhos	Fator de demanda (%)
2	56
3	47
4	39
5	35
6 a 10	25
11 a 20	20
21 a 30	18
acima de 30	15

TABELA 6

Fatores de demanda para aparelhos de ar condicionado para uso residencial.

Nº de Aparelhos	Fator de demanda (%)
2	88
3	82
4	78
5	76
6	74
7	72
8	71
9 a 11	70
12 a 14	68
15 a 16	67
17 a 22	66
23 a 30	65
31 a 50	64
acima de 50	62

NOTA 1 - A tabela refere-se a aparelhos tipo janela ou centrais individuais.

NOTA 2 - A tabela aplica-se a conjuntos de unidades residenciais. Para cada unidade, recomenda-se utilizar o fator de demanda 100%.

TABELA 7

Fatores de demanda para aparelhos de ar condicionado para uso comercial

Nº de Aparelhos	Fator de demanda (%)
2 a 10	100
11 a 20	90
21 a 30	82
31 a 40	80
41 a 50	77
acima de 50	75

NOTA 1 - A tabela refere-se a aparelhos tipo janela ou centrais individuais.

NOTA 2 - A tabela aplica-se a conjuntos de unidades comerciais. Para cada unidade, recomenda-se utilizar o fator de demanda 100%.



TABELA 8

Fatores de demanda de outros aparelhos de uso residencial (%)

Nº de Aparelhos	Chuveiro elétrico	Torneira elétrica, máq. lavar louça, aquec. água passagem	Aquecedor de água de acumulação	Forno micro ondas	Máq. secar roupa
02	68	72	71	60	100
03	56	62	64	48	100
04	48	57	60	40	100
05	43	54	57	37	80
06	39	52	54	35	70
07	36	50	53	33	62
08	33	49	51	32	50
09	31	48	50	31	54
10 a 11	30	46	50	30	50
12 a 15	29	44	50	28	46
16 a 20	28	42	47	26	40
21 a 25	27	40	46	26	36
26 a 35	26	38	45	25	32
36 a 40	26	36	45	25	26
41 a 45	25	35	45	24	25
46 a 55	25	34	45	24	25
56 a 65	24	33	45	24	25
65 a 75	24	32	45	24	25
76 a 80	24	31	45	23	25
81 a 90	23	31	45	23	25
91 a 100	23	30	45	23	25
101 a 120	22	30	45	23	25
121 a 150	22	29	45	23	25
151 a 200	21	28	45	23	25
201 a 250	21	27	45	23	25
251 a 350	20	26	45	23	25
351 a 450	20	25	45	23	25
451 a 800	20	24	45	23	25
801 a 1000	20	23	45	23	25

APARELHOS DE ILUMINAÇÃO

A quantidade de aparelhos de iluminação, suas potências nominais, bem como sua disposição num dado local devem, em princípio, ser obtidas a partir de um projeto de luminotécnica. No caso de unidades residenciais (casas e apartamentos) e em apartamentos de hotéis, motéis e similares deve ser previsto pelo menos um ponto de luz no teto, com potência mínima de 100 VA, comandado por interruptor de parede. No caso de apartamentos de hotéis, motéis e similares, o ponto de luz fixo no teto pode ser substituído por uma tomada de corrente, com potência mínima de 100 VA, comandada por interruptor de parede.

Para as casas e apartamentos, as cargas de iluminação podem ser determinadas da seguinte maneira:

- Locais com área menor ou igual a 6m², potência mínima de 100 VA;
- Locais com área superior a 6m², potência mínima de 100 VA para os primeiros 6m², mais 60 VA para cada aumento de 4m² inteiros.

Exemplo: Sala de apartamento com 28m²

A potência mínima de iluminação será:

$$28\text{m}^2 = 6\text{m}^2 + 5 \times 4\text{m}^2 + 2\text{m}^2$$

$$100\text{ VA} + 5 \times 60\text{ VA} = 400\text{ VA}$$

TOMADAS DE CORRENTE

Grande parte dos equipamentos de utilização (principalmente os aparelhos eletrodomésticos e eletroprofissionais) é alimentada por meio de tomadas de corrente. Podemos caracterizar dois tipos de tomadas: as de uso específico (TUE's) e as de uso geral (TUG's).

As **tomadas de uso específico** são destinadas à ligação de equipamentos fixos e estacionários, como é o caso de chuveiros, condicionadores de ar, copiadora xerox, etc.

Muitas vezes não são "tomadas" propriamente ditas e sim caixas de ligação (como acontece, por exemplo, com a maioria dos chuveiros). A essas tomadas deve ser atribuída a potência do equipamento de maior potência que possa ser ligado, ou, se esta não for conhecida, uma potência determinada pelo produto da corrente nominal da tomada pela tensão nominal do circuito (por exemplo, tomada de ida em circuito terminal de 127 V — 10 x 127 = 1270 VA).

As **tomadas de uso geral** não se destinam à ligação de equipamentos específicos e nelas são sempre ligados aparelhos móveis (enceradeiras, aspiradores de pó, etc.), ou portáteis (secadores de cabelo, furadeiras, etc). Sua quantidade e potências mínimas podem ser determinadas pela tabela 9.

TABELA 9

Quantidade mínima e potências mínimas de tomadas de uso geral.

Local	Área (m ²)	Quantidade Mínima	Potência Mínima (VA)	Observações
Unidades Residenciais				
Cozinha, copa-cozinha	Qualquer	1 para cada 3,5m ou fração de perímetro	600 por tomada até 3 tomadas e 100 por tomada para as demais	Acima de cada bancada com largura mínima de 30cm, pelo menos 1 tomada
Área de serviço, lavanderia	Até 6	1	600	—
	Maior que 6	1 para cada 6m ou fração de perímetro	600 por tomada até 3 tomadas e 100 por tomada para as demais	Distribuição uniforme
Banheiro	Qualquer	1 junto à pia	600	—
Subsolo, garagem, varanda	Qualquer	1	100	—
Salas, quartos e demais dependências	Até 6	1	100	—
	Maior que 6	1 para cada 6m ou fração de perímetro	100 por tomada	Distribuição uniforme
Locais Comerciais e Análogos				
Salas	Até 40	1 para cada 3m ou fração de perímetro ou 1 para cada 4m ² ou fração de área (adota-se o critério que conduzir ao maior número)	200 por tomada	Distribuição uniforme
	Maior que 40	10 para os primeiros 40m ² mais 1 para cada 10m ² ou fração excedente	200 por tomada	Distribuição uniforme
Lojas	Até 20	1	200	Não computadas as destinadas a vitrines, lâmpadas e demonstrações de aparelhos
	Maior que 20	1 para cada 20m ² ou fração	200	

Veja exemplos de aplicação na tabela 10

Exemplos (aplicação da tabela 9)

1 - Cozinha de apartamento com 15 m de perímetro.

- $\frac{15}{3,5} = 4,28 \rightarrow 5$ tomadas
- potência mínima total $\rightarrow (3 \times 600) + (2 \times 100) = 2000$ VA

2 - Sala de apartamento com 22,5 m² e 19 m de perímetro.

- $\frac{19}{6} = 3,16 \rightarrow 4$ tomadas
- potência mínima total $\rightarrow 4 \times 100 = 400$ VA

3 - Escritório comercial com 72 m² de área e 34 m de perímetro.

- 1º critério $\rightarrow \frac{34}{3} = 11,3 \rightarrow 12$ tomadas
- 2º critério $\rightarrow \frac{72}{4} = 18 \rightarrow 18$ tomadas

adota-se o 2º critério

- potência mínima total $\rightarrow 18 \times 200 = 3600$ VA

Apartamento cujas dependências e respectivas dimensões vão indicadas nas colunas (a), (b) e (e) da tabela 10.

- o quadro de distribuição é alimentado com 2F-N, tensões 127/220V;
- são previstas tomadas de uso específico para os seguintes equipamentos (ver tabela página 25):

Lavadora de pratos _____ $U_N = 220V$
 $P_N = 2000VA$

Forno de microondas _____ $U_N = 127V$
 $P_N = 1200VA$

Lavadora de roupas _____ $U_N = 127V$
 $P_N = 770VA$

Aquecedor de água central _____ $U_N = 220V$
 $P_N = 2000W, \cos\Phi_N = 1$
 $P_N = 2000/1 = 2000VA$

Chuveiro elétrico _____ $U_N = 220V$
 $P_N = 6500W, \cos\Phi_N = 1$
 $P_N = 6500/1 = 6500VA$

- a determinação das potências mínimas de iluminação é feita na coluna (d);
- a determinação das quantidades de tomadas de uso geral é feita na coluna (e);
- a determinação das potências mínimas de tomadas de uso geral é feita na coluna (f).

TABELA 10

(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)	(g)	(h)
Dependência	Área (m ²)	Perímetro (m)	Potência mínima de iluminação (VA)	Tomadas de uso geral		Tomadas de uso específico	
				Quantidade mínima	Potência mínima (VA)	Especificação	Potência (VA)
Entrada	4	–	100	1	100	–	–
Sala	40	26	$100 + 5 \times 60 = 400$	$26/6 = 4,3 - 5$	$5 \times 100 = 500$	–	–
Distribuição	7,5	11	100	$11/6 = 1,8 - 2$	$2 \times 100 = 200$	–	–
Lavabo	3	–	100	–	–	–	–
Quarto 1	24	20	$100 + 4 \times 60 = 340$	$20/6 = 3,3 - 4$	$4 \times 100 = 400$	–	–
Banheiro 1	6	–	100	1	600	–	–
Quarto II	16	16	$100 + 2 \times 60 = 220$	$16/6 = 2,7 - 3$	$3 \times 100 = 300$	–	–
Banheiro II	4	–	100	1	600	–	–
Quarto III	16	16	$100 + 2 \times 60 = 220$	$16/6 = 2,7 - 3$	$3 \times 100 = 300$	–	–
Copa-cozinha	24	20	$100 + 4 \times 60 = 340$	$20/3,5 = 5,7 - 6$	$3 \times 600 + 3 \times 100 = 2100$	Lavadora de pratos	2000
						Forno microondas	1200
Área de serviço	16	16	$100 + 2 \times 60 = 220$	$16/6 = 2,7 - 3$	$3 \times 600 = 1800$	Lavadora de roupas	770
						Aquecedor água	2000
Quarto de empregada	5	–	100	1	100	–	–
WC	3	–	100	–	–	Chuveiro	6500
			2440		7000		12470

EXEMPLOS

- potência instalada de iluminação

$$P_{INST,IL} = 2440 \text{ VA}$$

- fator de demanda de iluminação e tomadas de uso geral (tabela 3)

$$9440 \text{ VA} = g = 0,27$$

- potência instalada de tomadas de uso geral

$$P_{INST,TUG} = 7000 \text{ VA}$$

- potência de alimentação do quadro de distribuição

$$P_A = (P_{INST,IL} + P_{INST,TUG}) g + \Sigma P_N = 9440 \times 0,27 + 12470$$

$$P_A = 15019 \text{ VA}$$

- soma das potências nominais das tomadas de uso específico (cargas isoladas)

$$\Sigma P_N = 12470 \text{ VA}$$

- corrente de projeto do circuito de distribuição

$$I_B = \frac{15019}{1 \times 220} = 68,3 \text{ A}$$

- soma das potências instaladas de iluminação e tomadas de uso geral

$$P_{INST,IL} + P_{INST,TUG} = 2440 + 7000 = 9440 \text{ VA}$$

A tabela 11 indica as características dos circuitos terminais (considerando a divisão ideal)

TABELA 11

Circuito Nº	Especificação	Tensão (V)	Potência instalada (VA)	Corrente de projeto (A)
1	Iluminação entrada, sala, distribuição, lavabo	127	700	700/127 = 5,5
2	Iluminação quartos e banheiros	127	980	980/127 = 7,7
3	Iluminação setor de serviços	127	760	760/127 = 6
4	TUG's entrada, sala, distribuição	127	800	800/127 = 6,3
5	TUG's quartos e banheiros	127	2200	2200/127 = 17,3
6	TUG's copa-cozinha	127	2100	2100/127 = 16,5
7	TUG's área e quarto de empregada; lavadora de roupas	127	2516	2516/127 = 19,8
8	Forno microondas	127	1200	1200/127 = 9,4
9	Aquecedor de água	220	2000	2000/220 = 9,1
10	Chuveiro	220	6500	6500/220 = 29,5
11	Lavadora de pratos	220	2000	2000/220 = 9,1

CRITÉRIOS

Dimensionar um circuito, terminal ou de distribuição, é determinar a seção dos condutores e a corrente nominal do dispositivo de proteção contra sobrecorrentes.

No caso mais geral, o dimensionamento de um circuito deve seguir as seguintes etapas:

- 1- Determinação da corrente de projeto
- 2- Escolha do tipo de condutor e sua maneira de instalar (isto é, escolha do tipo de tina elétrica)
- 3- Determinação da seção pelo critério da **capacidade de condução de corrente**
- 4- Verificação da seção pelo **critério da queda de tensão**
- 5- Escolha da proteção contra correntes de sobrecarga e aplicação dos **critérios de coordenação entre condutores e proteção contra correntes de sobrecargas**
- 6- Escolha da proteção contra correntes de curto-circuito e aplicação dos **critérios de coordenação entre condutores e proteção contra correntes de curtos-circuitos**

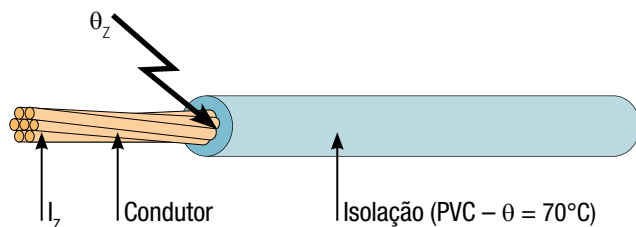
A seção dos condutores será a maior das seções nominais que atenda a todos os critérios. A determinação da corrente de projeto foi vista no capítulo 5 e a escolha do tipo de linha elétrica no capítulo 3.

CRITÉRIO DA CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE

Em condições de funcionamento normal, a temperatura de um condutor, isto é, a temperatura da superfície de separação entre o condutor propriamente dito e sua isolação, não pode ultrapassar a chamada **temperatura máxima para serviço contínuo**, θ_z (para condutores com isolação de PVC $\theta_z = 70^\circ\text{C}$).

A corrente transportada por um condutor produz, pelo chamado efeito Joule, energia térmica. Essa energia é gasta, em parte, para elevar a temperatura do condutor, sendo que o restante se dissipa. Decorrido um certo tempo e continuando a circular corrente, a temperatura do condutor não mais se eleva e toda a energia produzida é dissipada; dizemos então que foi alcançado o "equilíbrio térmico".

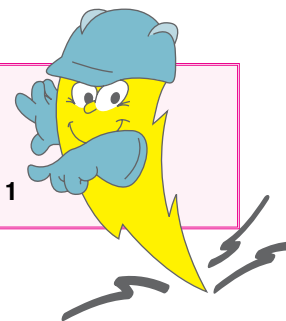
A corrente que, circulando continuamente pelo condutor faz com que, em condições de equilíbrio térmico, a temperatura (do condutor) atinja um valor igual à temperatura máxima para serviço contínuo (θ_z) é a chamada **capacidade de condução de corrente**, I_z .



Para a aplicação do critério da capacidade de condução de corrente, devemos conhecer:

- a corrente de projeto (I_p)
- a maneira de instalar e o tipo de condutor
- a temperatura ambiente ou a temperatura do solo (no caso de linhas subterrâneas)
- a resistividade térmica do solo (no caso de linhas subterrâneas)
- o número de condutores carregados e/ou de circuitos agrupados

As **tabelas 2 e 4** dão as capacidades de condução de corrente de acordo com a maneira de instalar e o número de condutores carregados indicados na **tabela 1**



— Circuito F-N ou FF	2 condutores carregados;
— Circuito 2F-N	3 condutores carregados;
— Circuito 3F	3 condutores carregados;
— Circuito 3F-N (supostoequilibrado)	3 condutores carregados;
— Circuito 3F-N (alimentando lâmpadas à descarga)	4 condutores carregados (consideram-se 2 circuitos com 2 condutores carregados cada).

TABELAS DE DIMENSIONAMENTO - TABELA 1

(*) Métodos de instalação e determinação das colunas das tabelas 2 a 5

Tipo de linha elétrica	Método de instalação (1)	Condutor isolado	Cabo unipolar	Cabo multipolar
		Cabo Superastic Cabo Superastic Flex Fio Superastic Cabo Afumex Plus	Cabo Sintenax Flex Cabo Sintenax Cabo Eprotenax Gsette Cabo Eprotenax Cabo Voltalene Cabo Afumex 1 kV	
Afastado da parede ou suspenso por cabo de suporte (2)	15/17	—	F	E
Bandejas não perfuradas ou prateleiras	12	—	C	C
Bandejas perfuradas (horizontais ou verticais)	13	—	F	E
Canaleta fechada no piso, solo ou parede	33/34/72/72A/75/75A	B1	B1	B2
Canaleta ventilada no piso ou no solo	43	—	B1	B1
Diretamente em espaço de construção - $1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ (4)	21	—	B2	B2
Diretamente em espaço de construção - $5 D_e \leq V < 50 D_e$ (4)	21	—	B1	B1
Diretamente enterrado	63	—	D	D
Eletrocalha	31/31A/32/32A/35/36	B1	B1	B2
Eletroduto aparente	3/4/5/6	B1	B1	B2
Eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria	27	—	B2	B2
Eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria - $1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ (4)	26	B2	—	—
Eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria - $5 D_e \leq V < 50 D_e$ (4)	26	B1	—	—
Eletroduto em canaleta fechada - $1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ (4)	41	B2	B2	—
Eletroduto em canaleta fechada - $V \geq 20 D_e$ (4)	41	B1	B1	—
Eletroduto em canaleta ventilada no piso ou solo	42	B1	—	—
Eletroduto em espaço de construção	23/25	—	B2	B2
Eletroduto em espaço de construção - $1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ (4)	22/24	B2	—	—
Eletroduto em espaço de construção - $V \geq 20 D_e$ (4)	22/24	B1	—	—
Eletroduto embutido em alvenaria	7/8	B1	B1	B2
Eletroduto embutido em caixilho de porta ou janela	73/74	A1	—	—
Eletroduto embutido em parede isolante	1/2	A1	A1	A1
Eletroduto enterrado no solo ou canaleta não ventilada no solo	61/61A	—	D	D
Embutimento direto em alvenaria	52/53	—	C	C
Eletroduto direto em caixilho de porta ou janela	73/74	—	A1	A1
Embutimento direto em parede isolante	51	—	—	A1
Fixação direta à parede ou teto (3)	11/11A/11B	—	C	C
Forro falso ou piso elevado - $1,5 D_e \leq V < 5 D_e$ (4)	28	—	B2	B2
Forro falso ou piso elevado - $5 D_e \leq V < 50 D_e$ (4)	28	—	B1	B1
Leitos, suportes horizontais ou telas	14/16	—	F	E
Moldura	71	A1	A1	—
Sobre isoladores	18	G	—	—

(1) método de instalação conforme a tabela 33 da ABNT NBR 5410/2004 - (2) distância entre o cabo e a parede $\geq 0,3$ diâmetro externo do cabo - (3) distância entre o cabo e a parede $< 0,3$ diâmetro externo do cabo - (4) V = altura do espaço de construção ou da canaleta / D_e = diâmetro externo do cabo - (*) Os locais da tabela assinalados por (—) significam que os cabos correspondentes não podem, de acordo com a ABNT NBR 5410/2004, ser instalados na maneira especificada ou então trata-se de uma maneira de instalar não usual para o tipo de cabo escolhido.

TABELAS DE DIMENSIONAMENTO - TABELA 2

(*) Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D da Tabela 1 - Cabos isolados em termoplástico, condutor de cobre.

- Afumex Plus, Fio, Cabo e Cabo flexível Superastic, Cabo Sintenax e Cabo Sintenax Flex
- 2 e 3 condutores carregados
- Temperatura no condutor: 70 °C
- Temperaturas: 30 °C (ambiente) e 20 °C (solo)

Seções nominais (mm ²)	Métodos de instalação definidos na Tabela 1											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
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	210	188	192	172	269	239	232	206	299	259	246	203
150	240	216	219	196	309	275	265	236	344	299	278	230
185	273	245	248	223	353	314	300	268	392	341	312	258
240	321	286	291	261	415	370	351	313	461	403	361	297
300	367	328	334	298	477	426	401	358	530	464	408	336
400	438	390	398	355	571	510	477	425	634	557	478	394
500	502	447	456	406	656	587	545	486	729	642	540	445
630	578	514	526	467	758	678	626	559	843	743	614	506
800	669	593	609	540	881	788	723	645	978	865	700	577
1000	767	679	698	618	1012	906	827	738	1125	996	792	652

(*) De acordo com a tabela 36 da ABNT NBR 5410/2004.

TABELAS DE DIMENSIONAMENTO - TABELA 3

(*) Capacidades de Condução de Corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F, G da Tabela 1 - Cabos isolados em termoplástico, condutor de cobre.

- Afumex Plus, Cabo e Cabo Flexível Superastic, Cabo Sintenax e Cabo Sintenax Flex
- Temperatura no condutor: 70 °C
- Temperatura ambiente: 30 °C

Seções nominais (mm ²)	Métodos de instalação definidos na Tabela 1						
	Cabos multipolares		Cabos unipolares ou condutores isolados				
	E	E	F	F	F	G	G
	Cabos bipolares	Cabos tripolares e tetrapolares	2 condutores isolados ou 2 cabos unipolares	Condutores isolados ou cabos unipolares em trifólio	3 cabos unipolares ou 3 condutores isolados		
					Contíguos	Espaçados horizontalmente	Espaçados verticalmente
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
0,5	11	9	11	8	9	12	10
0,75	14	12	14	11	11	16	13
1	17	14	17	13	14	19	16
1,5	22	18,5	22	17	18	24	21
2,5	30	25	31	24	25	34	29
4	40	34	41	33	34	45	39
6	51	43	53	43	45	59	51
10	70	60	73	60	63	81	71
16	94	80	99	82	85	110	97
25	119	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	715	597	754	656	689	852	795
500	826	689	868	749	789	982	920
630	958	789	1005	855	905	1138	1070
800	1118	930	1169	971	1119	1325	1251
1000	1292	1073	1346	1079	1296	1528	1448

(*) De acordo com a tabela 38 da ABNT NBR 5410/2004.

TABELAS DE DIMENSIONAMENTO - TABELA 4

(*) Capacidades de condução de corrente, em ampères, para os métodos de referência A1, A2, B1, B2, C e D da Tabela 1 - Cabos isolados em termofixo, condutor de cobre.

- Afumex 1kV e Gsette
- 2 e 3 condutores carregados
- Temperatura no condutor: 90 °C
- Temperaturas: 30°C (ambiente) e 20°C (solo)

Seções nominais (mm ²)	Métodos de instalação definidos na Tabela 1											
	A1		A2		B1		B2		C		D	
	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados	2 condutores carregados	3 condutores carregados
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)
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	19	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	90	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	164	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
185	362	324	329	295	464	408	395	348	506	424	363	304
240	424	380	386	346	546	481	462	407	599	500	419	351
300	486	435	442	396	628	553	529	465	693	576	474	396
400	579	519	527	472	751	661	628	552	835	692	555	464
500	664	595	604	541	864	760	718	631	966	797	627	525
630	765	685	696	623	998	879	825	725	1122	923	711	596
800	885	792	805	721	1158	1020	952	837	1311	1074	811	679
1000	1014	908	923	826	1332	1173	1088	957	1515	1237	916	767

(*) De acordo com a tabela 37 da ABNT NBR 5410/2004.

TABELAS DE DIMENSIONAMENTO - TABELA 5

(*) Capacidades de Condução de Corrente, em ampères, para os métodos de referência E, F, G da Tabela 1 - Cabos isolados em termofixo, condutor de cobre.

- Afumex 1 kV e Gsette
- Temperatura no condutor: 90°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Seções nominais (mm ²)	Métodos de instalação definidos na Tabela 1						
	Cabos multipolares		Cabos unipolares ou condutores isolados				
	E	E	F	F	F	G	G
	Cabos bipolares	Cabos tripolares e tetrapolares	2 condutores isolados ou 2 cabos unipolares	Condutores isolados ou cabos unipolares em trifólio	3 cabos unipolares ou condutores isolados		
					Contíguos	Espaçados horizontalmente	Espaçados verticalmente
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)
0,5	13	12	13	10	10	15	12
0,75	17	15	17	13	14	19	16
1	21	18	21	16	17	23	19
1,5	26	23	27	21	22	30	25
2,5	36	32	37	29	30	41	35
4	49	42	50	40	42	56	48
6	63	54	65	53	55	73	63
10	86	75	90	74	77	101	88
16	115	100	121	101	105	137	120
25	149	127	161	135	141	182	161
35	185	158	200	169	176	226	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454
150	473	399	504	444	464	577	527
185	542	456	575	510	533	661	605
240	641	538	679	607	634	781	719
300	741	621	783	703	736	902	833
400	892	745	940	823	868	1085	1008
500	1030	859	1083	946	998	1253	1169
630	1196	995	1254	1088	1151	1454	1362
800	1396	1159	1460	1252	1328	1696	1595
1000	1613	1336	1683	1420	1511	1958	1849

(*) De acordo com a tabela 39 da ABNT NBR 5410/2004.

TABELAS DE DIMENSIONAMENTO - TABELA 6

(*) Fatores de correção para temperaturas ambientes diferentes de 30°C para linhas não subterrâneas e de 20°C (temperatura do solo) para linhas subterrâneas.

Temperatura (°C)	Isolação			
	Superastic e Afumex Plus	Afumex 1 kV e Gsette	Superastic e Afumex Plus	Afumex 1 kV e Gsette
	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	1	1
25	1,06	1,04	0,95	0,96
30	1	1	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	—	0,45
80	—	0,41	—	0,38

(*) De acordo com a tabela 40 da ABNT NBR 5410/2004.

TABELAS DE DIMENSIONAMENTO - TABELA 7

(*) Fatores de correção para agrupamento de circuitos ou cabos multipolares.

Item	Disposição 1 dos cabos justapostos	Número de circuitos ou de cabos multipolares											Tabelas dos métodos de referência	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16		20
1	Feixe de cabos ao ar livre ou sobre superfície; cabos em condutos fechados	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	2 a 5 (métodos A a 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	0,70	Nenhum fator de redução adicional			2 e 4 (método C)
3	Camada única no teto	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				
4	Camada única em bandeja perfurada, horizontal ou vertical (nota G)	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72	Para mais de 9 circuitos ou cabos multipolares			3 e 5 (métodos E a F)
5	Camada única em leito, suporte (nota G)	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

(*) De acordo com a tabela 42 da ABNT NBR 5410/2004.

Notas:

A) Esses fatores são aplicáveis a grupos de cabos, uniformemente carregados.

B) Quando a distância horizontal entre cabos adjacentes for superior ao dobro de seu diâmetro externo, não é necessário aplicar nenhum fator de redução.

C) Os mesmos fatores de correção são aplicáveis a:

- grupos de 2 ou 3 condutores isolados ou cabos unipolares;
- cabos multipolares.

D) Se um agrupamento é constituído tanto de cabos bipolares como de cabos tripolares, o número total de cabos é tomado igual ao número de circuitos e o

fator de correção correspondente é aplicado às tabelas de 3 condutores carregados para cabos tripolares.

E) Se um agrupamento consiste de N condutores isolados ou cabos unipolares, pode-se considerar tanto N/2 circuitos com 2 condutores carregados como N/3 circuitos com 3 condutores carregados.

F) Os valores indicados são médios para a faixa usual de seções nominais, com precisão de ± 5%.

G) Os fatores de correção dos itens 4 e 5 são genéricos e podem não atender a situações específicas. Nesses casos, deve-se recorrer às tabelas 12 e 13.

TABELAS DE DIMENSIONAMENTO - TABELA 8

(*) Fatores de correção aplicáveis a agrupamentos consistidos em mais de uma camada de condutores (método de referência C, das tabelas 2 e 4, E e F, da tabelas 3 e 5)

Quantidade de camada	Quantidade de circuitos trifásicos ou de cabos multipolares por camada				
	2	3	4 ou 5	6 a 8	9 e mais
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

(*) De acordo com a tabela 43 da ABNT NBR 5410/2004.

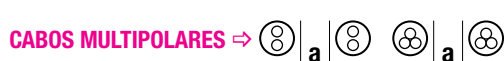
Notas: **A)** Os fatores são válidos independentemente da disposição da camada, se horizontal ou vertical. **B)** Sobre condutores agrupados em uma única camada, ver tabela 42 (linhas 2 a 5 da tabela). **C)** Se forem necessários valores mais precisos, deve-se recorrer à ABNT NBR 11301.

TABELAS DE DIMENSIONAMENTO - TABELA 9

(*) Fatores de correção de agrupamento para mais de um circuito de cabos unipolares ou multipolares diretamente enterrados (método de referência D, das tabelas 2 e 4)

Número de circuitos	Distância entre cabos (a)				
	Nula	1 diâmetro de cabo	0,125 m	0,25 m	0,5 m
2	0,75	0,80	0,85	0,90	0,90
3	0,65	0,70	0,75	0,80	0,85
4	0,60	0,60	0,70	0,75	0,80
5	0,55	0,55	0,65	0,70	0,80
6	0,50	0,55	0,60	0,70	0,80

(*) De acordo com a tabela 44 da ABNT NBR 5410/2004.



TABELAS DE DIMENSIONAMENTO - TABELA 10

(*) Fatores de agrupamento para mais de um circuito - cabos em eletrodutos diretamente enterrados, (método de referência D na tabela 2 e 4)

a) Cabos multipolares em eletrodutos -1 cabo por eletroduto

Número de circuitos	Distância entre Dutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,85	0,90	0,95	0,95
3	0,75	0,85	0,90	0,95
4	0,70	0,80	0,85	0,90
5	0,65	0,80	0,85	0,90
6	0,60	0,80	0,80	0,80

b) Cabos unipolares em eletrodutos -1 cabo por eletroduto (**)

Número de circuitos	Espaçamento entre Dutos (a)			
	Nulo	0,25 m	0,5 m	1,0 m
2	0,80	0,90	0,90	0,90
3	0,70	0,80	0,85	0,90
4	0,65	0,75	0,80	0,90
5	0,60	0,70	0,80	0,90
6	0,60	0,70	0,80	0,90

(*) De acordo com a tabela 45 da ABNT NBR 5410/2004.

(**) Somente deve ser instalado 1 cabo unipolar por eletroduto, no caso deste ser em material não-magnético.



GRUPOS CONTENDO CABOS DE DIMENSÕES DIFERENTES

- Os fatores de correção tabelados (tabelas 5 a 8) são aplicáveis a grupos de cabos semelhantes, igualmente carregados. O cálculo dos fatores de correção para grupos contendo condutores isolados ou cabos unipolares ou multipolares de diferentes seções nominais depende da quantidade de condutores ou cabos e da faixa de seções. Tais fatores não podem ser tabelados e devem ser calculados caso a caso, utilizando, por exemplo, a ABNT NBR 11301.

NOTA:

São considerados cabos 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 3 seções normalizadas sucessivas.

- No caso de condutores isolados, cabos unipolares ou cabos multipolares de dimensões diferentes em condutos fechados ou em bandejas, leitos, prateleiras ou suportes, caso não seja viável um cálculo mais específico, deve-se utilizar a expressão:

$$F = \frac{1}{\sqrt{n}}$$

Onde:

F = fator de correção

n = número de circuitos ou de cabos multipolares

NOTA:

A expressão dada está a favor da segurança e reduz os perigos de sobrecarga sobre os cabos de menor seção nominal. Pode, no entanto, resultar no superdimensionamento dos cabos de seções mais elevadas.

TABELA 11

(*) Fator f_n para a determinação da corrente de neutro onde é prevista a presença de correntes harmônicas de 3ª ordem

(tabela F.1 da ABNT NBR 5410/2004)

Taxa de terceira harmônica (%)	f_n	
	circuito trifásico com neutro	circuito com duas fases e neutro
33 a 35	1,15	1,15
36 a 40	1,19	1,19
41 a 45	1,24	1,23
46 a 50	1,35	1,27
51 a 55	1,45	1,30
56 a 60	1,55	1,34
61 a 65	1,64	1,38
> - 66	1,73	1,41

$$I_n = f_n \times I_B$$

$$I_B = \sqrt{I_1^2 + I_2^2 + I_3^2 + \dots + I_n^2}$$

Onde:

I_1 = valor eficaz da componente fundamental ou componente 60 Hz.

I_1, I_2, \dots, I_n = valores eficazes das componentes harmônicas de ordem i, j, \dots, n presentes na corrente de fase e f_n é o fator multiplicativo em função da taxa da terceira harmônica.

OBSERVAÇÃO:

Na falta de uma estimativa mais precisa da taxa de terceira harmônica esperada, recomenda-se a adoção de um f_n igual a 1,73 no caso de circuito trifásico com neutro e igual a 1,41 no caso de circuito com duas fases e neutro.

As capacidades de condução de corrente para linhas não subterrâneas consideram uma temperatura ambiente de 30°C.

Para linhas subterrâneas foram consideradas as seguintes condições:

- Temperatura do solo 20°C
- Profundidade de instalação 70 cm;
- Resistividade térmica do solo 2,5 K.m/W.

EXEMPLOS

I) Circuito F-N com condutores isolados Afumex Plus em eletroduto embutido, com $I_B = 46$ A.

- Da tabela 1 → Coluna B1 da tabela 2
- Da tabela 2 → $S = 10 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 57$ A)

II) Circuito F-N com cabo Afumex 1 kV bandeja não perfurada, $I_B = 52$ A

- Da tabela 1 → Coluna C da tabela 4
- Da tabela 2 → $S = 6 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 58$ A)

III) Circuito 3F com cabo Gsette em eletroduto enterrado, $I_B = 65$ A

- Da tabela 1 → Coluna D da tabela 4
- Da tabela 2 → $S = 16 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 79$ A)

Quando tivermos condições diferentes de temperatura (ambiente ou do solo) ou de agrupamento de circuitos (mais de 3 condutores carregados), devemos aplicar os seguintes fatores de correção:

- f_1 - **fator de correção de temperatura** - aplicável a todos os condutores instalados em locais cuja temperatura seja diferente de 30°C (linhas não subterrâneas) ou enterrados em solos cuja temperatura seja diferente de 20°C (tabela 6)
- f_2 - **fator de agrupamento** - aplicável quando houver mais de 3 condutores carregados (tabelas 7, 8, 9 e 10).

Calculamos então a corrente fictícia de projeto, I'_B (aplicável apenas no critério da capacidade de condução de corrente), que é dada por

$$I'_B = \frac{I_B}{f}$$

Sendo f igual a f_1 ou a f_2 ou ao produto $f_1 \times f_2$, conforme o caso.

EXEMPLOS

I) Circuito 3F com condutores isolados: Afumex Plus eletroduto aparente, $I_B = 35$ A, temperatura ambiente local de 45°C

- Da tabela 1 → Coluna B1 da tabela 2
- Da tabela 4 → $f_1 = 0,79$
- $I'_B = \frac{35}{0,79} = 44,3$ A
- Da tabela 2 → $S = 10 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 50 \times 0,79 = 39,5$ A)

II) Circuito 3F-N com condutores isolados Afumex Plus eletroduto embutido, alimentando aparelhos de iluminação fluorescente, com $I_B = 38$ A.

- ◆ Consideramos 2 circuitos com dois condutores carregados cada
 - Da tabela 1 → Coluna B1 da tabela 2
 - Da tabela 5 → $f_2 = 0,8$
 - $I'_B = \frac{38}{0,8} = 47,5$ A
 - Da tabela 2 → $S = 10 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 50 \times 0,8 = 40$ A)

III) Dois circuitos, A e B, com cabos unipolares Gsette em eletroduto enterrado, temperatura do solo 30°C, sendo: circuito A – 2F, $I_B = 32$ A e B – 3F – N (suposto equilibrado), $I_B = 39$ A

- Da tabela 1 → circuito A – coluna D da tabela 4
→ circuito B – coluna D da tabela 4
- Da tabela 6 → $f_1 = 0,93$
- Da tabela 7 → $f_2 = 0,8$ } $f = 0,93 \times 0,8 = 0,74$

- ◆ Circuito A: $-I'_B = \frac{32}{0,74} = 43,2$ A
 - Da tabela 4 → $S = 4 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 44 \times 0,74 = 32,6$ A)
- ◆ Circuito B: $-I'_B = \frac{39}{0,74} = 52,7$ A
 - Da tabela 4 → $S = 10 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 61 \times 0,74 = 45,1$ A)

IV) Três circuitos, A, B e C, com cabos unipolares Afumex Plus 1 kV todos com 3F, correspondentes de projeto 84 A, 52 A e 98 A, respectivamente, instalados contidos em uma bandeja perfurada, contíguos:

- Da tabela 1 → Coluna F da tabela 5
- Da tabela 7 → $f_2 = 0,82$
- ◆ Circuito A: $-I'_B = \frac{84}{0,82} = 102,4$ A
 - Da tabela 5 → $S = 16 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 105 \times 0,82 = 86,1$ A)
- ◆ Circuito B: $-I'_B = \frac{52}{0,82} = 63,4$ A
 - Da tabela 3 → $S = 10 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 77 \times 0,82 = 63,1$ A)
- ◆ Circuito C: $-I'_B = \frac{98}{0,82} = 119,5$ A
 - Da tabela 3 → $S = 25 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 141 \times 0,82 = 115,6$ A)

V) Mesmo caso do exemplo anterior, utilizando cabos Afumex Plus 1 kV tripolares contíguos (1 por circuito) em bandeja perfurada.

- Da tabela 1 → Coluna E da tabela 5
- Da tabela 7 → $f_2 = 0,82$
- ◆ Circuito A: $-I'_B = \frac{84}{0,82} = 102,4$ A
 - Da tabela 5 → $S = 25 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 127 \times 0,82 = 104,1$ A)
- ◆ Circuito B: $-I'_B = \frac{52}{0,82} = 63,4$ A
 - Da tabela 5 → $S = 10 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 75 \times 0,82 = 61,5$ A)
- ◆ Circuito C: $-I'_B = \frac{98}{0,82} = 119,5$ A
 - Da tabela 3 → $S = 25 \text{ mm}^2$ ($c/I_2 = 127 \times 0,82 = 104,1$ A)

TABELA 12

Queda de tensão em V/A.km

Seção Nominal (mm ²)	Eletroduto e Eletrocalha (Material Magnético)		Eletroduto e Eletrocalha (Material não Magnético)		Instalação ao ar ⁽¹⁾																			
					Cabos Gsette e Afumex 1kV																			
	Afumex Plus, Superastic e Sintenax		Afumex Plus, Superastic e Sintenax ⁽²⁾				Cabos unipolares ⁽³⁾												Cabos uni e bipolares		Cabos tri e tetrapolares			
							Circ. Monofásico				Circ. Trifásico				Circ. Trifásico ⁽³⁾				Circ. Monofásico ⁽³⁾		Circ. Trifásico			
	Circ. Monofásico e Trifásico		Circ. Monofásico		Circ. Trifásico		S = 10 cm		S = 20 cm		S = 2 D		S = 10 cm		S = 20 cm		S = 2 D							
FP=0,8	FP=0,95	FP=0,8	FP=0,95	FP=0,8	FP=0,95	FP=0,8	FP=0,95	FP=0,8	FP=0,95	FP=0,8	FP=0,95	FP=0,8	FP=0,95	FP=0,8	FP=0,95	FP=0,8	FP=0,95	FP=0,8	FP=0,95	FP=0,8	FP=0,95	FP=0,8	FP=0,95	
1,50	23	27,4	23,3	27,6	20,2	23,9	23,8	28,0	23,9	28,0	23,6	27,9	20,7	24,3	20,5	24,1	20,4	24,1	20,4	24,1	23,5	27,8	20,3	24,1
2,50	14	16,8	14,3	16,9	12,4	14,7	14,9	17,4	15,0	17,5	14,7	17,3	12,9	15,1	13,0	15,1	12,8	15,0	12,7	15,0	14,6	17,3	12,7	15,0
4	9,0	10,5	8,96	10,6	7,79	9,15	9,4	10,9	9,5	10,9	9,2	10,8	8,2	9,5	8,2	9,5	8,0	9,4	7,9	9,3	9,1	10,8	7,9	9,3
6	5,87	7,00	6,03	7,07	5,25	6,14	6,4	7,3	6,4	7,3	6,2	7,2	5,5	6,3	5,6	6,3	5,4	6,2	5,3	6,2	6,1	7,1	5,3	6,2
10	3,54	4,20	3,63	4,23	3,17	3,67	3,9	4,4	4,0	4,4	3,7	4,3	3,4	3,8	3,5	3,8	3,3	3,7	3,2	3,7	3,6	4,2	3,2	3,7
16	2,27	2,70	2,32	2,68	2,03	2,33	2,58	2,83	2,64	2,86	2,42	2,74	2,25	2,46	2,31	2,48	2,12	2,39	2,05	2,35	2,34	2,70	2,03	2,34
25	1,50	1,72	1,51	1,71	1,33	1,49	1,74	1,85	1,81	1,88	1,61	1,77	1,53	1,61	1,58	1,64	1,41	1,55	1,34	1,51	1,52	1,73	1,32	1,50
35	1,12	1,25	1,12	1,25	0,98	1,09	1,34	1,37	1,40	1,41	1,21	1,30	1,18	1,20	1,23	1,23	1,06	1,14	0,99	1,10	1,15	1,26	0,98	1,09
50	0,86	0,95	0,98	0,94	0,76	0,82	1,06	1,05	1,12	1,09	0,94	0,99	0,94	0,92	0,99	0,95	0,83	0,87	0,76	0,83	0,86	0,95	0,75	0,82
70	0,64	0,67	0,62	0,67	0,55	0,59	0,81	0,77	0,88	0,80	0,70	0,71	0,72	0,68	0,78	0,70	0,63	0,63	0,56	0,59	0,63	0,67	0,54	0,58
95	0,50	0,51	0,48	0,50	0,43	0,44	0,66	0,59	0,72	0,62	0,56	0,54	0,59	0,52	0,64	0,55	0,50	0,48	0,43	0,44	0,48	0,50	0,42	0,44
120	0,42	0,42	0,40	0,41	0,36	0,36	0,57	0,49	0,63	0,53	0,48	0,45	0,51	0,44	0,56	0,46	0,43	0,40	0,36	0,36	0,40	0,41	0,35	0,35
150	0,37	0,35	0,35	0,34	0,31	0,30	0,50	0,42	0,57	0,46	0,42	0,38	0,45	0,38	0,51	0,41	0,39	0,34	0,32	0,31	0,35	0,35	0,30	0,30
185	0,32	0,30	0,30	0,29	0,27	0,25	0,44	0,36	0,51	0,39	0,38	0,32	0,40	0,32	0,46	0,35	0,34	0,29	0,27	0,26	0,30	0,29	0,26	0,25
240	0,29	0,25	0,26	0,24	0,23	0,21	0,39	0,30	0,45	0,33	0,33	0,27	0,35	0,27	0,41	0,30	0,30	0,24	0,23	0,21	0,26	0,24	0,22	0,21
300	0,27	0,22	0,23	0,20	0,21	0,18	0,35	0,26	0,41	0,29	0,30	0,24	0,32	0,24	0,37	0,26	0,28	0,21	0,21	0,18	0,23	0,20	0,20	0,18
400	0,24	0,20	0,21	0,17	0,19	0,15	0,31	0,23	0,38	0,26	0,27	0,21	0,29	0,21	0,34	0,23	0,25	0,19	0,19	0,16	-	-	-	-
500	0,23	0,19	0,19	0,16	0,17	0,14	0,28	0,20	0,34	0,23	0,25	0,18	0,26	0,18	0,32	0,21	0,24	0,17	0,17	0,14	-	-	-	-
630	0,22	0,17	0,17	0,13	0,16	0,12	0,26	0,17	0,32	0,21	0,24	0,16	0,24	0,16	0,29	0,19	0,22	0,15	0,16	0,12	-	-	-	-
800	0,21	0,16	0,16	0,12	0,15	0,11	0,23	0,15	0,29	0,18	0,22	0,15	0,22	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,15	0,11	-	-	-	-
1000	0,21	0,16	0,16	0,11	0,14	0,10	0,21	0,14	0,27	0,17	0,21	0,14	0,21	0,13	0,25	0,16	0,20	0,13	0,14	0,10	-	-	-	-

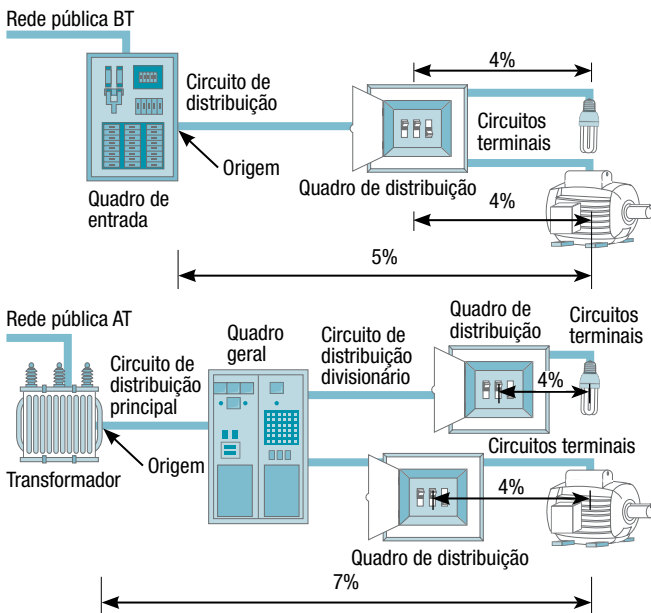
1 - As dimensões do eletroduto e da calha adotadas são tais que a área dos cabos não ultrapasse 40% da área interna dos mesmos • 2 - Nos blocos alveolados só devem ser usados cabos GSette e Afumex 1 kV • 3 - Aplicável à fixação direta a parede ou teto, canaleta aberta, ventilada ou fechada, poço, espaço de construção, bandeja, prateleira, suportes sobre isoladores e linha aérea • 4 - Aplicável também aos condutores isolados Superastic e Afumex Plus sobre isoladores e linha aérea.

CRITÉRIO DA QUEDA DE TENSÃO

A queda de tensão provocada pela passagem de corrente nos condutores dos circuitos de uma instalação deve estar dentro de limites pré-fixados, a fim de não prejudicar o funcionamento dos equipamentos de utilização ligados aos circuitos terminais. A queda de tensão (total) é considerada entre a origem da instalação e o último ponto de utilização de qualquer circuito terminal. São os seguintes os limites fixados para a queda total:

- instalações alimentadas diretamente em baixa tensão — 5%
- instalações alimentadas a partir de instalações de alta tensão — 7%

Para os dois casos ainda deve ser respeitado o limite de 4% para os circuitos terminais.



O problema do cálculo da seção pelo critério da queda de tensão pode ser posto da seguinte forma:

- conhecemos as características dos equipamentos a alimentar, bem como as da linha elétrica (tipo de condutor, maneira de instalar, corrente de projeto, fator de potência e distância de sua origem às cargas);
- desejamos determinar a seção dos condutores para permitir a circulação da corrente de projeto I_B , com um fator de potência $\cos\Phi$, de modo que, na extremidade do circuito, a queda de tensão não ultrapasse um valor pré-fixado;
- ou, determinada a seção por outro critério (geralmente pelo critério da capacidade de condução de corrente), desejamos verificar se a queda está dentro do limite pré-fixado.

A Tabela 12 dá as quedas de tensão $\overline{\Delta U}$ em V/A. km para os condutores isolados Afumex Plus e Superastic e para os cabos Gsette e Afumex 1 kV considerando circuitos monofásicos e trifásicos, as maneiras de instalar mais comuns e fatores de potência 0,8 e 0,95; no caso de condutos são indicados separadamente os valores para condutos magnéticos (nos quais, por efeito magnético, é maior a queda de tensão) e para condutos não magnéticos. A queda de tensão pode ser obtida pela expressão:

ΔU	=	$\overline{\Delta U}$	x	I_B	x	l
Queda de tensão em V		Queda de tensão em V/A.km		Corrente de projeto em A		Comprimento do circuito em km

l) Circuito de distribuição trifásico com condutor isolado Superastic Flex em eletroduto de PVC aparente, 220V; comprimento do circuito (desde seu ponto inicial até o quadro alimentado) 100m, queda máxima prevista (pelas condições particulares do projeto) 3%, fator de potência considerado 0,8, corrente de projeto 85A.

a) Critério da capacidade de condução de corrente

- Da tabela 1 → Coluna B1 da tabela 2
- Da tabela 2 → $S = 25 \text{ mm}^2$ ($c/I_z = 89 \text{ A}$)

b) Critério da queda de tensão

- Da tabela 8, $p/S = 25 \text{ mm}^2 \rightarrow \overline{\Delta U} = 1,33 \text{ V/A.km}$
- $\Delta U = 1,33 \times 85 \times 0,1 = 11,3 \text{ V} \rightarrow \frac{11,3}{220} = 0,051 = 5,1\% > 3\%$

Passamos para $S = 35 \text{ mm}^2$

- Da tabela 8 → $\overline{\Delta U} = 0,98 \text{ V/A.km}$
- $\Delta U = 0,98 \times 85 \times 0,1 = 8,33 \text{ V} \rightarrow 3,78\% > 3\%$

Passamos para $S = 50 \text{ mm}^2$

- Da tabela 8 → $\overline{\Delta U} = 0,76 \text{ V/A.km}$
- $\Delta U = 0,76 \times 85 \times 0,1 = 6,46 \text{ V} \rightarrow 2,94\% < 3\%$

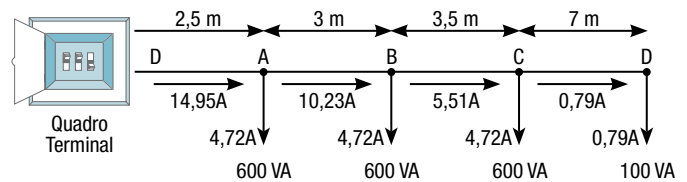
Cálculo alternativo (determinação **direta** da seção)

- 3% de 220 V → $\overline{\Delta U} = 6,6 \text{ V}$
- $\overline{\Delta U} = \frac{\Delta U}{I_B \times l} \rightarrow \overline{\Delta U} = \frac{6,6}{85 \times 0,1} = 0,815 \text{ V/A.km}$
- Da tabela 8 → $S = 50 \text{ mm}^2$ ($c/\overline{\Delta U} = 0,76 \text{ V/A.km}$)

ll) Mesmo caso do exemplo anterior considerando eletroduto magnético.

- $\overline{\Delta U} = 0,815 \text{ V/A.km}$
- Da tabela 8 → $S = 70 \text{ mm}^2$ ($c/\overline{\Delta U} = 0,64 \text{ V/A.km}$)

lll) Circuito terminal monofásico de tomadas de corrente com condutores Superastic Flex em eletroduto de PVC embutido, 127 V; comprimentos indicados na figura, queda máxima prevista 2%, fator de potência considerado 0,95, correntes indicadas na figura.



a) Critério da capacidade de condução de corrente.

- Da tabela 1 → coluna B1 da tabela 2
- Da tabela 2 → $S = 1,5 \text{ mm}^2$ ($c/I_z = 17,5 \text{ A}$)

b) Critério da queda de tensão

- Queda por trecho OA → $\overline{\Delta U} \times 14,95 \times 0,0025 = \underline{\hspace{2cm}}$
- AB → $\overline{\Delta U} \times 10,23 \times 0,003 = \underline{\hspace{2cm}}$
- BC → $\overline{\Delta U} \times 5,51 \times 0,0035 = \underline{\hspace{2cm}}$
- CD → $\overline{\Delta U} \times 0,79 \times 0,007 = \underline{\hspace{2cm}}$
- 2% de 127 V = 2,54 V

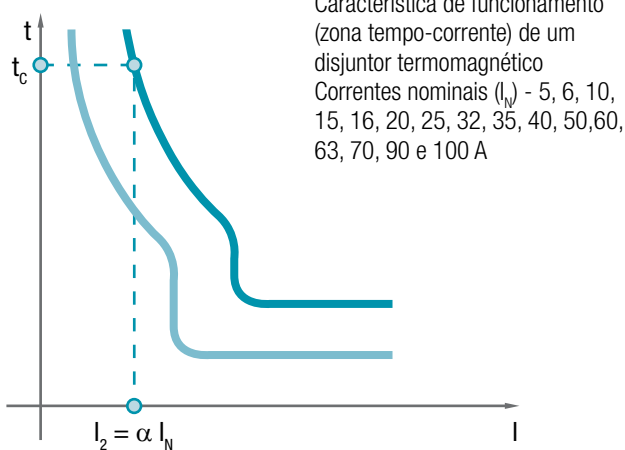
$$\overline{\Delta U} \times (14,95 \times 0,0025 + 10,23 \times 0,003 + 5,51 \times 0,0035 + 0,79 \times 0,007) = 2,54$$

$$\overline{\Delta U} \times 0,0929 = 2,54 \therefore \overline{\Delta U} = \frac{2,54}{0,0929} = 27,3 \text{ V/A.km}$$

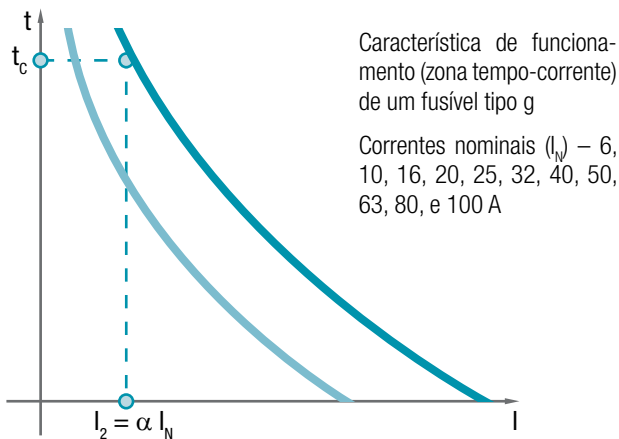
- Da tabela 8 → $S = 2,5 \text{ mm}^2$ ($c/\overline{\Delta U} = 16,9 \text{ V/A.km}$)

CRITÉRIO DA PROTEÇÃO CONTRA CORRENTES DE SOBRECARGA

Disjuntores



Fusíveis



- t_c - tempo convencional (definido por norma para cada faixa de valores de I_N);
- I_2 - corrente convencional de atuação (definida por norma para faixas de valores de I_N) - quando passa pelo dispositivo um corrente igual a I_2 ele deverá atuar, no máximo, num tempo igual a t_c .

Fusíveis

$$I_2 = \alpha I_N$$

$$I_N \leq 10A \rightarrow \alpha = 1,9$$

$$10 < I_N \leq 25A \rightarrow \alpha = 1,75$$

$$25 < I_N \leq 100A \rightarrow \alpha = 1,6$$

Disjuntores que atendem à ABNT NBR NM 60898

$$I_2 = 1,45 I_N$$

Para estabelecer a coordenação entre a seção dos condutores de um circuito e a respectiva proteção contra correntes de sobrecarga, devemos conhecer:

- a corrente de projeto, I_B
- a capacidade de condução de corrente dos condutores, I_Z (levando em consideração os eventuais fatores de redução, f_1 e f_2)
- o tipo de dispositivo (fusível ou disjuntor)
- a corrente nominal do dispositivo, I_N
- a corrente convencional do dispositivo, $I_2 = 1,45 I_N$

As condições impostas pela ABNT NBR 5410/2004 são:

a) Proteção com fusíveis ou disjuntores

$$I_B \leq I_N \leq I_Z \quad \text{e} \quad I_2 \leq 1,45 I_Z$$

A ABNT NBR 5410 define que $I_2 \leq 1,45 I_Z$

A ABNT NBR NM 60898 define que $I_2 = 1,45 I_N$

EXEMPLOS

Circuito de distribuição trifásico 3F, com condutores isolados Afumex Plus eletroduto embutido, com $I_B = 35A$.

I) Critério da capacidade de condução de corrente

- Da tabela 2 $\rightarrow S = 6 \text{ mm}^2$ ($c/I_Z = 36 \text{ A}$)

II) Proteção com fusíveis

- $I_B \leq I_N \rightarrow 35 \leq I_N \rightarrow$ escolhemos $I_N = 35A$
 - $I_2 \leq 1,45 I_Z$
 $\alpha = 1,6 \rightarrow I_2 = 1,6 \times 35 = 56A$
 $1,45 I_Z = 1,45 \times 36 = 52,2A$
- } $56 \geq 52,2A$
não atende

Passando para $S = 10 \text{ mm}^2$ ($c/I_Z = 50A$)

- $I_2 \leq 1,45 I_Z$
 $I_2 = 56A$
 $1,45 I_Z = 1,45 \times 50 = 72,5A$
- } $56 \leq 72,5A$
atende $c/S = 10 \text{ mm}^2$

III) Proteção com disjuntor curva Tipo C

- $I_B \leq I_N \rightarrow 35 \leq I_N \rightarrow$ escolhemos $I_N = 35A$
- $I_N \leq I_Z \rightarrow 35 < 36A \rightarrow$ atende com $S = 6 \text{ mm}^2$

IV) Proteção com disjuntor curva Tipo C com $f = 0,8$

- $I_B \leq 0,8 I_N \rightarrow 35 \leq 0,8 I_N \therefore I_N \geq \frac{35}{0,8} = 43,75A \rightarrow$ escolhemos $I_N = 50A$
- $I_N \leq I_Z \rightarrow 50 > 36A \rightarrow$ não atende

Passando para $S = 10 \text{ mm}^2$ ($c/I_Z = 50A$)

- $I_N \leq I_Z \rightarrow 50 = 50A$ atende $c/S = 10 \text{ mm}^2$

CRITÉRIO DA PROTEÇÃO CONTRA CORRENTES DE CURTO-CIRCUITO

Para a aplicação do critério da proteção contra correntes de curto-circuito devemos conhecer:

- a corrente de curto-circuito, I_{cc} , no ponto em que vai ser instalado o dispositivo de proteção
- a capacidade de interrupção nominal do dispositivo de proteção, I_{CN}
- a temperatura de curto-circuito do condutor, θ_{cc} (para isolamento de PVC $\theta_{cc} = 160^\circ\text{C}$)
- a duração do curto-circuito, t
- o material condutor

As condições impostas pela ABNT NBR 5410 são:

$$I_{cc}^2 \cdot t \leq K^2 S^2$$

$$I_{CN} \geq I_{cc}$$

onde K é um fator que depende do tipo de condutor, valendo 115 para os condutores isolados Superastic e Afumex Plus.

CORRENTES MÁXIMAS DE CURTO-CIRCUITO

Gsette e Afumex 0,6/1 kV

Condutor - cobre
conexões prensadas

Máxima temperatura em regime contínuo 90°C

Máxima temperatura do curto circuito 250°C

O tempo máximo de duração do curto-circuito será, da expressão abaixo

$$t = \frac{K^2 S^2}{I_{cc}^2}$$

que pode ser obtido do gráfico apresentado a seguir. Nele vemos, por exemplo, que um cabo de 16 mm^2 só suporta uma corrente de curto-circuito de 10.000A (10 kA) por um tempo máximo de 2 ciclos, isto é, 0,0335 (aplicando a fórmula obtemos o mesmo valor).

A proteção deverá atuar num tempo não superior ao obtido da fórmula ou do gráfico, do contrário a temperatura do condutor ultrapassará o valor θ_{cc} . O tempo de atuação da proteção pode ser obtido da característica de atuação fornecida pelo fabricante.

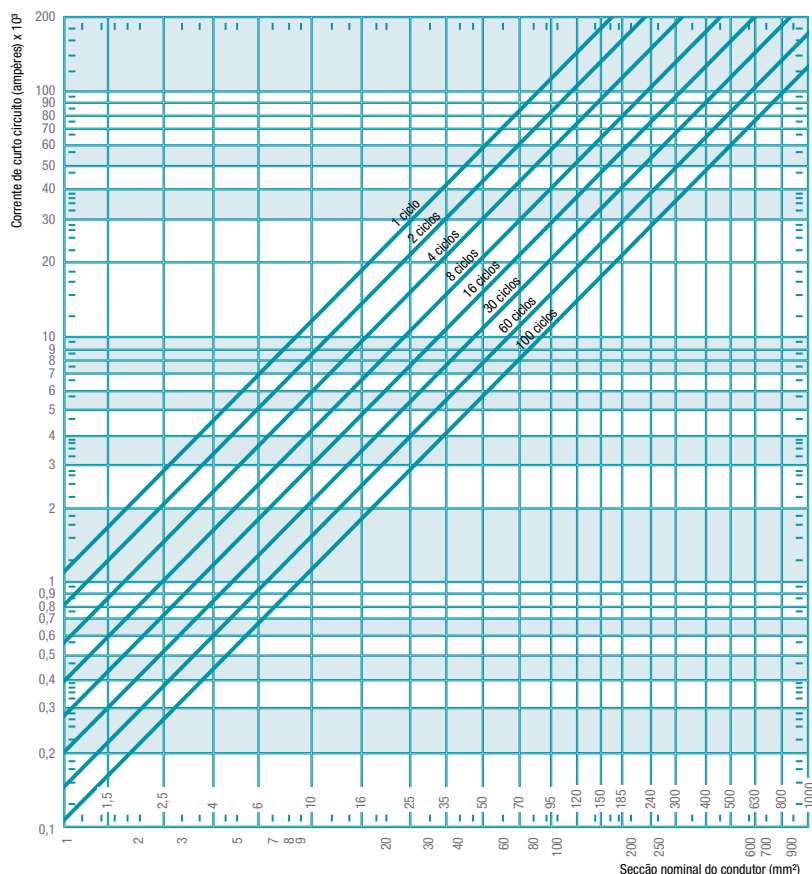
EXEMPLO

Na origem de um circuito de distribuição com condutores isolados Superastic Flex de 10 mm^2 , a corrente de circuito calculada foi de 5 kA. Assim:

- a capacidade de interrupção nominal mínima do dispositivo que irá proteger o circuito contra correntes de curto-circuito será de 5 kA;
- tal dispositivo deverá atuar num tempo não superior a:

$$t = \frac{115^2 \times 10^2}{5.000^2} = 0,052\text{s}$$

- Um disjuntor termomagnético adequado atuaria em cerca de 0,02 s.
- Um fusível adequado atuaria em cerca de 0,001 s.



ELETRODUTOS – OBSERVAÇÕES IMPORTANTES

- Como vimos no capítulo 6, os eletrodutos são caracterizados por seu tamanho nominal.
- Nos eletrodutos só podem ser instalados condutores que possuam isolamento (isto é, condutores isolados, cabos unipolares e cabos multipolares).

OCUPAÇÃO DOS ELETRODUTOS

- Num mesmo eletroduto só podem ser instalados condutores de circuitos diferentes quando eles pertencerem à mesma instalação.
- A soma das áreas totais dos condutores contidos num eletroduto não pode ser superior a 53%, 31 % e 40% da área útil do eletroduto, respectivamente para 1,2,3 ou mais condutores.

EXEMPLO

Eletroduto de aço - carbono série extra de acordo com a ABNT NBR 5597 contendo 4 condutores isolados (fios) de 4 mm² e 6 condutores isolados de 10mm², todos Afumex Plus.

- ♦ Diâmetro externo (d_E) dos condutores (ver catálogo Prysmian)

- 4 mm² → d_E = 4,1 mm
- 10 mm² → d_E = 6 mm

- ♦ Área total dos condutores $(A = \frac{\pi d_E^2}{4})$

- 4 mm² → $A = \pi \times \frac{4,1^2}{4} = 13,2 \text{ mm}^2$
- 10 mm² → $A = \pi \times \frac{6^2}{4} = 28,3 \text{ mm}^2$

- ♦ Área ocupada pelos 10 condutores

- $A_t = 4 \times 13,2 + 6 \times 28,3 = 222,6 \text{ mm}^2$

- ♦ Área útil mínima do eletroduto

- $A_u = \frac{222,6}{0,4} = 557 \text{ mm}^2$

- ♦ Diâmetro interno (mínimo) correspondente $D_i = \sqrt{\frac{4A_u}{\pi}}$

- $D_i = \sqrt{\frac{4 \times 557}{\pi}} = 26,6 \text{ mm}$

- ♦ Na Tabela de dimensões de eletrodutos, no Capítulo 3, verificamos que o eletroduto indicado é o de tamanho nominal 25, cujo diâmetro externo é (33,4 x 0,38) mm e cuja espessura de parede é 3 mm.

SEÇÃO MÍNIMA DOS CONDUTORES ISOLADOS

a) Condutores fase

TABELA 13

	Uso	Seção Mínima (mm ²)
Instalações fixas em geral	Circuitos de iluminação	1,5
	Circuitos de força (incl. de tomadas)	2,5
	Circuitos de sinalização e controle	0,5
Ligações com cordões e cabos flexíveis	Equipamento específico	Indicado na norma respectiva
	Qualquer outra aplicação	0,75

housepress - versão B - 18/10/2010

b) Condutor neutro

Nos circuitos de distribuição com 3F-N é possível reduzir a seção do condutor neutro quando:

- não for prevista a presença de harmônicas;
- a máxima corrente susceptível de percorrer o neutro seja inferior à capacidade de condução de corrente correspondente à seção reduzida do condutor neutro.

Nessas condições podem ser adotadas as seções mínimas indicadas na tabela 12.

TABELA 14

(*) Seção do Condutor Neutro.

Seção dos condutores fase (mm ²)	Seção mínima do condutor neutro (mm ²)
S ≤ 25	S
35	25
50	25
70	35
95	50
120	70
150	70
185	95
240	120
300	150
400	240
500	240
630	400
800	400
1000	500

(*) De acordo com a tabela 48 da ABNT NBR 5410/2004.

POTÊNCIA DE ALIMENTAÇÃO

- $P_{\text{INST.IL}} + P_{\text{INST.TUG}} = 5520 \text{ VA}$ onde $g = 0,45$ (Fator de demanda, tabela 3, capítulo V)
- $P_A = 5520 \times 0,45 + 11170 = 13654 \text{ VA}$

CIRCUITOS

CIRCUITOS TERMINAIS (CT's)

CT	U (V)	Discriminação	S (VA)	$I_b = \frac{S}{U}$ (A)	f	$I'_b = \frac{I_b}{f}$ (A)	S (mm ²)		I _N (A)
							Vivos	PE	
1	127	Ilum. entrada, sala, cozinha, área e hall	800	6,3	0,7	9,0	1,5	–	10
2	127	Ilum. dormitórios e banheiro	420	3,3	0,8	4,1	1,5	–	10
3	127	Tug's entrada, sala, dormitórios, banheiro e hall	1800	14,2	0,7	20,3	2,5	2,5	15
4	127	Tug's cozinha	1900	15,0	0,8	18,8	2,5	2,5	15
5	127	Tug's área; lavadora de roupa	1370	10,8	0,7	15,4	2,5	2,5	15
6	220	Tue torneira	4400	20,0	0,8	25,0	4	4	25
7	220	Tue chuveiro	6000	27,3	0,8	34,1	6	6	35

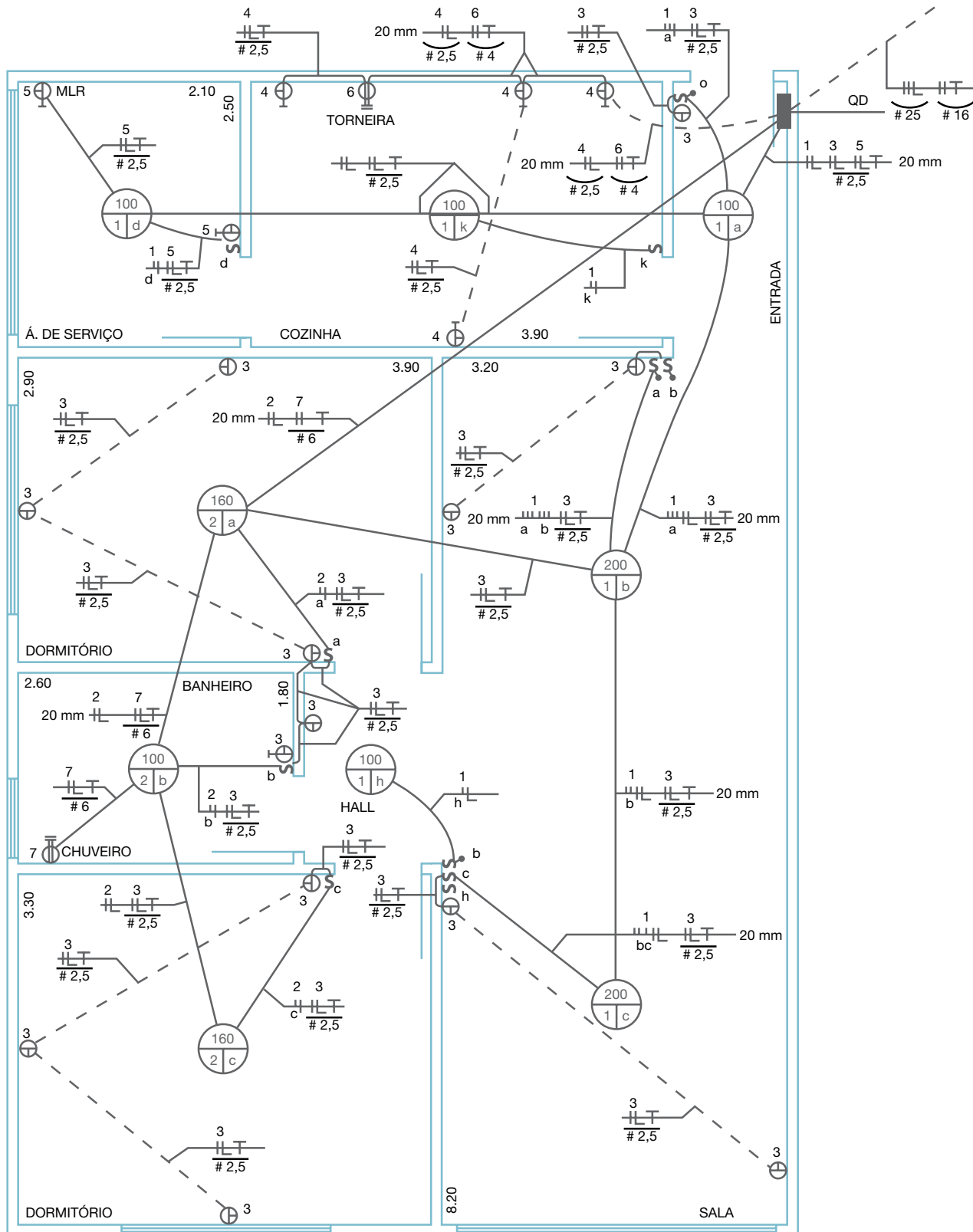
DISTRIBUIÇÃO NAS FASES

Circuito	F ₁ - N VA	F ₂ - N VA	F ₁ - F ₂ VA
1	800	–	–
2	420	–	–
3	1800	–	–
4	–	1900	–
5	–	1370	–
6	–	–	4400
7	–	–	6000
Totais	3020	3270	10400

CIRCUITO DE DISTRIBUIÇÃO

$I_b = \frac{13654}{220} = 62 \text{ A} \rightarrow S = 25 \text{ mm}^2 (I_z = 89 \text{ A})$
$\overline{\Delta U} = 1,71 \text{ V/A.km}$ (eletroduto não magnético, $\cos\Phi = 0,95$) (Tabela 12 capítulo VI)
$\overline{\Delta U} = 2\% \text{ de } 220 \text{ V} = 4,4 \text{ V}$
comprimento máximo (prumada) $\ell_{\text{max}} = \frac{4,4}{62 \times 1,71} = 0,041 \text{ km} = 41 \text{ m}$
proteção geral no centro de medição - disjuntor bipolar $c/I_N = 70 \text{ A}$

PLANTA DA INSTALAÇÃO DO EXEMPLO.

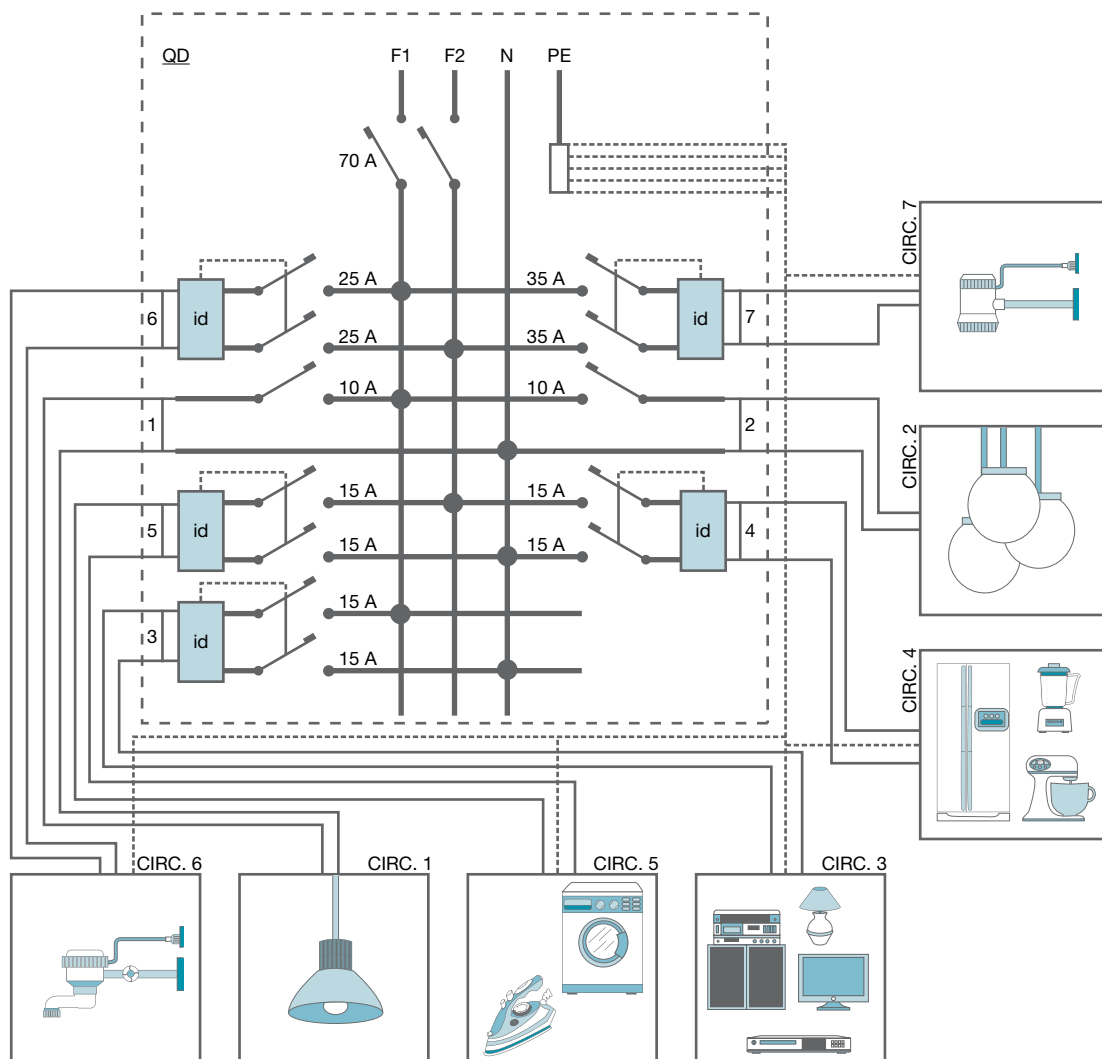


Os condutores e eletrodutos sem indicações serão = 1,5 mm² e Ø 16 mm

CAPÍTULO VII

Exemplo de projeto

DIAGRAMA UNIFILAR DO EXEMPLO



LEGENDA

	Quadro de distribuição		Ponto 220 V, bifásico, alto
	Ponto de luz no teto		Condutores: retorno, fase, neutro e de proteção
	Interruptor simples		Eletroduto no teto ou parede
	Interruptor paralelo		Eletroduto no piso
	Tomada 127 V, 2 P + T, baixa		Disjuntor termostático diferencial (bipolar), 30 mA
	Tomada 127 V, 2 P + T, média		Disjuntor termomagnético (unipolar)
	Ponto 220 V, bifásico, médio		Disjuntor termomagnético (bipolar)

ESPECIFICAÇÃO E CONTAGEM DE COMPONENTES DO EXEMPLO

Especificação e contagem de componentes do exemplo

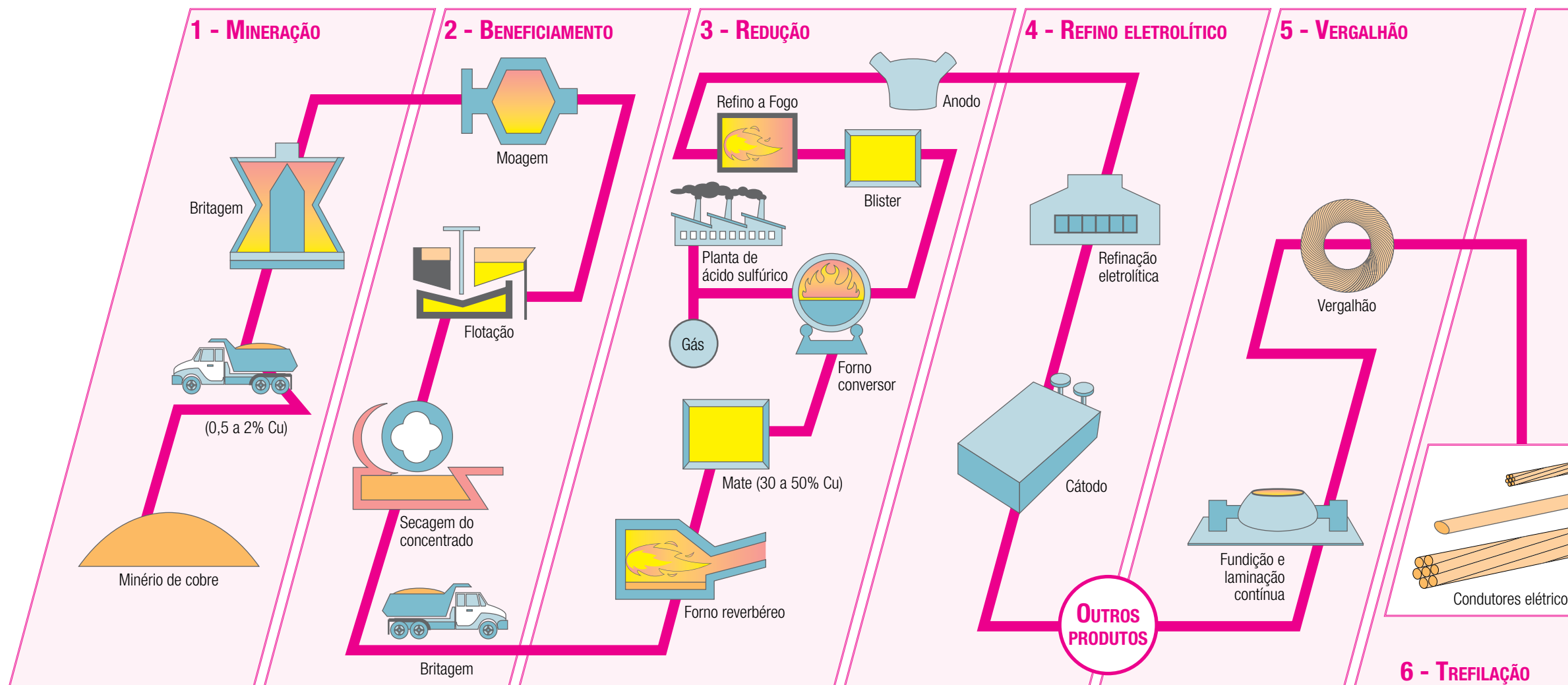
Especificação	Quantidade
Condutor isolado, 450/750 V, classe de encordoamento 5, com isolamento em camada dupla, livre de halogênios, de acordo com a ABNT NBR 13248 (Afumex Plus)	
1,5mm ² , isolamento preto	100 m
1,5mm ² , isolamento azul-claro	100 m
2,5mm ² , isolamento preto	170 m
2,5mm ² , isolamento azul-claro	70 m
2,5mm ² , isolamento verde-amarelo	70 m
4mm ² , isolamento preto	20 m
6mm ² , isolamento preto	30 m
Eletroduto rígido de PVC, de acordo com a ABNT NBR 15465 (barras de 3 m)	
16 (1/2")	27 barras
20 (3/4")	14 barras
Disjuntor termo magnético em caixa moldada, de acordo com a ABNT NBR NM 60898, sem fator de correção para temperatura ambiente	
Unipolar, 10A	2 pç
Bipolar, 70A	1 pç
Disjuntor termomagnético diferencial em caixa moldada, corrente diferencial nominal de atuação 30 mA	
Bipolar 15A	3 pç
Bipolar 25A	1 pç
Bipolar 35A	1 pç
Equipamento (com placa)	
Interruptor simples	3 pç
Interruptor paralelo	1 pç
2 interruptores paralelos	1 pç
1 interruptor paralelo + 2 interruptores simples	1 pç
1 interruptor simples + 1 tomada (2P + T)	2 pç
Tomada (2P + T)	17 pç
Placa para saída de fio	2 pç
Plafonier para ponto de luz	9 Pç

ESTIMATIVA DE CONSUMO MENSAL PARA A UNIDADE RESIDENCIAL DO EXEMPLO

Ambiente		Uso	Consumo (kWh)
Sala	iluminação	0,2 kW x 2h/dia x 30 dias	12,0
	tomadas	0,4 kW x 3h/dia x 30 dias (TV)	36,0
Dormitório 1	iluminação	0,1 kW x 1h/dia x 30 dias	3,0
	tomadas	0,5 kW x 0,2h/dia x 30 dias	3,0
Dormitório 2	iluminação	0,1 kW x 1h/dia x 30 dias	3,0
	tomadas	0,4 kW x 0,2h/dia x 30 dias	2,4
Cozinha	iluminação	0,1 kW x 3h/dia x 30 dias	9,0
	tomadas	0,3 kW x 0,5h/dia x 30 dias	4,5
	geladeira *	0,4 kW x 6h/dia x 30 dias	72,0
	freezer *	0,5 kW x 6h/dia x 30 dias	90,0
	MLP - Máq. de lavar pratos	2,2 kW x 1h/dia x 30 dias	66,0
	torneira	4,4 kW x 1h/dia x 30 dias	132,0
Área de Serviço .	iluminação	0,1 kW x 0,5h/dia x 30 dias	1,5
	MLR - Máq. de lavar roupas	0,6 kW x 6h/semana x 4 semanas	9,6
	Ferro	0,6 kW x 4h/semana x 4 semanas	14,4
Banheiro	iluminação	0.1 kW x 1h/dia x 30 dias	3,0
	tomada	0,1 kW x 0,1h/dia x 30 dias	0,3
	chuveiro	6,0 kW x 1 h/dia x 30 dias	180,0
		Total**	641,7

*Para a geladeira e freezer foi computado apenas o tempo de funcionamento dos compressores.

** Este valor é uma estimativa para o consumo de uma família com 4 pessoas e não foram levadas em conta as correntes de partida dos motores (geladeira, freezer, MLR E MLP).



O cobre é, ainda hoje, o metal mais importante para a condução de eletricidade e ainda o será por muito tempo. Por suas propriedades elétricas e mecânicas é, sem sombra de dúvidas, o material ideal para os condutores elétricos, principalmente os de baixa tensão.

1 Mineração	O minério de cobre é explorado no Brasil em Jaguarari, na Bahia, Camaquã, no Rio Grande do Sul e inicia-se a produção em Salobo (Carajás) no Pará
2 Beneficiamento	O minério contém até cerca de 2% de cobre. É necessário beneficiá-lo e concentrá-lo. O concentrado é um pó escuro com aproximadamente 30% de cobre
3 Redução	O concentrado, constituído normalmente de sulfeto de cobre, é reduzido ao metal em etapas metalúrgicas secessivas, que aumentam a pureza do metal. O cobre produzido tem um teor de 99,7%
4 Refino eletrolítico	O metal é moldado em peças chamadas anodos. Os anodos são dissolvidos por eletrólise, depositando cobre quase puro (99,99%) nos cátodos
Outros produtos	Barras, perfis, tubos, tiras, chapas, arames
5 Vergalhão	Os cátodos são fundidos, tomando-se cuidado para não contaminar o metal. O cobre fundido passa por máquinas contínuas, onde solidifica, é laminado e forma grandes rolos
6 Trefilação	Para produzir os condutores elétricos, o vergalhão de cobre puro passa por diversas fases de trefilação e cozimento

Prysmian Energia Cabos e Sistemas do Brasil S.A.

R. Alexandre de Gusmão, 145 - 09110-990 - Santo André - SP

T.: +55114998 - 4169

<http://www.prysmiangroup.com>