

Capítulo 5

Linhas elétricas

5.1 – Aspectos gerais

- *Condutor elétrico*
- *Fio*
- *Barra*
- *Linha pré-fabricada*
- *Barramento*
- *Condutor encordado: classes 1 a 6*
- *Cabo*
- *Corda*
- *Perna*
- *Coroa*
- *Cabo de potência*
- *Cabo de controle*
- *Revestimento*
- *Isolação*
- *Condutor isolado*
- *Cobertura*
- *Fio coberto*
- *Fio nu*
- *Cabo unipolar*
- *Cabo multipolar*
- *Enchimento*
- *Armação*
- *Cabo multiplexado*
- *Condutor setorial*
- *Cordoalha*
- *Cordão*
- *Blindagem*
- *Cabo seco*
- *Cabo sob pressão*
- *Cabo concêntrico*

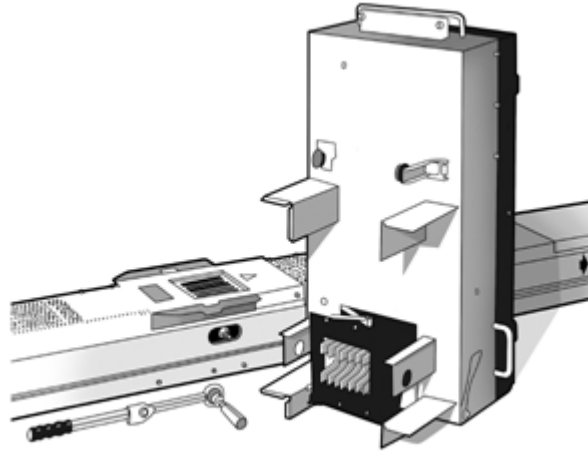


Figura 5.1 ■ Barramento blindado com caixa (cofre) de derivação

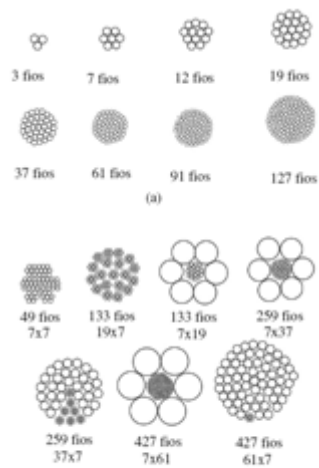


Figura 5.2 ■ Cabos com encordoamento simples (a) e composto (b). Os espaços vazios do terceiro ao último cabo de (b) são os mesmos da perna preenchida

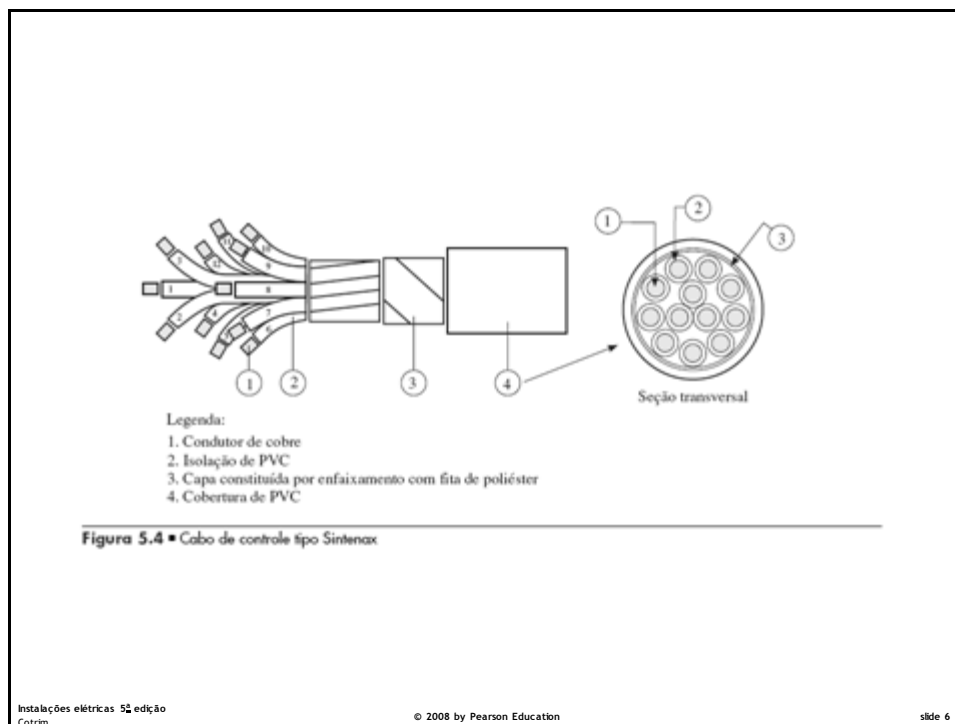
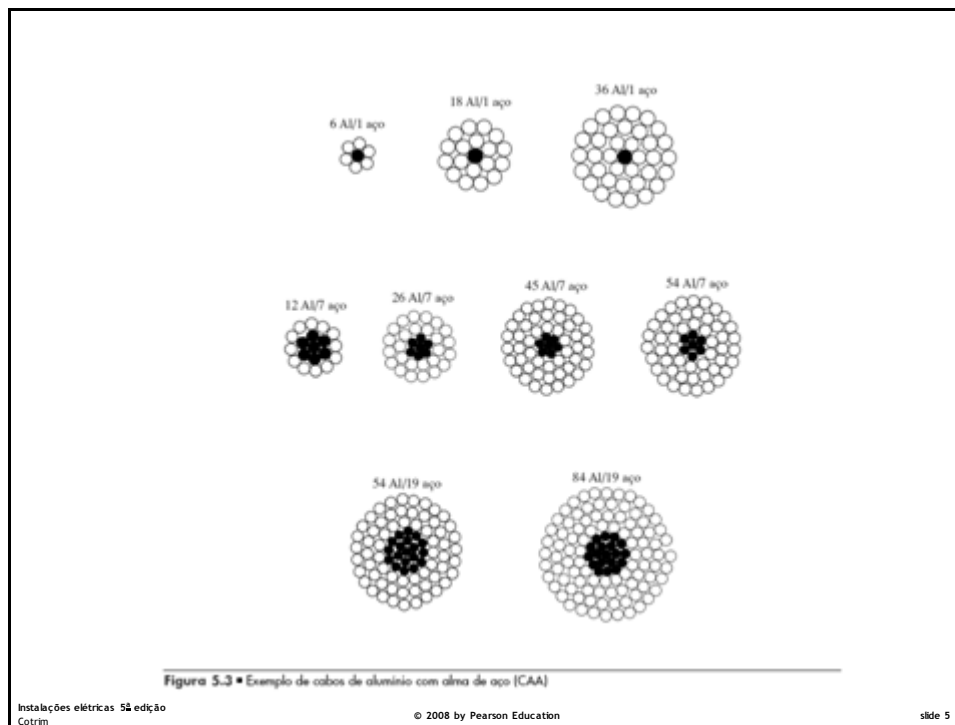




Figura 5.5 ▪ Condutores isolados da linha Superastic cuja
isolação é constituída por duas camadas de
PVC, sendo a camada externa mais resis-
tente à abrasão e bastante deslizante

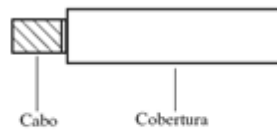


Figura 5.6 ▪ Cabo coberto utilizado em redes aéreas de
distribuição



Figura 5.7 ■ Cabos uni e multipolar



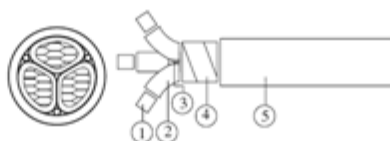
Figura 5.9 ■ Cabo multiplexado



Figura 5.9 ■ Cabo multiplexado

Legenda:

1. Condutor: fios de cobre nu
2. Isolação de voltalene (Polietileno-Reticulado), cor preta
3. Enchimento de PVC
4. Enfaixamento: fita de poliéster
5. Cobertura de PVC, na cor preta



Identificação dos condutores:
Condutores numerados cor branca

Figura 5.10 ■ Cabo tripolar setorial

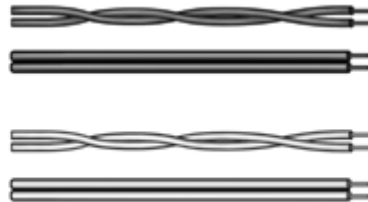
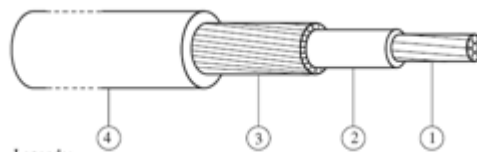


Figura 5.11 • Cabos



- Legenda:
- 1. Condutor fase
 - 2. Isolação da fase
 - 3. Condutor neutro (e/ou de proteção)
 - 4. Cobertura

Figura 5.12 • Cabo concêntrico

- **Aplicações dos cabos de potência em instalações de baixa tensão**

- **Condutores isolados:** circuitos terminais, circuitos de distribuição e ligações internas de quadros de distribuição (principalmente os flexíveis).
- **Cabos unipolares:** circuitos terminais e circuitos de distribuição.
- **Cabos multipolares:** circuitos terminais, circuitos de distribuição e ligações de equipamentos móveis ou portáteis (cabos flexíveis).
- **Cabos multiplexados:** circuitos de distribuição e circuitos terminais (em certos casos).
- **Cordões:** ligações de equipamentos móveis ou portáteis.

- Os cabos de potência são caracterizados por três temperaturas (medidas no condutor):

- **Temperatura em regime permanente:** temperatura alcançada em qualquer ponto do condutor em condições estáveis de funcionamento; é também chamada temperatura máxima para serviço contínuo;
- **Temperatura em regime de sobrecarga:** temperatura alcançada em qualquer ponto do condutor em regime de sobrecarga;
- **Temperatura em regime de curto-circuito:** temperatura alcançada em qualquer ponto do condutor durante o período do curto-circuito.

- **Capacidade de condução de corrente de um condutor:** corrente máxima que pode ser conduzida continuamente pelo condutor, em condições especificadas, sem que sua temperatura em regime permanente ultrapasse um valor especificado.
- **Tensão de isolamento nominal de um cabo:** característica relacionada com o material isolante, com a espessura da isolação e com as características de funcionamento do sistema (instalação) em que o cabo vai atuar. É indicada por V_o/V (tensão fase-terra/tensão fase-fase).

5.2 – Materiais condutores, condutores e suas características

- O **cobre** e o **alumínio** são os dois metais mais utilizados na fabricação de condutores elétricos, tendo em vista suas propriedades elétricas e mecânicas, bem como seu custo.
- Resistência, resistividade e condutividade.
- Seções nominais:
 - não devem ser confundidas com as seções geométricas;
 - são dadas em milímetros quadrados, de acordo com o padrão IEC, sendo caracterizadas pela norma NBR NM 280.

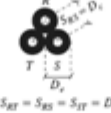
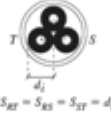
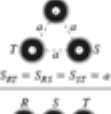
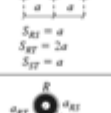
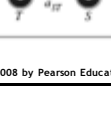
Tabela 5.2 • Resistividades e condutividades de alguns materiais (fios)

Material	Diâmetros nominais d (mm)	Resistividade a 20°C ($\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$)	Condutividade a 20°C (%)
Cobre recozido	–	0,017241	100,00
Cobre meio-duro	$1,00 \leq d \leq 8,00$	0,017837	96,66
	$8,00 \leq d \leq 11,20$	0,017654	97,66
Cobre duro	$1,00 \leq d \leq 8,00$	0,017930	96,16
	$8,00 \leq d \leq 11,20$	0,017745	97,16
Cobre estanhado	$0,075 \leq d \leq 0,280$	0,018508	93,15
	$0,280 \leq d \leq 0,510$	0,018312	94,16
	$0,510 \leq d \leq 2,62$	0,017930	96,16
	$2,62 \leq d \leq 7,36$	0,017745	97,16
	$7,36 \leq d \leq 11,70$	0,017654	97,66
Alumínio 1350	–	0,028264	61,00
Liga de alumínio	–	0,032840	52,50

- **Reatância indutiva:**

- a indutância L de um condutor e sua respectiva reatância indutiva X_L dependem não só das características do condutor propriamente dito, mas também das distâncias entre os diversos condutores do circuito.

$$X_L = 2\pi fL \times 10^{-3} \text{ (}\Omega/\text{km)} \quad (5.24)$$

Tabela 5.18 • Distâncias médias geométricas para algumas disposições de cabos em circuitos trifásicos		
Disposição dos condutores	Esquema	Cálculo de S_M
Três cabos unipolares em trifólio		$S_M = \sqrt[3]{S_{RT} \cdot S_{RS} \cdot S_{ST}} = D_e$
Um cabo tripolar		$S_M = \sqrt[3]{d_i^3} = d_i$
Três cabos unipolares em triângulo com distância iguais de a		$S_M = \sqrt[3]{a \cdot a \cdot a} = a$
Três cabos unipolares em plano com distância iguais de a		$S_M = \sqrt[3]{a \cdot 2a \cdot a} = a \sqrt[3]{2}$
Três cabos unipolares espaçados assimetricamente		$S_M = \sqrt[3]{a_{RT} \cdot a_{RS} \cdot a_{ST}}$

Instalações elétricas 5ª edição
Cotrim

© 2008 by Pearson Education

slide 21

• Cobre *versus* alumínio

- Condutividade: Cu > Al.
- Densidade: Cu > Al.
- Oxidação: Al mais sensível do que o Cu.
- Escoamento: Al escoa mais do que o Cu.
- Eletropositividade: usar conectores especiais para contato entre Cu e Al.
- Uso de condutores de alumínio segundo a NBR 5410
 - Proibido em locais de alta densidade de ocupação e com condições de fuga difíceis (BD4) e em locais residenciais.
 - Sem restrições a linhas aéreas externas.
 - Com restrições em instalações industriais e comerciais.

Instalações elétricas 5ª edição
Cotrim

© 2008 by Pearson Education

slide 22

5.3 – Isolações

- Gradiente de potencial: relação entre a tensão aplicada a uma camada elementar de dielétrico e a espessura dessa camada; normalmente é dado em kV/mm.
- Rigidez dielétrica: gradiente de perfuração do dielétrico.
- Materiais utilizados
 - Sólidos:
 - termoplásticos (PVC, PE);
 - termofixos (EPR, XLPE).
 - Estratificados (papel impregnado).

5.4 – Blindagens

- Blindagem sobre o condutor (interna): faz com que o campo elétrico se torne uniforme na isolação.
- Blindagem sobre a isolação: confina e distribui uniformemente o campo elétrico dentro do cabo isolado.

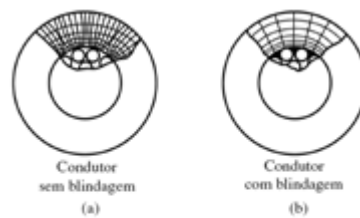


Figura 5.14 • Campo elétrico do condutor (a) sem blindagem e (b) com blindagem



Figura 5.15 • Blindagem sobre a isolamento

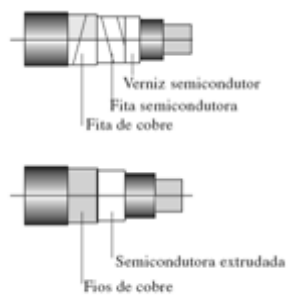


Figura 5.16 • Cabos blindados

5.5 – Proteção

- Não metálica

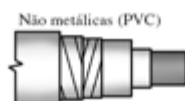


Figura 5.17 • Proteção não metálica

- Metálica

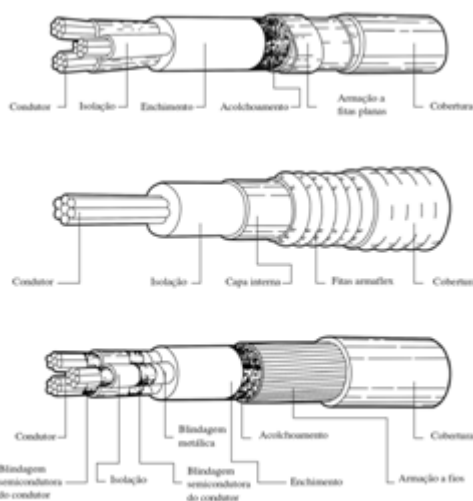


Figura 5.18 • Proteções metálicas dos cabos

Instalações elétricas 5ª edição
Cotrim

© 2008 by Pearson Education

slide 29

5.6 — Níveis de isolamento dos cabos de potência

- Pode-se associar ao cabo e ao acessório uma tensão de isolamento fase-fase (V).

$$V = V_0 \times \sqrt{3} \quad (5.26)$$

- Tensões de isolamento padronizadas: $V_0/V = 0,6/1$; $1,8/3$; $3,6/6$; $6/10$; $8,7/15$; $12/20$; $15/25$; $20/35$; $27/35$ kV.
 - Categorias de sistemas:
 - Categoria 1;
 - Categoria 2;
- Tabela 5.19.

Instalações elétricas 5ª edição
Cotrim

© 2008 by Pearson Education

slide 30

- Categorias de sistemas

- Categoria 1
- Categoria 2

Tabela 5.19 ■ Tipos de tensão do isolamento do cabo

Tensão nominal do sistema (kV)	Tensão máxima de operação do sistema (kV)	Tensão de isolamento do cabo V_g (kV)	
		Categoria 1	Categoria 2
1	1,2	—	0,6
3	3,6	—	1,8
6	7,2	3,6	6
10	12,0	6	8,7
15	17,5	8,7	12
20	24,0	12	15
25	30,0	15	20
35	42,0	20	27

5.7 – Perdas dielétricas

- A corrente que flui pelo dielétrico é composta por duas parcelas, uma ativa (perdas) e outra puramente reativa (capacitiva).

$$P_d = \frac{U_g^2 \cdot \tan \delta}{X_c} \text{ (W/km)} \quad (5.34)$$



Figura 5.26 ■ Definição do ângulo δ

5.8 – Comportamento dos cabos em condições de fogo e incêndio

- Classificação
 - Propagador da chama
 - Com propagação reduzida da chama
 - Resistente à chama
 - Resistente à chama, com baixa emissão de fumaça e gases tóxicos e corrosivos
 - Para circuitos de segurança

5.9 – Designação dos condutores e dos cabos isolados (NBR 9311)

- São designados por siglas, compostas pela seguinte sucessão, partindo do condutor para a parte externa do condutor ou cabo:
 - Número, seção nominal e eventuais particularidades do(s) condutor(es);
 - Material, grau de flexibilidade e forma do condutor;
 - Material e qualidade da isolação;
 - Condutor concêntrico ou blindagem metálica sobre o cabo unipolar ou sobre cada veia de cabo multipolar.

5.10 – Normas brasileiras de cabos de potência

- Normas básicas e gerais
- Normas específicas

5.11 – Tipos de linhas elétricas

- | | |
|------------------------------|-----------------------------------|
| • Linha elétrica | • Condulete |
| • Linha aberta | • Conduto elétrico |
| • Linha aérea | • Escada ou leito para cabos |
| • Linha aparente | • Espaço de construção |
| • Linha em parede ou no teto | • Eletroduto |
| • Linha embutida | • Eletrocalha |
| • Linha subterrânea | • Galeria |
| • Linha pré-fabricada | • Moldura |
| • Bandeja | • Perfilado |
| • Bloco alveolado | • Poço |
| • Caixa de derivação | • Prateleira para cabos |
| • Canaleta | • Suportes horizontais para cabos |

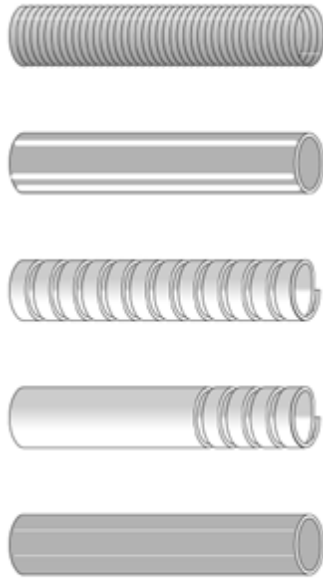


Figura 5.28 ■ Alguns tipos de eletrodutos

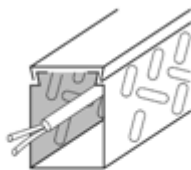


Figura 5.29 ■ Eletrocalha com paredes perfuradas e tampa removível encaixada

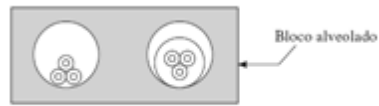


Figura 5.30 • Corte de um bloco alveolado com dois furos



Figura 5.31 • Corte de uma canaleta (com tampa) ventilada

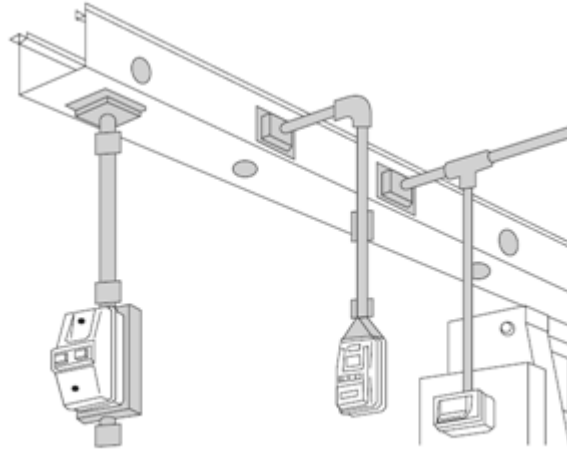


Figura 5.32 ■ Instalação utilizando bandeja e eletrodutos

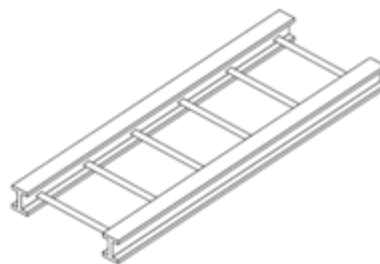


Figura 5.33 ■ Escada (leitos) para cabos

5.11 Tipos de linhas elétricas

- **Conexões**
 - Devem ser realizadas de modo a assegurar contatos firmes e duráveis e permitir sua inspeção.
 - Devem ser garantidas por dispositivos adequados à natureza dos condutores e a sua seção.
 - Devem ser acessíveis, mas apenas após a desmontagem de uma tampa ou de um obstáculo com o auxílio de uma ferramenta, de modo a permitir a inspeção dos contatos.
 - Devem suportar esforços provocados por correntes nominais e de curto-circuito.
 - A pressão de contato não deve depender do material isolante.

- **Condições gerais de instalação**
 - Influências externas
 - Extremidades
 - Travessias de paredes e pisos
 - Proximidade de linhas não elétricas
 - Proximidade de outras linhas elétricas
 - Obturações

- Instalação de condutores

- Os cabos multipolares só devem conter os condutores de um e apenas um circuito e, se for o caso, seu respectivo condutor de proteção.
- Nos condutos fechados (eletrodutos, nas eletrocalhas, nos blocos alveolados etc.), podem ser instalados condutores de mais de um circuito em alguns casos.

Tabela 5.27 • Tipos de linhas elétricas (maneira de instalar)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo da instalação	Descrição da instalação	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ³
1		Condutores isolados unipolares em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante. ³	A1
2		Cabo multipolar em eletroduto de seção circular embutido em parede termicamente isolante.	A2
3		Condutores isolados ou cabos unipolares em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaço desta menos 0,3 vez o diâmetro do eletroduto.	B1

(continua)

(continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo da instalação	Descrição da instalação	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ¹
4		Cabo multipolar em eletroduto aparente de seção circular sobre parede ou espaço, distâncias de 0,3 vez o diâmetro do eletroduto.	B2
5		Condutores isolados em 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 em 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 em cabo multipolar sobre parede ou afastado, distâncias de 0,3 vez o diâmetro do cabo. ²	C
11A		Cabos unipolares em cabo multipolar fixado diretamente ao teto. ²	C
11B		Cabos unipolares em cabo multipolar afastado do teto mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo. ²	C
12		Cabos unipolares em cabo multipolar em bandeja não perfurada, perfurada ou gradeada. ³	C

(continuação)

(continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo da instalação	Descrição da instalação	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ¹
13		Cabos unipolares em cabo multipolar em bandeja perfurada, horizontal ou vertical. ⁴	E (unipolar) F (multipolar)
14		Cabos unipolares em cabo multipolar sobre suportes horizontais, eletrocabos armados em tela.	E (unipolar) F (multipolar)
15		Cabos unipolares em cabo multipolar afastado(s) da parede mais de 0,3 vez o diâmetro do cabo.	E (unipolar) F (multipolar)
16		Cabos unipolares em cabo multipolar em leito (ruada).	E (unipolar) F (multipolar)
17		Cabos unipolares em cabo multipolar suportado(s) por cabo de suporte, incorporado ao cabo.	E (unipolar) F (multipolar)
18		Condutores nus ou isolados sobre isoladores.	A1
21		Cabos unipolares em cabos multipolares em espaço de construção, ⁵ sejam eles lançados diretamente sobre a superfície do espaço de construção, sejam instalados em suportes ou condutores abertos (bandeja, prateleira, tela ou leito) dispostos no espaço de construção. ^{5, 6}	1, 2D, se $V < 50$, B2 5D, se $V < 500$, B1

(continuação)

continuação

Método de instalação número	Esquema ilustrativo da instalação	Descrição da instalação	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ²⁾
22		Condutores isolados em eletroduto de seção circular em espaço de construção. ^{5,7}	1,5D ₀ , se V < 200V; B2 V ≥ 200V; B1
23		Cabo multiplexado em eletroduto de seção circular em espaço de construção. ^{5,7}	B2
24		Condutores isolados em eletroduto de seção não circular em espaço de construção. ⁷	1,5D ₀ , se V < 200V; B2 V ≥ 200V; B1
25		Cabo multiplexado em eletroduto de seção não circular em espaço de construção. ⁵	B2
26		Condutores isolados em eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria. ⁸	1,5D ₀ , se V < 200V; B2 5D ₀ , se V < 500V; B1
27		Cabo multiplexado em eletroduto de seção não circular embutido em alvenaria.	B2
31		Condutores isolados ou cabos multiplexados em eletroduto sobre parede em péssimo: horizontal ou vertical.	B1
32			

continuação

continuação

Método de instalação número	Esquema ilustrativo da instalação	Descrição da instalação	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ²⁾
31A		Cabo multiplexado em eletroduto sobre parede em péssimo: horizontal.	B2
32A		Cabo multiplexado em eletroduto sobre parede em péssimo: vertical.	
33		Condutores isolados ou cabos multiplexados em conduta fechada embutida no piso.	B1
34		Cabo multiplexado em conduta fechada embutida no piso.	B2
35		Condutores isolados ou cabos multiplexados em eletroduto em perfilado suspenso. ⁶⁾	B1
36		Cabo multiplexado em eletroduto em perfilado suspenso. ⁶⁾	B2
41		Condutores isolados ou cabos multiplexados em eletroduto de seção circular contido em conduta fechada com péssimo horizontal ou vertical. ⁷	1,5D ₀ , se V < 200V; B2 V ≥ 200V; B1

continuação

(continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo da instalação	Descrição da instalação	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ²
42		Condutores isolados em eletroduto de seção circular entalhado em conduta ventilada embutida no piso.	B1
43		Cabo multipolar ou cabo multipolar em conduta ventilada embutida no piso.	B1
51		Cabo multipolar embutido diretamente em parede terminantemente isolante. ³	A1
52		Cabo multipolar ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria sem proteção mecânica adicional.	C
53		Cabo multipolar ou cabo multipolar embutido(s) diretamente em alvenaria com proteção mecânica adicional.	C
61		Cabo multipolar em eletroduto (de seção circular ou não) em conduta não ventilada entalhada(s).	D
61 A		Cabo multipolar em eletroduto (de seção não-circular ou não) em conduta não ventilada entalhada(s). ⁴	D

(continua)

(continuação)

Método de instalação número	Esquema ilustrativo da instalação	Descrição da instalação	Método de referência a utilizar para a capacidade de condução de corrente ²
63		Cabo multipolar em cabo multipolar diretamente entalhado(s), com proteção mecânica adicional.	D
71		Condutores isolados em cabos multipolares em moldes.	A1
72		Condutores isolados em cabos multipolares em conduta provida de separações sobre parede.	B1
72A		Cabo multipolar em conduta provida de separações sobre parede.	B2
73		Condutores isolados em eletroduto, cabos multipolares ou cabo multipolar embutido(s) em caixilho de porta.	A1
74		Condutores isolados em eletroduto, cabos multipolares ou cabo multipolar embutido(s) em caixilho de janela.	A1
75		Condutores isolados em cabos multipolares em conduta embutida em parede.	B1

(continua)

Método de instalação: número	Esquema ilustrativo da instalação	Descrição da instalação	Método de referência a utilizar para a capaci- dade de condução de corrente ¹
75A		Cabo multiplex em consola embutida no painel.	B2

Name: _____

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

² Assume-se que a face da parede apresenta uma condutividade térmica λ não inferior a $10 \text{ W/m}^2\text{K}$.

3 Adicionalmente também podemos trabalhar com perfis de

2. A capacidade de condução de corrente para bandeja profunda 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-profunda".

5 Conforme a ABNT NBR HC 00950 (R26), os pisos, as galerias, os pisos técnicos, os condutos formados por blocos abobadados, 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.

© 2006 The Authors
Journal compilation © 2006 Blackwell Publishing Ltd, *Journal of Internal Medicine* 260: 395–403

Se d é o diâmetro externo do cabo caso de cabo multipilar. No caso de cabos multipilares ou condutores isolados, distinguindo-se duas situações:

- três cabos multipilares (ou condutores isolados) dispostos em triângulo: D deve ser tomado igual a 2,2 vezes o diâmetro do cabo multipilar ou condutor isolado;
- três cabos multipilares (ou condutores isolados) agrupados num mesmo plano: D deve ser tomado igual a 3 vezes o diâmetro do cabo multipilar ou condutor isolado.

² *De la a distanței externe de electrod, unde de unde vine, un alt caracteristic de electrod de unde electrodul se de electrod.*

8. Indicar en qué posición se usa de cada uno de los cables.

8 Adapte-se também a uso de computadores isolados.

9 Admitam-se cabos diretamente ancorados sem proteção mecânica adicional, desde que esses cabos sejam providos de armação. Deve-se notar, porém, que essa norma não fornece valores de capacidade de condução de corrente para cabos armados. Tais capacidades devem ser determinadas como indicado na ABNT NBR 11361.

Nota: em lâminas ou trechos verticais, quando a ventilação for anóxica, deve-se atentar para risco de aumento considerável da temperatura ambiente no topo do trecho vertical.