

PROJETO ELÉTRICO INDUSTRIAL

PARTE I

por Dorival Brito

Faixa de Tensão Elétrica (IEC)	Corrente Alternada - CA	Corrente Contínua - CC	Risco
Alta Tensão	$> 1000 V_{RMS}$	> 1500	Arco elétrico
Baixa Tensão	$50 - 1000 V_{RMS}$	$120 - 1500V$	Choque elétrico
Extra Baixa Tensão	$< 50 V_{RMS}$	< 120	Baixo risco

Extra Baixa Tensão: Tensão Inferior à 50 V (CA) e 120 V (CC)

Baixa tensão: Tensão superior a Extra Baixa Tensão e inferior a 1000 V (CA) e 1500V (CC) – Exemplo: 127 V, 220 V, 380V.

Média tensão: Tensão superior a Baixa tensão e Inferior a Alta Tensão – Exemplo: 13.8 kV, 23kV e 34.5kV.

Alta tensão: Tensão superior a Média Tensão – Exemplo: 69kV, 138kV, 250kV, 750kV.

CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE FORNECIMENTO EM TENSÃO – CELESC

Tensão primária de distribuição: tensão disponibilizada no sistema elétrico da Celesc com valores padronizados iguais ou superiores a 2,3 kV. Na Celesc as tensões nominais são: 13,8 kV, 23 kV, 34,5 kV, 69 kV e 138 kV.

Tensão secundária de distribuição: tensão disponibilizada no sistema elétrico da Celesc com valores padronizados inferiores a 2,3 kV. Na Celesc as tensões nominais são: 380/220V (urbana) e 440/220V (rural);

CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE FORNECIMENTO EM TENSÃO PRIMÁRIA

Grupo A: grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão igual ou superior 2,3 kV, ou ainda, atendidas em tensão inferior a 2,3 kV a partir de sistema subterrâneo de distribuição e optantes pelo enquadramento neste Grupo, caracterizado pela estruturação tarifária binômia, e subdividido nos seguintes subgrupos:

CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE FORNECIMENTO EM TENSÃO PRIMÁRIA

- a) *Subgrupo A1 - ≥ 230 kV;*
- b) *Subgrupo A2 - tensão de fornecimento de 88 kV a 138 kV;*
- c) *Subgrupo A3 - tensão de fornecimento de 69 kV;*
- d) *Subgrupo A3a - tensão de fornecimento de 30 kV a 44 kV;*
- e) *Subgrupo A4 - tensão de fornecimento de 2,3 kV a 25 kV;*
- f) *Subgrupo AS - tensão de fornecimento inferior a 2,3 kV atendidas a partir de sistema subterrâneo de distribuição e enquadradas neste Grupo em caráter opcional.*

CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE FORNECIMENTO EM TENSÃO PRIMÁRIA

Grupo B: grupamento composto de unidades consumidoras com fornecimento em tensão inferior a 2,3 kV, ou ainda, atendidas em tensão superior a 2,3 kV e faturadas neste Grupo por opção, desde que atendidos os critérios definidos na legislação, caracterizado pela estruturação tarifária monômnia.

CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE FORNECIMENTO EM TENSÃO SECUNDÁRIA

- Limites de fornecimento: Unidades consumidoras com potência instalada $< 75\text{kW}$;
- Tensão padronizada: Nas redes de distribuição secundária da CELESC, as tensões padronizadas são de 380/220V (urbana) e 440/220V (rural);
- Classificação dos tipos de fornecimento: Em função da potência instalada declarada, o fornecimento de energia elétrica à unidade consumidora será feita de acordo com a classificação a seguir:

➤ **Tipo A (monofásico):**

- Alimentação em 2 fios (fase e neutro): 220V;
- Potência instalada menor que 15kW;
- Não é permitido motor monofásico maior que 3CV (HP);
- Não é permitido máquina de solda a transformador.

➤ **Tipo B (bifásico):**

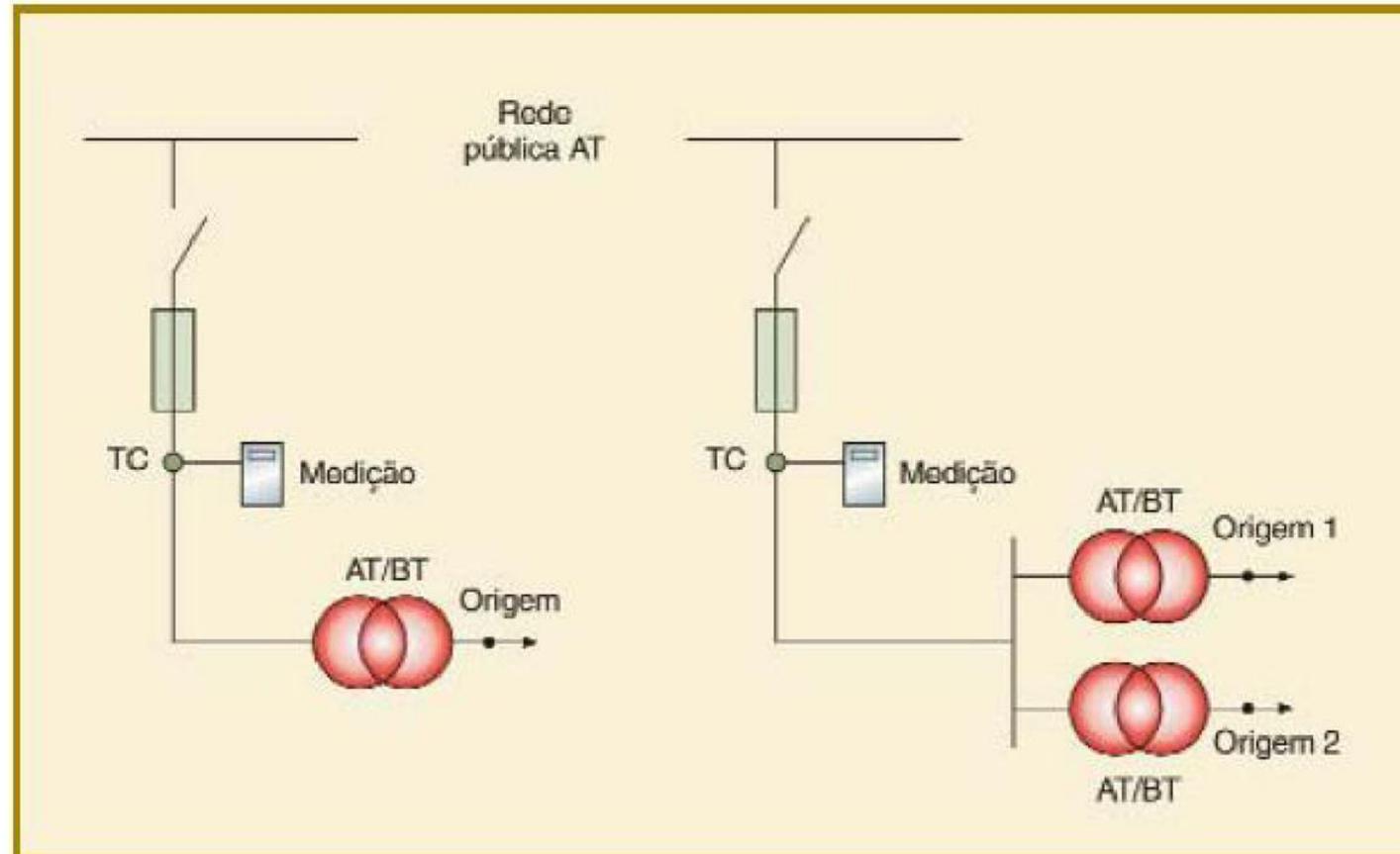
- Alimentação em 3 fios (2 fases e neutro) 380/220V urbana e 440/220V rural;
- Potência instalada entre 15 e 22kW urbana e até 25kW rural;
- Não é permitido motor monofásico maior que 3CV (HP) em 220V ou maior que 7.5 CV em 440V;
- Não é permitido máquina de solda a transformador

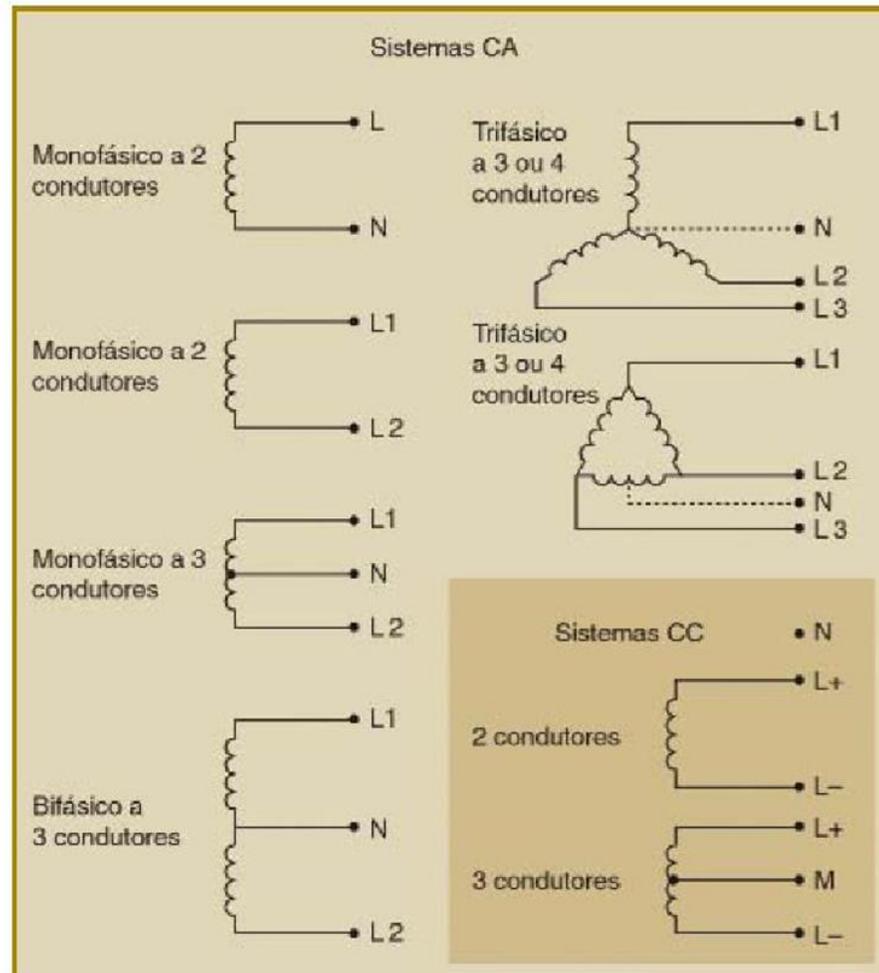
➤ **Tipo C (trifásico):**

- Fornecimento a 4 fios (3 fases e neutro) 380/220V
- potência instalada entre 22 e 75kW;
- Não é permitido motor monofásico maior que 3CV (HP) em 220V ou motor trifásico maior que 25CV (HP) em 380V;
- Não é permitido máquina de solda a transformador

Observação: As unidades consumidoras que não se enquadrarem nos tipos A, B, ou C serão atendidas em tensão primária de distribuição.

SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO EM MÉDIA TENSÃO





Potência Elétrica em Sistemas

Potência em sistema monofásico (F+N):

$$P_{1\phi}(W) = S \times \eta * Fp(W) \quad \text{onde: } S = V_F \times I_L$$

$$P_{1\phi}(W) = V_F \times I_F \times \eta * Fp(W)$$

Potência em sistema bifásicos (F+F):

$$P_{2\phi}(W) = V_L \times I_L \times \eta \times Fp(W)$$

Potência em sistema trifásicos(3F):

$$P_{3\phi}(W) = \sqrt{3} \times V_L \times I_L \times \eta \times Fp(W) \quad S = \sqrt{3} \times V_L \times I_L$$

$$P_{3\phi}(W) = 3 * V_F \times I_L * \eta * Fp(W) \quad V_L = \sqrt{3} * V_F$$

- $P_{1\phi}$ = Potência Monofásica
- $P_{2\phi}$ = Potência Bifásica
- $P_{3\phi}$ = Potência Trifásica
- S = Potência Aparente (VA)
- V_F = Tensão de Fase
- V_L = Tensão de Linha
- I_L = Corrente de Linha
- η = rendimento
- Fp = Fator de Potência

Corrente Elétrica em Sistemas

Corrente em sistema monofásico (F+N):

$$I = \frac{P_{1\phi}(W)}{V_F * \eta * Fp} (A)$$

Corrente em sistema bifásicos (F+F):

$$I = \frac{P_{2\phi}(W)}{V_L * \eta * Fp} (A)$$

Corrente em sistema trifásicos(3F):

$$I = \frac{P_{3\phi}(W)}{\sqrt{3} * V_L * \eta * Fp} (A)$$

$$I = \frac{P_{3\phi}(W)}{3 * V_F * \eta * Fp} (A)$$

$$V_L = \sqrt{3} * V_F$$

- Para cargas resistivas puras (Lâmpadas incandescentes, chuveiros elétricos, resistências elétricas, etc) o Fator de potência é unitário (Fp=1)

Para Motores:

$$I = \frac{P(CV) * 736}{\sqrt{3} * V_L * \eta * Fp} (A)$$

Condutores Carregados

➤ Tipos de Instalações:

- Circuito Monofásico (Fase + Neutro) – 02 condutores carregados
- Circuito Bifásico sem Neutro (Fase + Fase) – 02 condutores carregados
- Circuito Bifásico com Neutro (2Fase + Neutro) – 03 condutores carregados
- Circuito Trifásico sem Neutro (03 Fases) – 03 condutores carregados (Equilibrados ou Desequilibrados)
- Circuito Trifásico com Neutro Equilibrado (03 Fases + 1 Neutro) – 03 condutores carregados
- Circuito Trifásico com Neutro Desequilibrado (03 Fases + 1 Neutro) – 04 condutores carregados

Condutores

➤ **DEFINIÇÕES:**

- **Condutor Isolado:**
Condutor dotado apenas de isolação.
- **Cabo Unipolar:**
cabo constituído por um único condutor isolado e provido de cobertura sobre a isolação.
- **Cabo Multipolar:**
Cabo constituído por vários condutores isolados e provido de cobertura sobre o conjunto dos condutores isolados.

Tipos de Instalação

➤ **INSTALAÇÕES AO AR LIVRE**

São consideradas instalações ao ar livre, comumente instaladas em bandejas, leitos entre outros.

Para este tipo somente é permitida a instalação de cabos unipolares ou multipolares.

➤ **ELETRODUTOS**

Podem ser instalados condutores isolados, cabos unipolares ou multipolares. Somente é admitido o uso de condutor nu em eletrodutos não metálicos e com finalidade de aterramento.

➤ **ELETROCALHAS e BANDEJAS**

Em eletrocalhas e bandejas podem ser instalados condutores isolados, cabos unipolares ou multipolares.

Tipos de Instalação

➤ **CABOS DIRETAMENTE ENTERRADOS**

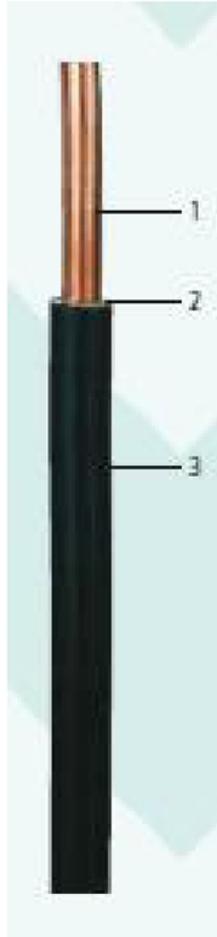
Os cabos diretamente enterrados somente podem ser unipolares ou multipolares e devem ser tomadas medidas para protegê-los contra deteriorações causadas por movimentação de terra, choque de ferramentas provenientes de escavações e ataques químicos ou umidade.

➤ **CANALETAS NO SOLO**

Os cabos instalados diretamente nas canaletas no solo somente podem ser unipolares ou multipolares ou admite-se o uso de condutores isolados desde que contidos em eletrodutos no interior da canaleta.

➤ **SOBRE ISOLADORES**

Sobre isoladores podem ser utilizados condutores nus, isolados ou em feixes.



➤ **CONDUTOR**

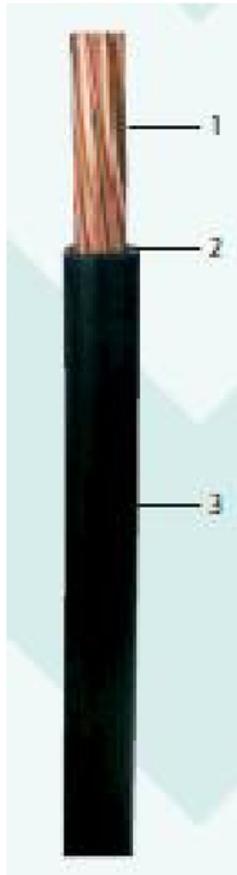
(1) Metal: Fio condutor de cobre nu, têmpera mole. Encordoamento: Classe 1 (sólido)

➤ **ISOLAÇÃO**

(2) Camada Interna: PVC

(3) Camada Externa: PVC

FIO SUPERASTIC



➤ **CONDUTOR**

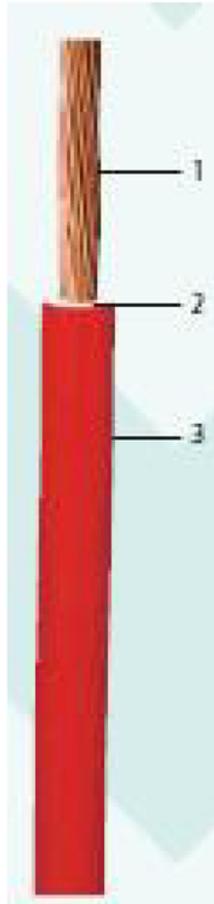
(1) Metal: Fio condutor de cobre nu, têmpera mole. Encordoamento: Classe 2 (semi-rígido)

➤ **ISOLAÇÃO**

(2) Camada Interna: PVC

(3) Camada Externa: PVC

CABO SUPERASTIC



➤ **CONDUTOR**

(1) Metal: Fio condutor de cobre nu, têmpera mole. Encordoamento: Classe 5 (Extra flexível)

➤ **ISOLAÇÃO**

(2) Camada Interna: PVC

(3) Camada Externa: PVC

CABO SUPERASTIC



➤ **CONDUTOR**

➤ Metal: Fio condutor de cobre nu, têmpera mole. Encordoamento: Classe 2 (semi rígido)

➤ **ISOLAÇÃO**

(2) Camada : PVC

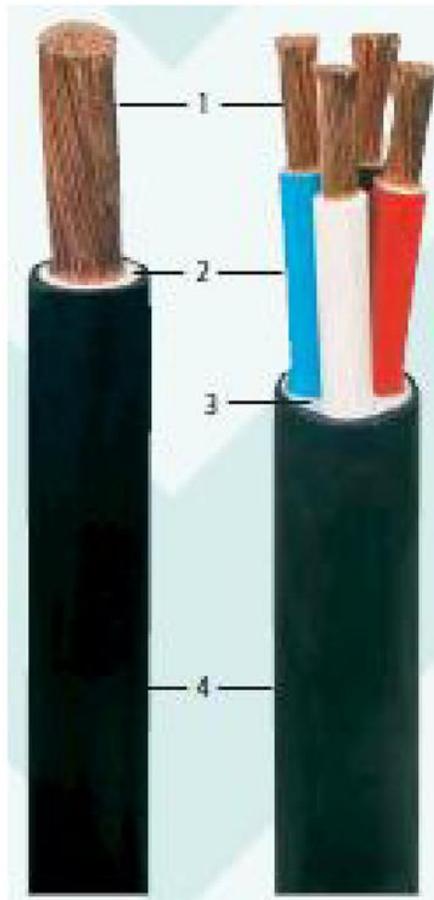
➤ **ENCHIMENTO**

(3) Camada : PVC

➤ **COBERTURA**

(4) Camada: PVC

CABO SINTENAX



➤ **CONDUTOR**

(1) Metal: Fio condutor de cobre nu, têmpera mole. Encordoamento: Classe 5 (Extra flexível)

➤ **ISOLAÇÃO**

(2) Camada : PVC

➤ **ENCHIMENTO**

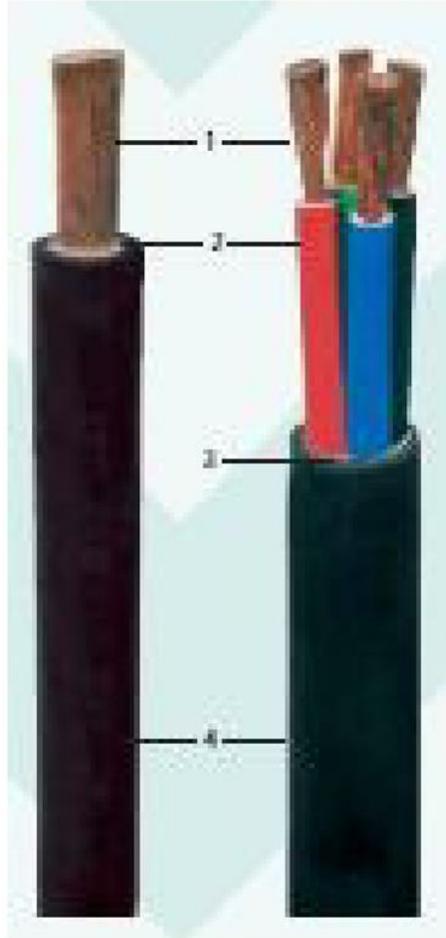
(3) Camada : PVC

➤ **COBERTURA**

(4) Camada: PVC

CABO SINTENAX FLEX

Classificação dos cabos condutores



➤ CONDUTOR

(1) Metal: Fio condutor de cobre nu, têmpera mole. Classe 5(Extra flexível)

➤ ISOLAÇÃO

(2) Composto em termo fixo em dupla camada de borracha HEPR (EPR/ B – Alto módulo)

➤ ENCHIMENTO

(3) Composto poliolefílico não halogenado

➤ COBERTURA

(4) Composto termoplástico com base poliolefílico não halogenada

CABO AFUMEX

-
- **Existem 06 critérios de dimensionamento de condutores:**
 1. Critério da Seção mínima
 2. Critério da Capacidade de condução de corrente
 3. Critério da Queda de Tensão
 4. Critério da Sobrecarga
 5. Critério do Curto Circuito
 6. Critério de Contatos Indiretos
 - **No entanto estudaremos os três critérios mais importantes para a instalação elétrica, que são os três primeiros.**
 - **Nas análise de cargas sempre considerar um Sistema Equilibrado.**

Seção Mínima – NBR 5410

- Para o critério da seção mínima temos:
 1. Condutores de Iluminação: seção mínima 1,5mm²
 2. Condutores de Força: seção mínima 2,5mm²
- Para o critério da capacidade de corrente temos:

$$I_z = \frac{I_p}{FCA * FCT}$$

Onde: I_z = Corrente Corrigida
 I_p = Corrente de Projeto
FCA = Fator de Correção de Agrupamento de Condutores
FCT = Fator de Correção de Temperatura

Critério da Capacidade de Corrente

Corrente de Projeto (I_p) → é a corrente nominal (I_n) que o equipamento (máquina) necessita para o seu funcionamento.

Corrente Corrigida (I_z) → é a corrente de projeto após realizada a correção pelo Fator de Correção de temperatura (FCT) (Tabela 6) e Fator de Correção de Agrupamento de Condutores (FCA)(Tabela 8)

$$I_z = \frac{I_p}{FCA * FCT}$$

Fator de Correção de Agrupamento

- Para determinar o **Fator de Correção de Agrupamento de Condutores**, devemos determinar duas características do projeto, que são eles:
 1. **Número de circuitos e ou cabos multipolares** – é a quantidade de circuitos ou cabos multipolares que passam pelo mesmo duto (exemplo de duto: Eletroduto, canaletas, eletrocalhas, bandejas, etc). Depende exclusivamente da divisão dos circuitos no projeto.
 2. **Método de Instalação (Tabela 1)** – é o tipo de instalação realizada (exemplo: Condutores instalados em eletrocalha (B1), instalados em Bandeja Perfurada (F)).
Nota: Para as aulas de instalações industriais, sempre utilizaremos os cabos unipolares

Fator de Correção de Temperatura

- Para determinar o **Fator de Correção de Temperatura**, devemos determinar outras duas características do projeto, que são eles:
 1. **Tipo de Instalação - Ambiente ou Solo**
 - Deve-se considerar a temperatura do local onde o condutor está instalado (ambiente ou solo)
 2. **Tipo de Isolação do Condutor:**
 - PVC
 - XLPE e/ ou EPR

Seção de Condutor Neutro

- Conforme a Norma NBR 5410, o **condutor Neutro** deverá possuir a **mesma seção** do condutor fase nos seguintes casos:
 - Em circuitos **monofásicos e Bifásicos**;
 - Em **circuitos trifásicos**, quando a seção do condutor fase for **igual ou inferior a seção de 25mm²**;
 - Em **circuitos trifásicos**, quando for prevista a **presença de harmônicos**.

- A seção do **condutor Neutro** pode ser **reduzida** conforme a Tabela 16, para os seguintes casos:
 - Quando **não for prevista a presença de harmônicas**;
 - Quando a **máxima corrente susceptível** que percorre o neutro **seja inferior à capacidade de condução de corrente** correspondente à **seção reduzida** do condutor neutro.

Seção de Condutor de Proteção

- O condutor de proteção (PE), conhecido como condutor Terra, deverá ser preferencialmente condutores isolados, cabos unipolares ou veias de cabos multipolares, e sua seção pode ser reduzida conforme Tabela 17.

Exemplo de Aplicação

Exemplo 1- Determine a seção do condutor unipolar com isolamento de PVC, utilizando o método da capacidade de condução de corrente, sendo que a potência do equipamento é 10kW, $F_p = 92\%$ e $\eta = 90\%$, tensão de linha de 220V. A alimentação do equipamento é monofásica, instalado por meio de eletrocalha, onde já passam 4 circuitos, a temperatura ambiente média é de 35 °C e no solo de 20 °C, o equipamento está instalado a uma distância de 50m do Quadro de distribuição de Força –QDF e a queda de tensão máxima admitida de 3%.

Exemplo de Aplicação

Resposta: Para equipamento monofásico temos:

$$I_p = \frac{P_{1\phi}(W)}{V_F * \eta * Fp} = \frac{10.000}{127 * 0,9 * 0,92} = 95,0978 A$$

Onde: I_p = Corrente de Projeto

Método de instalação (tabela 1) – Eletrocalha – B1

- Determinando a corrente corrigida (I_z):

$$I_z = \frac{I_p}{FCA * FCT} = \frac{95,097}{0,60 * 0,94} = 168,61 A$$

➤ Onde FCA é retirado da Tabela 8

- Número de circuitos $4 + 1 = 5$
- Método de Instalação tipo B1 (coluna direita – método de A á F)

Exemplo de Aplicação

- E o FCT é retirado da Tabela 6
 - Temperatura ambiente = 35 °C
 - Isolação do condutor PVC

Assim, utilizando a Tabela 2, para o método de instalação B1 a 2 condutores carregados (Circuito Monofásico=Fase + Neutro) e uma corrente corrigida de $I_z=168,61A$.

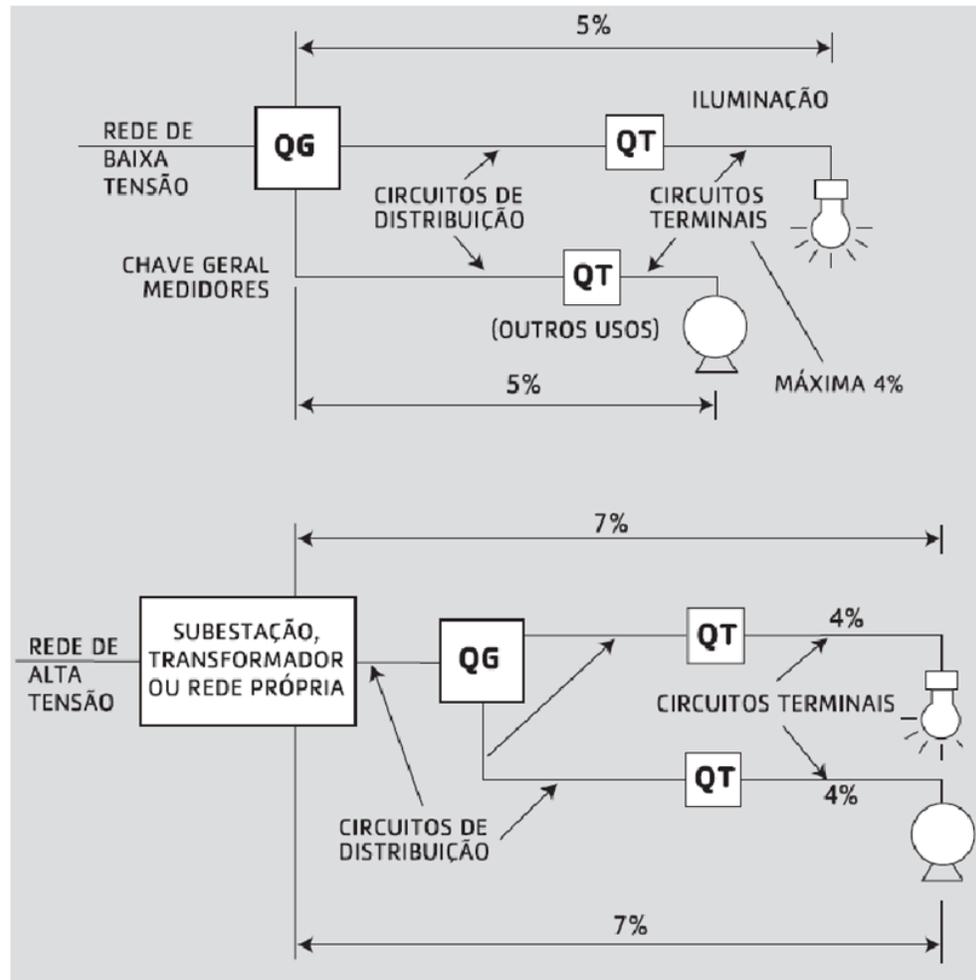
A seção do condutor Fase será de $\#=70\text{mm}^2$

A Seção do condutor Neutro será de $\#=70\text{mm}^2$

A Seção do condutor Terra será de $\#=35\text{mm}^2$

- Seção do Neutro retirado da Tabela 16 e seção do Terra (Proteção) retirado da Tabela 17.

Critério da Queda de Tensão



Limite de queda de Tensão

➤7% A partir do secundário do transformador para subestação própria.

➤5% A partir do ponto de entrega para alimentação em tensão secundária.

Critério da Queda de Tensão

Cálculo da Queda de Tensão

- Para Circuitos Monofásico:

$$\Delta V_C = \frac{200 * \rho * \sum (L_C * I_P)}{S_C * V_F} (\%)$$

- Para Circuitos Trifásico:

$$\Delta V_C = \frac{100 * \sqrt{3} * \rho * \sum (L_C * I_P)}{S_C * V_L} (\%)$$

Onde:

ρ = resistividade do material condutor (cobre) 1/ 56

$\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$;

L_C = comprimento do circuito, em metro;

I_p = corrente total do circuito em Ampère;

ΔV_C = Queda de tensão máxima admitida em projeto, em %;

S_C = Seção Mínima do condutor;

V_F = Tensão de Fase;

V_L = Tensão de Linha.

Critério da Queda de Tensão

Dimensionamento do Condutor pela Queda de Tensão

- Para Circuitos Monofásico:

$$S_C \geq \frac{200 * \rho * \sum (L_C * I_P)}{\Delta V_C * V_F} \text{mm}^2$$

- Para Circuitos Trifásico:

$$S_C \geq \frac{100 * \sqrt{3} * \rho * \sum (L_C * I_P)}{\Delta V_C * V_L} \text{mm}^2$$

Onde:

ρ = resistividade do material condutor (cobre) 1/ 56

$\Omega \cdot \text{mm}^2 / \text{m}$;

L_C = comprimento do circuito, em metro;

I_C = corrente total do circuito em Ampère;

ΔV_C = Queda de tensão máxima admitida em projeto, em %;

S_C = Seção Mínima do condutor;

V_F = Tensão de Fase;

V_L = Tensão de Linha.

Exemplo de Aplicação

Queda de Tensão- Para o Exemplo 1

$$I_p = 95,0978A \quad L_C = 50m \quad V_L = 220V \quad \Delta V = 3\%$$

$$S_C \geq \frac{200 * \rho * \sum (L_C * I_P)}{\Delta V_C * V_F} mm^2$$

$$S_C \geq \frac{200 * \left(\frac{1}{56}\right) * (50 * 95,0978)}{3 * 127}$$

$$S_C \geq 44,57mm^2$$

Logo a seção do condutor de fase pelo critério da queda de tensão será de:

$$S_C = 50mm^2$$

Seção Final do Condutor

- A seção final do condutor para o **Exemplo de aplicação 1**, será a maior seção encontrada comparando os três critérios de dimensionamento, lembrando que para o critério de seção mínima:
 1. **Condutores de Iluminação: seção mínima $1,5\text{mm}^2$**
 2. **Condutores de Força: seção mínima $2,5\text{mm}^2$**

Seção Final do Condutor

- Assim para o **Exemplo 1** , temos:
- **Critério da Capacidade de Corrente:**
A seção do condutor Fase será de $\phi=70\text{mm}^2$
- **Critério da Queda de Tensão:**
A seção do condutor Fase será de $\phi=50\text{mm}^2$
- **Logo o Condutor deverá ter:**

A seção do condutor Fase será de $\#=70\text{mm}^2$

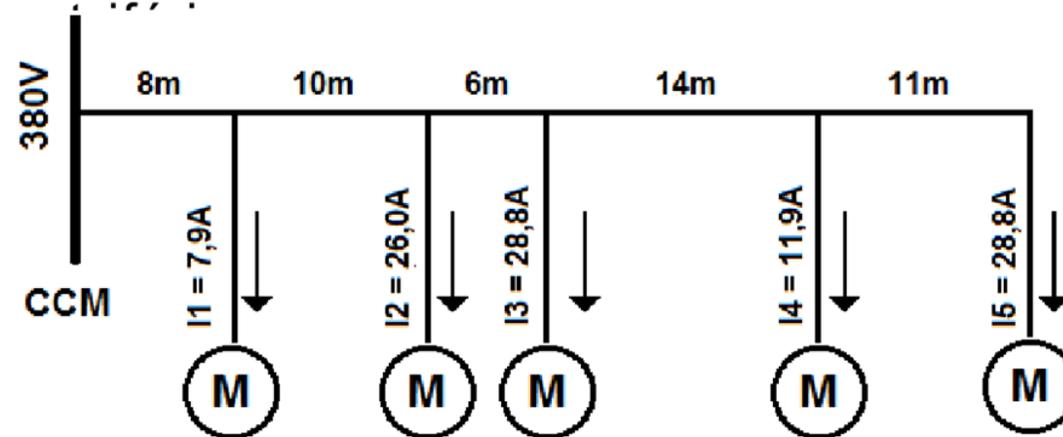
A Seção do condutor Neutro será de $\#=70\text{mm}^2$

A Seção do condutor Terra será de $\#=35\text{mm}^2$

1ϕ 70mm^2 , $1N$ 70mm^2 e $1T$ 35mm^2 .

Exemplo: Critério da Queda de Tensão

- Exemplo 1 - Para circuito cuja característica alimenta um grupo de dispositivos ou equipamentos de valores diferentes de distância e corrente nominal.
- Determinar a seção do condutor do circuito mostrado abaixo, sabendo que são utilizados cabos unipolares isolados em XLPE, dispostos no interior de canaleta ventilada construída no piso. A queda de tensão admitida é de 4% para o sistema.



Critério da Queda de Tensão

Resposta:

$$I1 = 7,9A \quad \rightarrow \quad L1 = 8m$$

$$I4 = 11,9A \quad \rightarrow \quad L4 = 8 + 10 + 6 + 14 = 38m$$

$$I2 = 26,0A \quad \rightarrow \quad L2 = 8 + 10 = 18m$$

$$I5 = 28,8A \quad \rightarrow \quad L5 = 8 + 10 + 6 + 14 + 11 = 49m$$

$$I3 = 28,8A \quad \rightarrow \quad L3 = 8 + 10 + 6 = 24m$$

$$S_C \geq \frac{100 * \sqrt{3} * \rho * \sum (L_C * I_P)}{\Delta V_C * V_L}$$

$$S_C \geq \frac{100 * \sqrt{3} * \left(\frac{1}{56}\right) * [(7,9 * 8) + (26 * 18) + (28,8 * 24) + (11,9 * 38) + (28,8 * 49)]}{4 * 380}$$

$$S_C \geq 6,28mm^2 \rightarrow S_C = 3\phi \#10mm^2$$

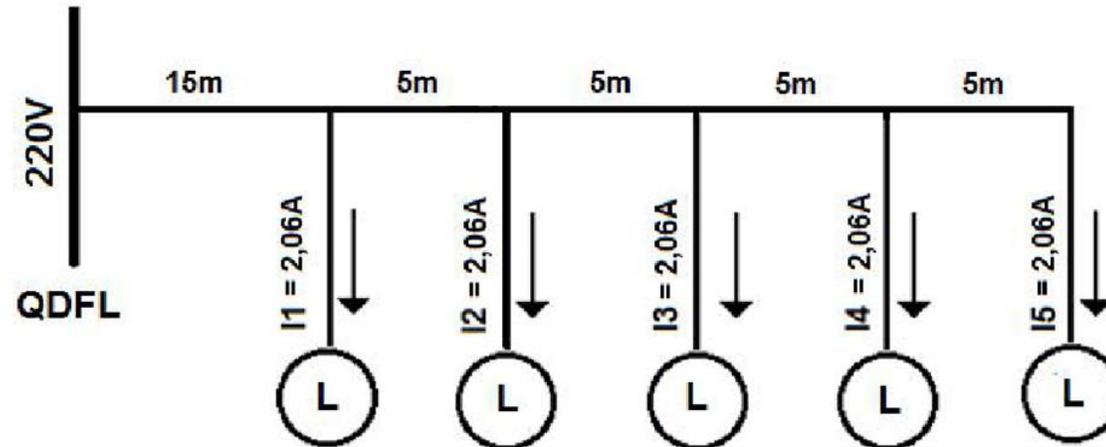
$$S_C \geq \frac{100 * \sqrt{3} * \left(\frac{1}{56}\right) * [103,4 * 49]}{4 * 380} = 10,31mm^2 \quad \longrightarrow$$

$$S_C \geq 10,31mm^2 \rightarrow S_C = 3\phi \#16mm^2$$

Aproximação - Considerando somatória da corrente total (103,4A) multiplicando pela maior distância

Exemplo: Critério da Queda de Tensão

- Exemplo 2 - Circuito cuja característica alimenta um grupo de dispositivos ou equipamentos com corrente nominal igual e distâncias diferentes.
- Determinar a seção do condutor do circuito mostrado abaixo, sabendo que são utilizados cabos unipolares isolados em PVC, dispostos no interior de bandeja. A queda de tensão admitida é de 2% para a sistema monofásico.



Critério da Queda de Tensão

Resposta:

$$I_1 = 2,06A \rightarrow L_1 = 15m$$

$$I_4 = 2,06A \rightarrow L_4 = 15 + 5 + 5 + 5 = 30m$$

$$I_2 = 2,06A \rightarrow L_2 = 15 + 5 = 20m$$

$$I_5 = 2,06A \rightarrow L_5 = 15 + 5 + 5 + 5 + 5 = 35m$$

$$I_3 = 2,06A \rightarrow L_3 = 15 + 5 + 5 = 25m$$

$$S_C \geq \frac{200 * \rho * \sum (L_C * I_P)}{\Delta V_C * V_F}$$

$$S_C \geq \frac{200 * \left(\frac{1}{56}\right) * [(2,06 * 15) + (2,06 * 20) + (2,06 * 25) + (2,06 * 30) + (2,06 * 35)]}{2 * 220}$$

$$S_C \geq 2,09mm^2 \rightarrow S_C = 1\phi \# 2,5mm^2$$

$$S_C \geq \frac{200 * \left(\frac{1}{56}\right) * [10,3 * 35]}{2 * 220} = 2,93mm^2$$

$$S_C \geq 2,93mm^2 \rightarrow S_C = 1\phi \# 4mm^2$$

Aproximação - Considerando somatória da corrente total (10,3A) multiplicando pela maior distância

Exemplo de Aplicação

Exercício 1 - Conforme o método da capacidade de condução de corrente, determine a seção do condutor unipolar com isolamento de EPR, sendo que a potência do equipamento é 45kW, $F_p = 90\%$ e $\eta = 85\%$, tensão de linha de 380V. A alimentação do equipamento é trifásica com neutro, instalado por meio de Bandeja não perfurada, onde já passam 7 circuitos, a temperatura ambiente média é de 40 °C e no solo de 22 °C, o equipamento está instalado a uma distância de 90m do Quadro de distribuição de Força –QDF e a queda de tensão máxima admitida de 2%.

Exemplo de Aplicação

Resposta: Para equipamento trifásico temos:

$$I_p = \frac{P_{3\phi} (W)}{\sqrt{3} * V_L * \eta * Fp} = \frac{45.000}{\sqrt{3} * 380 * 0,85 * 0,90} = 89,373 A$$

Onde: I_p = Corrente de Projeto

Método de instalação (tabela 1) – Bandeja não Perfurada – C

- Determinando a corrente corrigida (I_z):

$$I_z = \frac{I_p}{FCA * FCT} = \frac{89,373}{0,71 * 0,91} = 138,327 A$$

➤ Onde FCA é retirado da Tabela 8

- Número de circuitos $7 + 1 = 8$
- Método de Instalação tipo C (coluna direita – método C)

Exemplo de Aplicação

- E o FCT é retirado da Tabela 6
 - Temperatura ambiente = 40 °C
 - Isolação do condutor EPR

Assim, utilizando a Tabela 3, para o método de instalação Ca 3 condutores carregados (Circuito trifásico com neutro 03 Fases + 1 Neutro) e uma corrente corrigida de $I_z=138,327A$.

A seção do condutor Fase será de $\#=35\text{mm}^2$

A seção do condutor Neutro será $\#=25\text{mm}^2$

A seção do condutor Terra será $\#=16\text{mm}^2$

- Seção do Neutro retirado da Tabela 16 e seção do Terra (Proteção) retirado da Tabela 17.

Exemplo de Aplicação

Exercício 1) $I_p = 89,373 A$ $L_C = 90m$ $V_L = 380V$ $\Delta V = 2\%$

$$S_C \geq \frac{100 * \sqrt{3} * \rho * \sum (L_C * I_P)}{\Delta V_C * V_L} \text{ mm}^2$$

$$S_C \geq \frac{100 * \sqrt{3} * \left(\frac{1}{56}\right) (90 * 89,373)}{2 * 380}$$

$$S_C \geq 32,73 \text{ mm}^2$$

Logo a seção do condutor de fase pelo critério da queda de tensão será de:

$$S_C = 35 \text{ mm}^2$$

Seção Final do Condutor

- E para o **Exercício 1** temos:
- **Critério da Capacidade de Corrente:**
A seção do condutor Fase será de $\phi=35\text{mm}^2$
- **Critério da Queda de Tensão:**
A seção do condutor Fase será de $\phi=35\text{mm}^2$
- **Logo o Condutor deverá ter:**

**A seção do condutor Fase será de $\phi=35\text{mm}^2$
A Seção do condutor Neutro será de $\phi=25\text{mm}^2$
A Seção do condutor Terra será de $\phi=16\text{mm}^2$**

$3\phi 35\text{mm}^2, 1N 25\text{mm}^2$ e $1T 16\text{mm}^2$.

Exemplo de Aplicação

Exercício 2 - Conforme o método da capacidade de condução de corrente, determine a seção do condutor unipolar com isolamento de PVC, sendo que o equipamento é composto por dois motores trifásico de 15CV 4 pólos, tensão de fase de 127V, instalado por meio de bandeja perfurada e cabos dispostos de forma contíguos, onde já passam 3 circuitos. A temperatura ambiente média é de 45 °C e no solo de 30 °C, o equipamento está instalado a uma distância de 80m do Quadro de distribuição de Força –QDF e a queda de tensão máxima admitida de 1%.

Exemplo de Aplicação

Resposta: Para equipamento trifásico temos:

$$I = \frac{P(CV) * 736}{\sqrt{3} * V_L * \eta * Fp} = \frac{2 * 15 * 736}{\sqrt{3} * 220 * 0,885 * 0,83} = 78,885A$$

Onde: I_p = Corrente de Projeto

Método de instalação (tabela 1) –Bandeja Perfurada–F

- Determinando a corrente corrigida (I_z):

$$I_z = \frac{I_p}{FCA * FCT} = \frac{78,885}{0,77 * 0,79} = 129,681A$$

➤ Onde FCA é retirado da Tabela 8

- Número de circuitos $3 + 1 = 4$
- Método de Instalação tipo F (coluna direita – método E e F)

Exemplo de Aplicação

- E o FCT é retirado da Tabela 6
 - Temperatura ambiente = 45 °C
 - Isolação do condutor PVC

Assim, utilizando a Tabela 4 para o método de instalação F cabos contíguos a 3 condutores carregados (Circuito trifásico sem neutro) e uma corrente corrigida de $I_z=129,681A$.

A seção do condutor Fase será de $\#=35\text{mm}^2$

A seção do condutor Terra será $\#=16\text{mm}^2$

- Seção do Neutro retirado da Tabela 16 e seção do Terra (Proteção) retirado da Tabela 17.

Exemplo de Aplicação

Exercício 2) $I_p = 78,885 A$ $L_C = 80m$ $V_L = 220V$ $\Delta V = 1\%$

$$S_C \geq \frac{100 * \sqrt{3} * \rho * \sum (L_C * I_P)}{\Delta V_C * V_L} \text{ mm}^2$$

$$S_C \geq \frac{100 * \sqrt{3} * \left(\frac{1}{56}\right) (80 * 78,885)}{1 * 220}$$

$$S_C \geq 88,72 \text{ mm}^2$$

Logo a seção do condutor de fase pelo critério da queda de tensão será de:

$$S_C = 95 \text{ mm}^2$$

Seção Final do Condutor

- E para o **Exercício 2** temos:
- **Critério da Capacidade de Corrente:**
A seção do condutor Fase será de $\phi=35\text{mm}^2$
- **Critério da Queda de Tensão:**
A seção do condutor Fase será de $\phi=95\text{mm}^2$
- **Logo o Condutor deverá ter:**

**A seção do condutor Fase será de $\#=95\text{mm}^2$
A Seção do condutor Terra será de $\#=50\text{mm}^2$**

3ϕ 95mm^2 e $1T$ 50mm^2 .

Exemplo de Aplicação

Exercício 3 - Utilizando o método da capacidade de condução de corrente, determine a seção do condutor unipolar com isolamento de XLPE, sendo que o equipamento é composto por um motor trifásico de 100CV 4 pólos, tensão de fase de 220V, instalado por meio de canaleta não ventilada no solo, onde já passam 4 circuitos. A temperatura ambiente média é de 40°C e no solo de 30 °C, o equipamento está instalado a uma distância de 110m do Quadro de distribuição de Força –QDF e a queda de tensão máxima admitida de 4%.

Exemplo de Aplicação

Resposta: Para equipamento trifásico temos:

$$I = \frac{P(CV) * 736}{\sqrt{3} * V_L * \eta * Fp} = \frac{100 * 736}{\sqrt{3} * 380 * 0,935 * 0,87} = 137,468 A$$

Onde: I_p = Corrente de Projeto

Método de instalação (tabela 1) – Canaleta não Ventilada – D

- Determinando a corrente corrigida (I_z):

$$I_z = \frac{I_p}{FCA * FCT} = \frac{137,468}{0,60 * 0,93} = 246,358 A$$

➤ Onde FCA é retirado da Tabela 8

- Número de circuitos $4 + 1 = 5$
- Método de Instalação tipo D (coluna direita – método A a F)

Exemplo de Aplicação

➤ E o FCT é retirado da Tabela 6

- Temperatura no solo = 30 °C
- Isolação do condutor XLPE

Assim, utilizando a Tabela 3 para o método de instalação D a 3 condutores carregados (Circuito trifásico sem neutro) e uma corrente corrigida de $I_z = 246,358\text{A}$.

A seção do condutor Fase será de $\# = 150\text{mm}^2$

A seção do condutor Terra será $\# = 95\text{mm}^2$

- Seção do Neutro retirado da Tabela 16 e seção do Terra (Proteção) retirado da Tabela 17.

Exemplo de Aplicação

Exercício 3) $I_p = 137,468A$ $L_C = 110m$ $V_L = 380V$ $\Delta V = 4\%$

$$S_C \geq \frac{100 * \sqrt{3} * \rho * \sum (L_C * I_P)}{\Delta V_C * V_L} \text{ mm}^2$$

$$S_C \geq \frac{100 * \sqrt{3} * \left(\frac{1}{56}\right) (110 * 137,468)}{4 * 380}$$

$$S_C \geq 30,77 \text{ mm}^2$$

Logo a seção do condutor de fase pelo critério da queda de tensão será de:

$$S_C = 35 \text{ mm}^2$$

Seção Final do Condutor

- E para o Exercício 3 temos:
- Critério da Capacidade de Corrente:
A seção do condutor Fase será de $\phi = 150\text{mm}^2$
- Critério da Queda de Tensão:
A seção do condutor Fase será de $\phi = 35\text{mm}^2$
- Logo o Condutor deverá ter:

A seção do condutor Fase será de $\phi = 150\text{mm}^2$
A Seção do condutor Terra será de $\phi = 95\text{mm}^2$

3ϕ 150mm² e 1T 95mm².

Dimensionamento de Dutos Elétricos

Para a disposição dos eletrodutos e/ ou dutos fechados, os trechos de tubulação contínua retilíneos, sem interdiposição de caixas de passagem não devem ultrapassar a distância de 15m. Para trechos com curvas, estas devem ser limitadas a três de 90°, ou equivalente a 270°, não sendo permitido curvas com deflexão menores de 90°.

$$L = 15 - (3 \times n) \text{ onde } n = \text{número de curvas}$$

L (comprimento)	Nenhuma curva	1 curva	2 curvas	3 curvas
Máximo comprimento do trecho	15 metros	12 metros	9 metros	6 metros
Comprimento parcial do trecho	15 metros	6m	3m	1,5m

Nota: Quando a tubulação passar por uma área que impossibilite a colocação de caixas de passagem dentro dos limites, deverá ser aumentada a área da seção do eletroduto (NBR 5410 6.2.11.1.2)

Área dos Condutores Elétricos

Seção (mm ²)	Área Total (mm ²)			Seção (mm ²)	Área Total (mm ²)		
	PVC		XLPE ou EPR		PVC		XLPE ou EPR
	Isolado	Unipolar			Isolado	Unipolar	
1,5	7,0	23,7	23,7	70	130,7	188,7	188,7
2,5	10,7	28,2	28,2	95	179,7	246,0	246,0
4	14,5	36,3	36,3	120	213,8	289,5	289,5
6	18,8	41,8	41,8	150	268,8	359,6	359,6
10	27,3	50,2	50,2	185	336,5	444,8	444,8
16	37,4	63,6	63,6	240	430,0	559,9	559,9
25	56,7	91,6	91,6	300	530,9	683,5	683,5
35	72,3	113,1	113,1	400	692,8	881,4	881,4
50	103,8	151,7	151,7	500	870,9	1092,7	1092,7

Nota: O Condutor isolado deve ser instalado em dutos fechados, como por exemplo eletrodutos ou em canaletas fechadas, não podendo ser instaladas em calhas e bandeja ou dutos abertos.

Dimensionamento de Dutos Elétricos

A máxima porcentagem de área útil do eletroduto a ser ocupada pelos condutores:

- 53% Para o caso de um condutor;
- 31% Para o caso de dois condutores;
- 40% Para o caso de três ou mais condutores.

Taxa de Ocupação em Dutos Elétricos

Taxa máxima de ocupação para eletrodutos:

Tamanho nominal conforme IEC 60423 (mm)	Diâmetro interno mínimo IEC 60423 (mm)	Diâmetro em pol.	Área (mm ²)	Área máxima de ocupação (mm ²)		
				53%	31%	40%
				1 condutor	2 condutores	>3 condutores
16	13,0	3/8	132,73	70,35	41,15	53,09
20	17,4	1/2	237,79	126,03	73,71	95,12
25	22,1	3/4	383,60	203,31	118,92	153,44
32	28,6	1	642,43	340,49	199,15	256,97
40	35,8	1.1/4	1006,60	533,50	312,05	402,64
50	45,1	1.1/2	1597,51	846,68	495,23	639,00
63	57,0	2	2551,76	1352,44	791,05	1020,71

Taxa de Ocupação em Dutos Elétricos

Instalações em Eletrocalhas, Bandejas e similares

As instalações em “ar livre “, que incluem as linhas instaladas em leitos, bandejas e eletrocalhas, não fixa limite de ocupação, como faz para a instalação de eletrodutos. Mas a norma NBR 5410, recomenda que a instalação dos condutores seja em camada única . Para Tanto utilizaremos a regra de ocupação máxima de 40% o que restringe a ocupação dos dutos abaixo do limite do volume de material combustível por metro linear de linha elétrica (6.2.11.3.5)

Taxa de Ocupação em Dutos Elétricos

Taxa de ocupação para leitos, eletrocalhas e bandejas em 40%

Largura (mm)	Altura (mm)	Comprimento (mm)	Área (mm ²)	Área Máxima de ocupação (mm ²)
50	50	3000	2500	1000
75	50	3000	3750	1500
100	50	3000	5000	2000
150	50	3000	7500	3000
150	60	3000	9000	3600
200	60	3000	12000	4800
200	75	3000	15000	6000
300	75	3000	22500	9000
300	100	3000	30000	12000

Exemplo de Aplicação - Eletrodutos

Nº de condutores isolados	Seção total dos condutores (mm ²)	% da Taxa de ocupação	Diâmetro do eletroduto (mm)
1 condutores de 6mm ²	18,80	53%	16
1 condutores de 50mm ²	103,80	53%	20
2 condutores de 10 mm ²	54,60	31%	20
2 condutores de 25mm ²	113,40	31%	25
3 condutores de 1,5 mm ²	21,00	40%	16
4condutores de 4 mm ² + 4 condutores de 6mm ²	133,20	40%	25

Nº de condutores unipolares	Seção total dos condutores (mm ²)	% da Taxa de ocupação	Diâmetro do eletroduto (mm)
1 condutores de 6mm ²	41,80	53%	16
2 condutores de 10 mm ²	100,40	31%	25
4condutores de 4 mm ² + 4 condutores de 6mm ²	312,40	40%	40

Exemplo de Aplicação – Bandejas

Nº de condutores unipolares	Seção total dos condutores (mm ²)	% da Taxa de ocupação	Dimensão da Bandeja (mm)
10 condutores de 10mm ²	502,00	40%	50x50
18 condutores de 16mm ²	1144,80	40%	75x50
12 condutores de 2,5 mm ² + 20 condutores de 4mm ² + 20 condutores de 6mm ²	1900,40	40%	100x50
25 condutores de 10 mm ² + 25 condutores de 16mm ²	2845,00	40%	150x50
20 condutores de 10 mm ² + 20 condutores de 16mm ² + 20 condutores de 25mm ²	4108,00	40%	200x60

Nota: Cabos Isolados não podem ser instalados em Bandejas, exceção para o caso de serem instalados no interior de eletrodutos ou canaletas.