



Condutores
&
Dispositivos de Proteção



1. Objetivos

- A. Análise dos tipos de condutores utilizados em instalações prediais e seu dimensionamento quanto à suportabilidade da corrente:
- em regime permanente de carga;
 - com carga variável ciclicamente;
 - em condições de curto-circuito.
- B. Análise das características de dispositivos de proteção utilizados em instalações prediais, quanto a :
- sobrecargas continuadas ;
 - curto-circuitos.
- C. Análise da coordenação entre o dispositivo de proteção e o condutor de modo que este último não se danifique.



2-CONDUTORES

2.1 Materiais utilizados na fabricação de fios e cabos

A. Materiais Condutores

B. Materiais Isolantes

C. Proteção Mecânica



A. Materiais condutores

1. **Cobre eletrolítico** , pureza mínima 99,9%, recozido(têmpera mole). Condutibilidade 100% IACS ($0,017241 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$).Ponto de fusão $1083 \text{ }^\circ\text{C}$

2. **Alumínio de alta pureza** , têmpera meio dura, condutibilidade 61% IACS.Ponto de fusão $658 \text{ }^\circ\text{C}$. Sofre corrosão quando em contato com cobre e outros metais.

3. Outros metais :

Prata : alta condutibilidade , óxido condutor.

Platina : contatos , alta temperatura de fusão.

Ouro : não oxida , protege outros materiais.

Mercúrio : usado em contatos.

4. **Ligas Metálicas** : bronze , latão.



B. Materiais isolantes

1. Termo-plásticos - materiais que amolecem com o aumento da temperatura.

- PVC (cloreto de polivinila) 70 °C
- PE (polietileno termoplástico) 75 °C

2. Termo-fixos - são vulcanizados e não amolecem com o aumento de temperatura. Carbonizam quando demasiadamente aquecidos.

- XLPE (polimetano reticulado) 90 °C
- EPR (borracha etileno propileno) 90 °C
- neoprene (borracha sintética)



C. Proteção Mecânica

1. Capas não metálicas

- geralmente externas
- PVC, neoprene, polietileno: escolhidos em função da resistência mecânica ou química

2. Proteção metálica

- empregada quando os cabos são solicitados mecanicamente (sob forma de armação)
- radial (fitas de aço ou de alumínio)
- tangencial (fios de aço)



2.2 Classificação de fios e cabos

- A. Tensão**
- baixa tensão (menor 1000 V)
 - média tensão (entre 1000 e 35000 V)
 - alta tensão (maior 35000 V)
- B. Isolação**
- nus (aéreos-alumínio)
 - isolados (cobre , alumínio)
- C. Material**
- cobre
 - alumínio

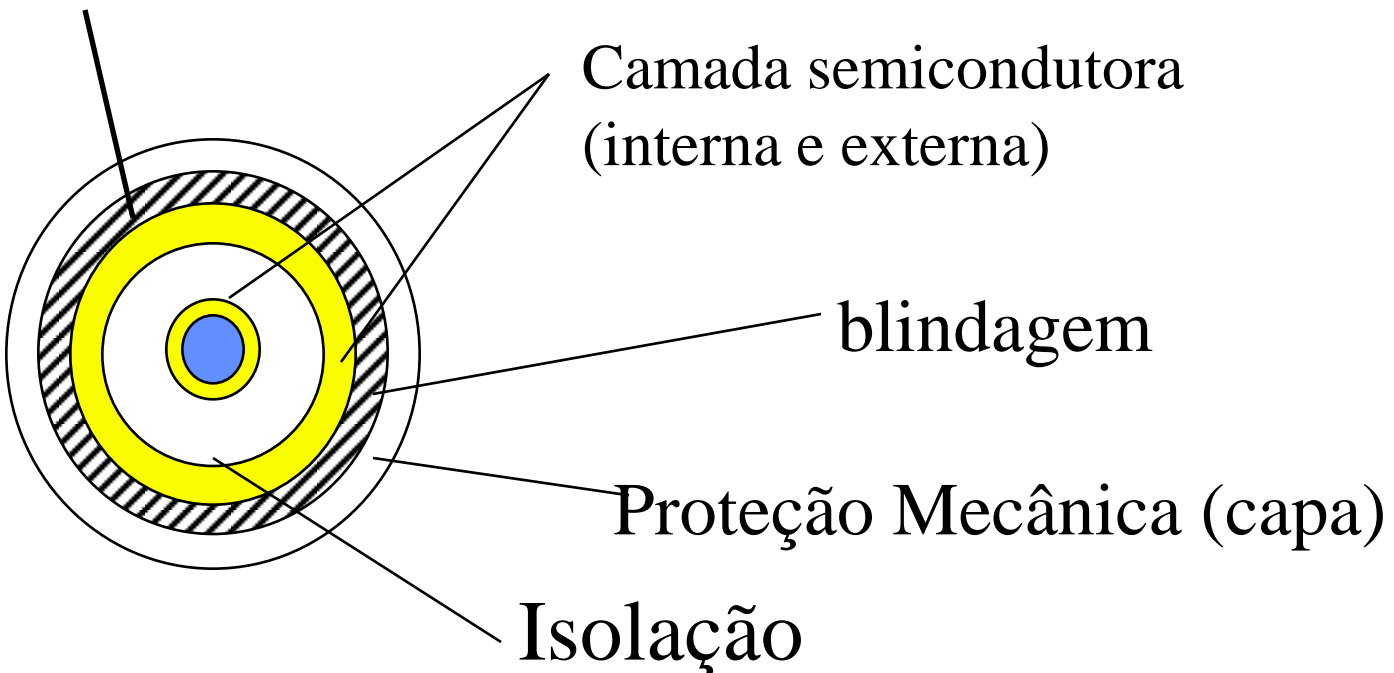


2.3 Aspectos construtivos

A.Cabos Isolados :

- menor 1000V ⇒ condutor
 isolação
 capa(às vezes)
- maior 1000V ⇒ condutor
 semi-condutor
 isolação
 semi-condutor
 blindagem
 capa externa

Condutor





B. Isolação

- 1. extrudada : termoplásticos
termofixo
- 2. estratificada : papel com massa
papel com óleo

C. Temperaturas (°C)

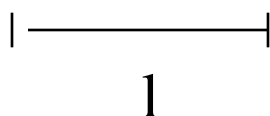
| | CONTÍNUA | SOBRE CARGA | C.C. |
|--------------|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| PVC | 70 | 100 | 160 |
| EPR | 90 | 130 | 250 |
| PAPEL | 85 85 | 110 105 | 200 250 |



2.4. Comparação cobre X alumínio

A. Ponto de vista elétrico

S I \Rightarrow



$$\rho_{Cu} = 0.017241 \Omega \frac{mm^2}{m}$$

$$\rho_{Al} = 0.02828 \Omega \frac{mm^2}{m}$$

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$\rho_{Cu} \frac{l}{S_{Cu}} = \rho_{Al} \frac{l}{S_{Al}}$$

$$\frac{S_{Cu}}{S_{Al}} = \frac{\rho_{Cu}}{\rho_{Al}} = \frac{0.017}{0.028} = 0.607$$

$$S_{Cu} = 0.607 S_{Al}$$

$$d_{Cu} = 0.78 d_{Al}$$

B. Ponto de vista mecânico

$$\frac{P_{Cu}}{P_{Al}} = \frac{\gamma_{Cu} S_{Cu} l_{Cu}}{\gamma_{Al} S_{Al} l_{Al}} = \frac{8.89 \times 0.607}{2.70 \times 1} \cong 2.0$$

Apesar de ter 60.7% da secção do cabo de Al,
o cabo de Cu **pesa o dobro!!!**



2.5 Secção Transversal

A. AWG (em desuso)

B. Circular mil.

$$\begin{array}{l} \overline{0.001''} \quad \bigcirc \\ \underline{\quad\quad\quad} \\ 1CM \end{array} \quad \begin{array}{l} 1CM \Leftrightarrow \frac{\pi}{4} (0.0254)^2 mm^2 \\ 1CM \Leftrightarrow 506.7 \times 10^{-6} mm^2 \end{array}$$

C. Escala milimétrica

D. Tipos de condutores

-redondo sólido

normal

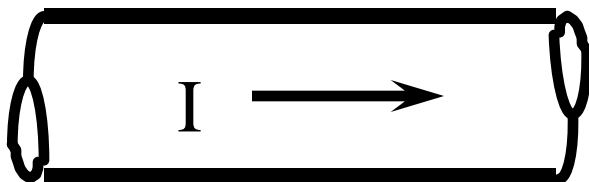
composto

-setorial

-flexível e extra flexível



2.6 CÁLCULO DA CAPACIDADE DE CONDUÇÃO DE CORRENTE



CALOR
PRODUZIDO

=

CALOR
ARMAZENADO

+

CALOR
TRANSFERIDO

$$W.dt = Q.d\theta + A.k. \theta.dt$$

W = calor produzido por efeito Joule

Q = $Q_{cond} + Q_{iso}$ = capacidade térmica do condutor e isolante

c_{cond} = calor específico do condutor

c_{iso} = calor específico do isolante

$d\theta$ = variação de temperatura do condutor no intervalo dt

A = área da superfície emissora de calor

k = coeficiente de transferência de calor

θ = elevação de temperatura do condutor sobre o ambiente

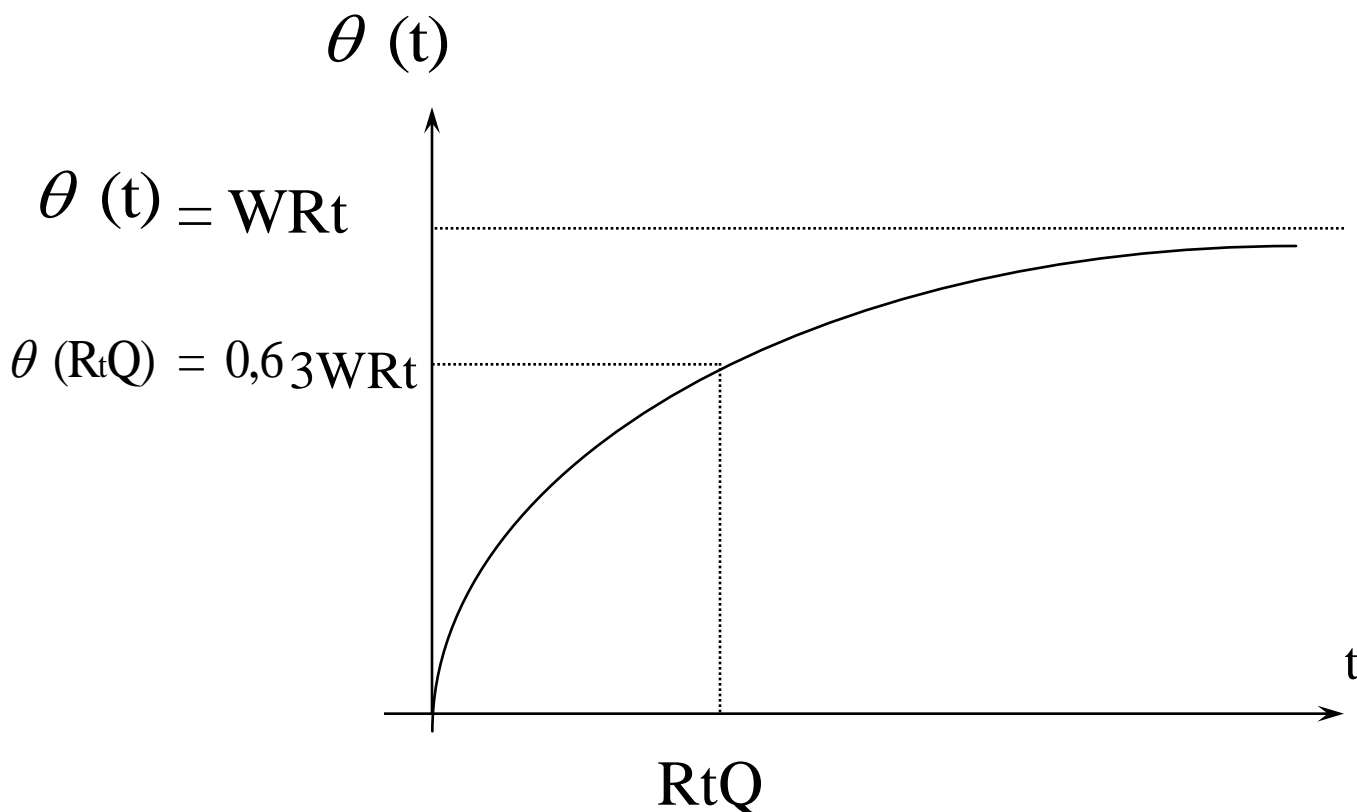
Solução :

$$\theta = T_{Cond} - T_{amb} = W \cdot R_t \cdot \left(1 - e^{-\frac{t}{R_t \cdot Q}}\right)$$

$W = RI^2 =$ calor produzido

$R_t = 1/(A \cdot k) =$ resistência térmica

$R_t \cdot Q =$ constante de tempo térmica



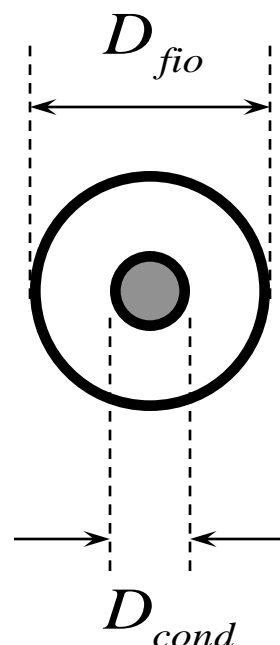


2.7 Resistência Térmica

$$R = Rt_{iso} + Rt_{ar}$$

Resistência Térmica do Isolante

$$Rt_{iso} = \frac{\rho_{iso}}{2\pi} \cdot \ln \frac{D_{fio}}{D_{cond}}$$



Resistência Térmica do Meio (ar)

$$Rt_{ar} = \frac{10^3}{\pi \cdot D_{fio} \cdot h \cdot \theta_s^{0,25}}$$

h = coeficiente de dissipação de calor

θ_s = diferença de temperatura entre a superfície do fio e o meio ambiente



2.8 Capacidade Térmica

$$Q = Q_{cond} + Q_{iso}$$

Capacidade Térmica do Condutor

$$Q_{cond} = c_{cond} \cdot S_{cond}$$

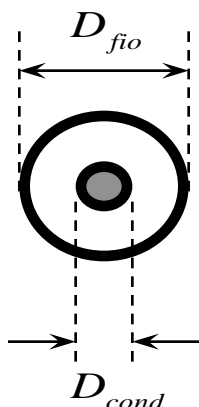
Capacidade Térmica do Isolante

$$Q_{iso} = c_{iso} \cdot S_{iso} = c_{iso} \cdot \frac{\pi}{4} \cdot \left(D_{fio}^2 - D_{cond}^2 \right)$$



2.9 Exemplo

Dados: $fio = 2,5 \text{ mm}^2$, Cu/PVC
 $t_{amb} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$, isol. 1mm



a) PVC $\Rightarrow t_{max} = 70^\circ\text{C}$

b) diâmetro

$$D_{fio}^2 = \frac{4S}{\pi} = \frac{4 \times 2,5}{\pi} = 1,78 \text{ mm}$$

c) resistência térmica da isolação

$$R_{t_{iso}} = \frac{\rho_{iso}}{2\pi} \ln \frac{D_{fio}}{D_{cond}} = \frac{6}{2\pi} \ln \frac{3,78}{1,78} = 0,72^0 \text{ Cm/W}$$

d) resistência térmica do ar

$$R_{tar} = \frac{10^3}{\pi \cdot D_{fio} \cdot h} \theta_s^{-0,25} = \frac{10^3}{\pi \cdot 3,78 \cdot 6,8} 50^{-0,25} = 4,65^0 \text{ Cm/W}$$

$$h \cong 6,8 \text{ W/m}^2$$



e) resistência elétrica

$$R_{cond} = \frac{0.017241}{S_{cond}} [1 + 0.00393 \times (T_{cond} - 20)] =$$
$$= 6,89 \times 10^{-3} [1 + 0,00393 \times 50] = 8,24\Omega$$

$$\theta = WR_t [1 - e^{-\frac{t}{\tau}}]$$

-em regime permanente

$$\theta = WR_t$$

$$I = \sqrt{\frac{\theta}{rR_t}} = \sqrt{\frac{50 \times 1000}{8.24 \times (0,72 + 4,65)}} = 33,6A$$

-em regime transitório

$$Q = Q_c + Q_d = 23,47J/^\circ Cm$$

$$Q_c = c_c A_c = 8.625J /^\circ Cm$$

$$Q_d = c_d A_d = 14,84J /^\circ Cm$$

$$\theta = 8,24 \times 10^{-3} \times 33.6^2 \times 5,37 [1 - e^{-\frac{t}{\tau}}]$$

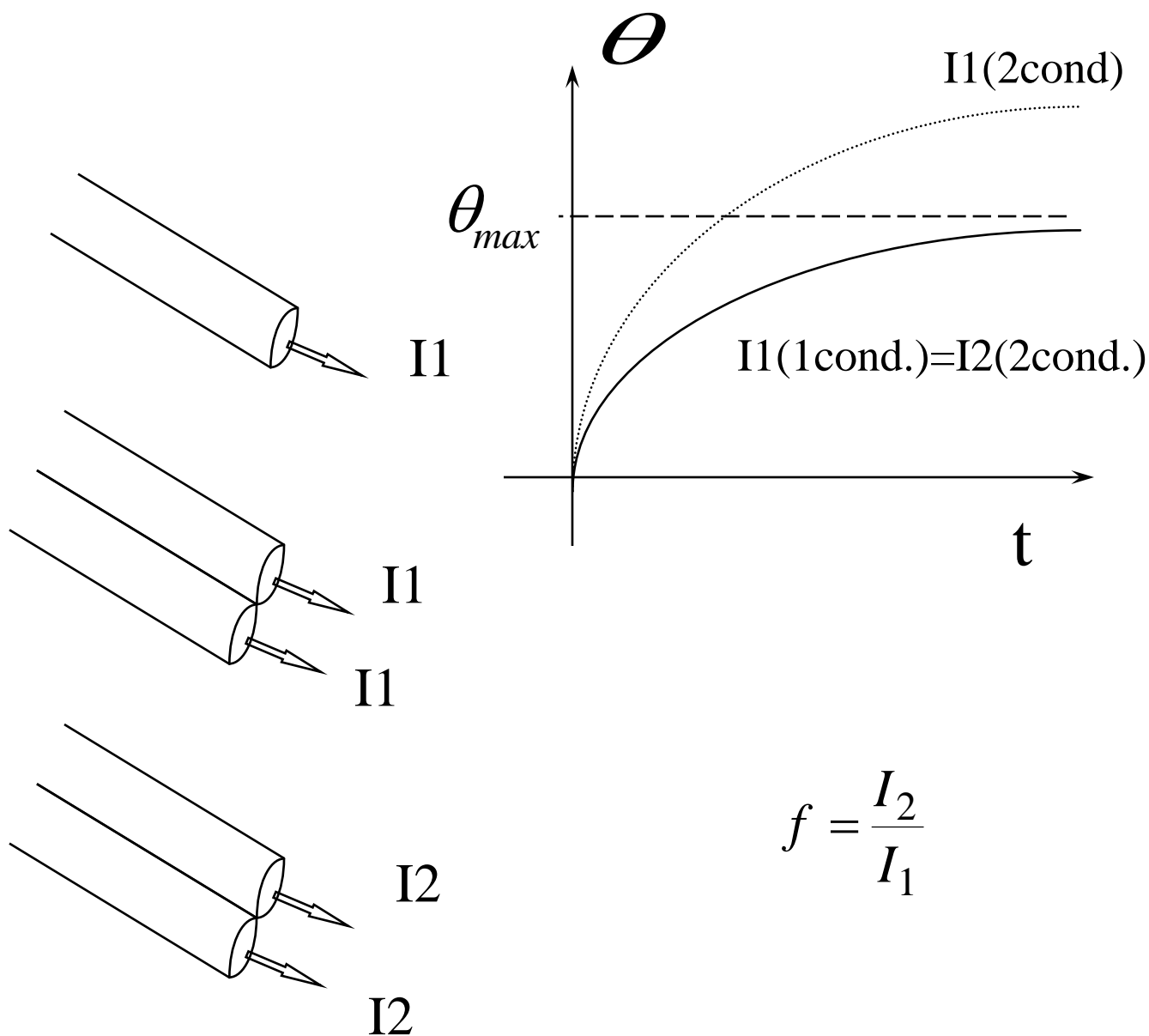
$$T = Rt \times Q = 23,47 \times 5,37 = 126A$$

$$\theta = 50(1 - e^{-\frac{t}{126}})$$



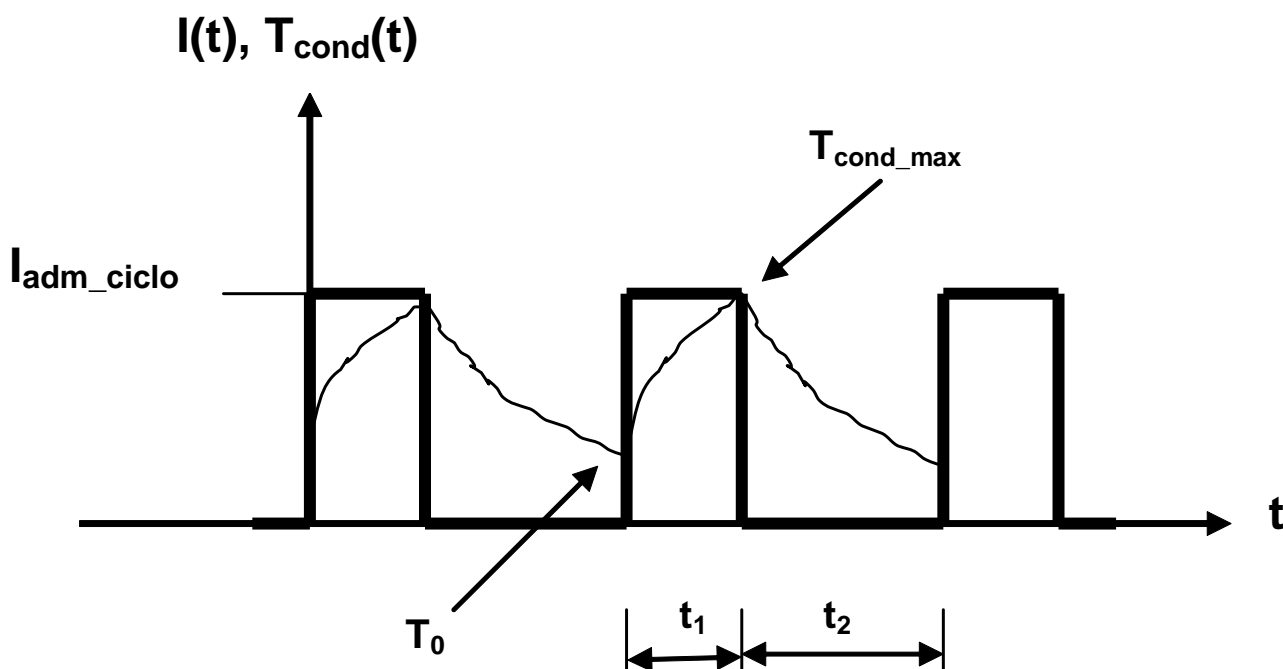
2.10 Fator de Agrupamento

Multiplicador que se aplica na corrente admissível de uma condição de referência para se obter a corrente admissível em outra condição.





2.11 Regime cíclico de carga



Problema: Determinar $I_{\text{adm_ciclo}}$ ($> I_{\text{adm_cont}}$) de forma que a temperatura final durante a condução seja $T_{\text{cond_max}}$



2.11 Regime cíclico de carga

1. Aquecimento

$$T_{cond}(t_1) = T_{cond_max} = T_0 + \left(A \cdot I_{adm_ciclo}^2 + T_{amb} - T_0 \right) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1}{B}} \right)$$

$$A = R_{cond} \cdot (R_{tiso} + R_{tar})$$

$$B = (R_{tiso} + R_{tar}) \cdot (Q_{cond} + Q_{iso})$$

2. Resfriamento

$$T_{cond}(t_2) = T_0 = T_{amb} + \left(T_{cond_max} - T_{amb} \right) \cdot e^{-\frac{t_2}{B}}$$



2.11 Regime cíclico de carga

3. Substituindo T_0 da equação de resfriamento na equação de aquecimento, e lembrando que:

$$T_{cond_max} - T_{amb} = A \cdot I_{adm_cont}^2$$

resulta finalmente:

$$I_{adm_ciclo} = I_{adm_cont} \cdot \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{t_1+t_2}{B_{exp}}}}{1 - e^{-\frac{t_1}{B_{exp}}}}}$$

(para $t_2 \rightarrow 0$, $I_{adm_ciclo} = I_{adm_cont}$)



3. DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

3.1 -Finalidade

São utilizados com o objetivo de desenergizar aquela parte da instalação sujeita a risco de ser danificada devido a:

- *sobrecargas de longa duração*
- *curto-circuitos*

Caso a proteção não atue, além do dano ocasionado à instalação há risco de **INCÊNDIO**



3.2- Grandezas Típicas

A. Corrente Nominal

É definida como sendo o máximo valor eficaz da intensidade de corrente que pode circular por um dispositivo de proteção sem causar seu desligamento automático.



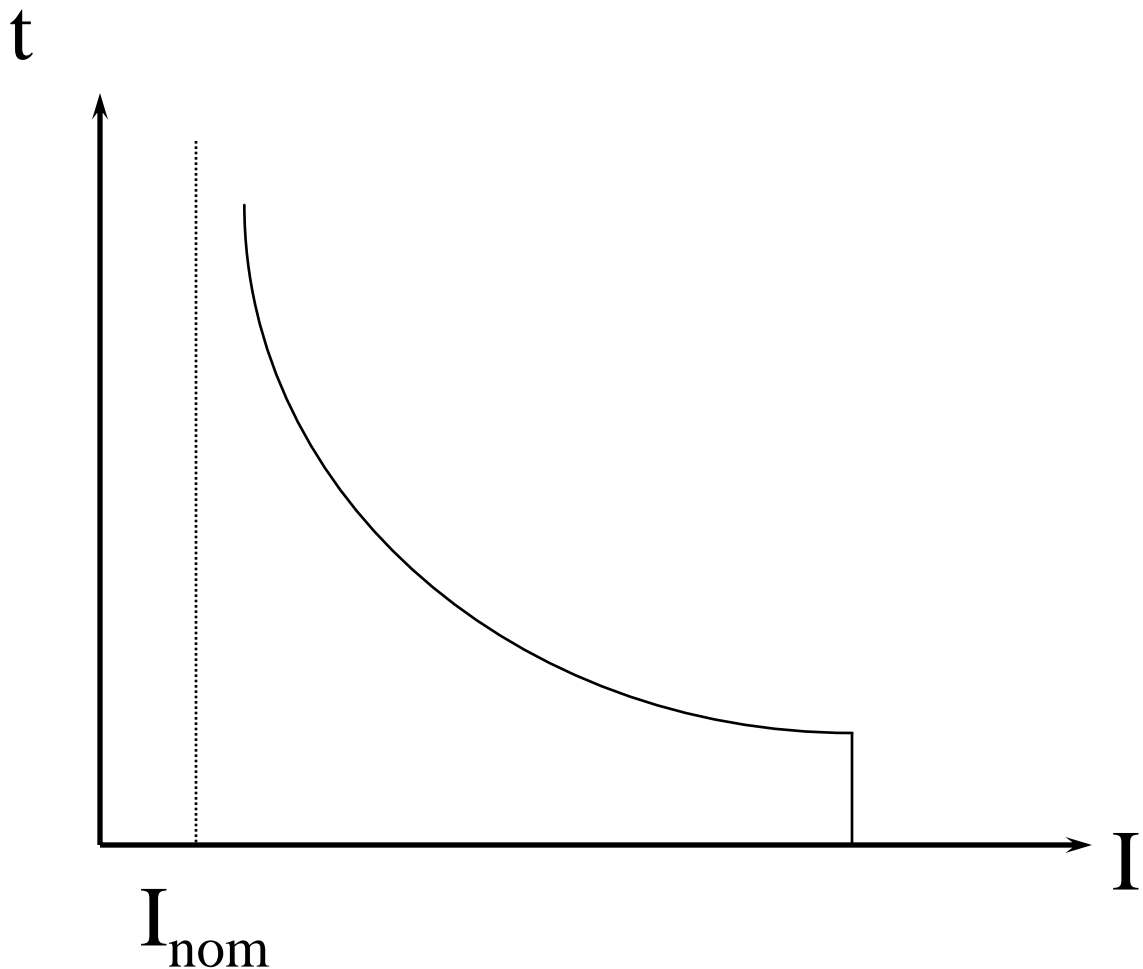
$I \leq I_{nom}$: não ocorre desligamento automático

$I > I_{nom}$: ocorre desligamento $\Delta t = f(I)$



B. Curva Tempo-Corrente

É definida como sendo a curva que fornece o tempo gasto pelo dispositivo para abrir eletricamente o circuito em função da corrente que o percorre.





C. Capacidade Disruptiva

É definida como o máximo valor eficaz da corrente que pode ser interrompida pelo dispositivo de proteção.

Pode ser expressa em termos de corrente ou de potência aparente:

Circuito Trifásico: $S_{DIS} = \sqrt{3} V_{NOM} I_{DIS}$

Circuito Monofásico: $S_{DIS} = V_{NOM} I_{DIS}$

sendo:

V_{NOM} - tensão nominal entre linhas (kV)

I_{DIS} - capacidade disruptiva (kA)



D. Elos Fusíveis

D.1 - Princípio de Operação

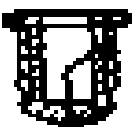
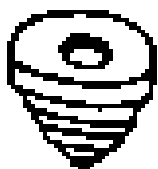
São constituídos por elemento condutor, de composição especial, dimensionado de modo a fundir com intensidade de corrente especificada em intervalo de tempo bem determinado. O calor para a fusão provém da corrente que o atravessa (efeito Joule : RI^2)

D.2 - Tipos

- fusíveis de rolha
- fusíveis de cartucho
- fusíveis de faca
- fusíveis DIAZED
- fusíveis NH (alta capacidade disruptiva)



Fusíveis



rosca



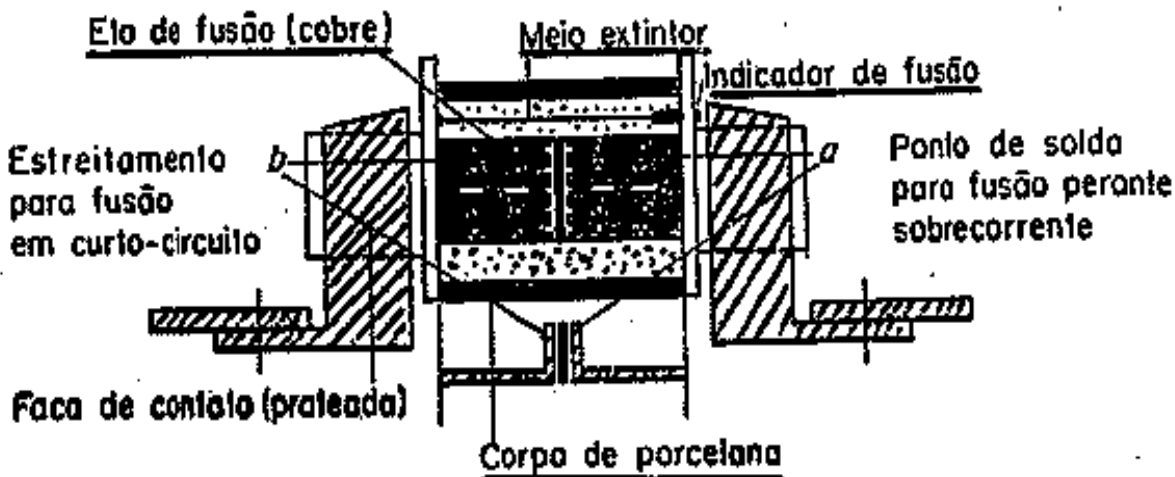
cartucho



faca



diazed





E - Disjuntores de Baixa Tensão

Princípio de Operação

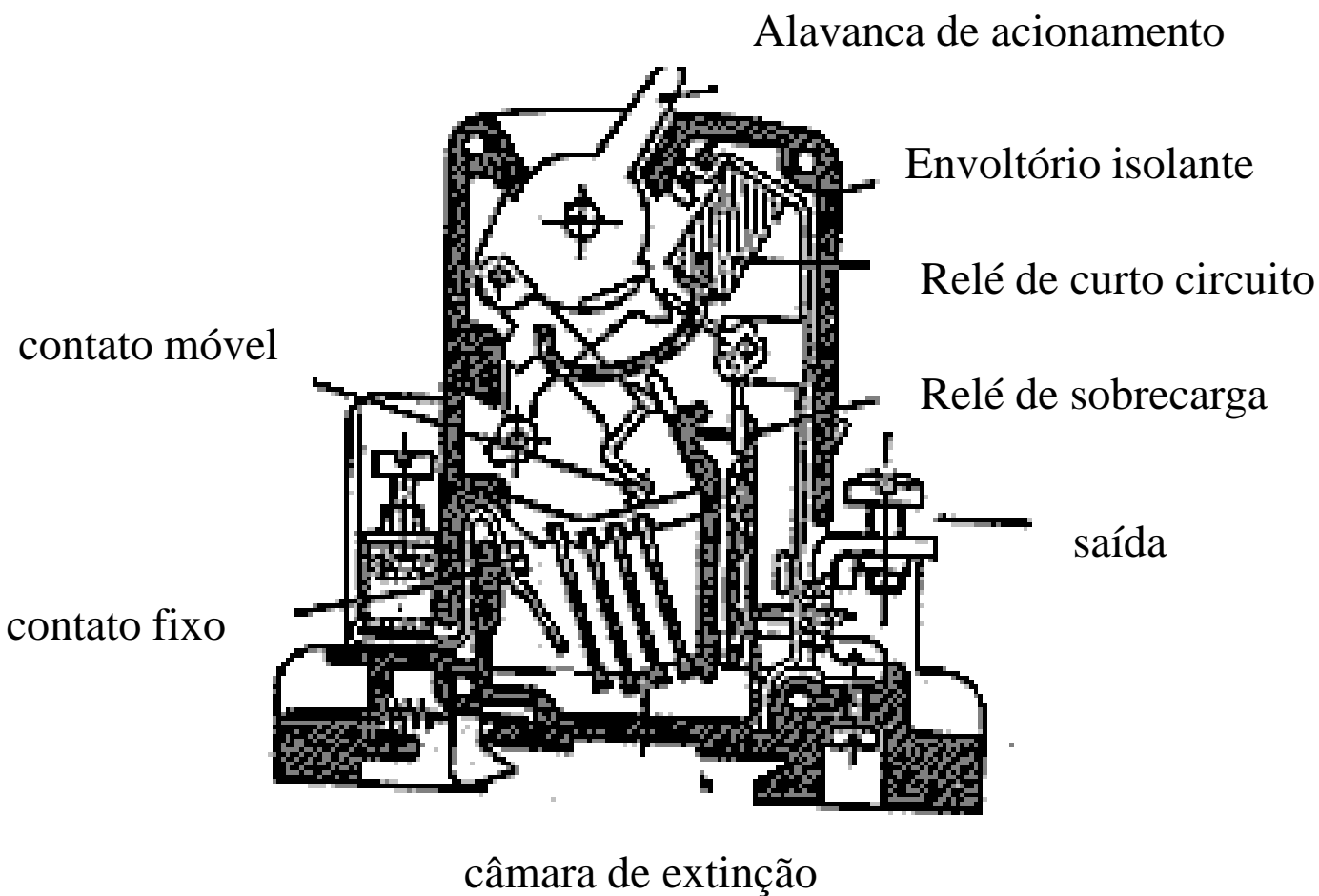
São do tipo “no fuse”. Interrompem o circuito pela abertura de uma “chave”.

Contam com:

- proteção térmica, para sobrecargas pequenas de longa duração;
- proteção magnética, para sobrecorrentes de grande intensidade - curto-circuito;
- câmara para extinção do arco.



Disjuntor de Baixa Tensão





Princípio de Atuação da Proteção Térmica

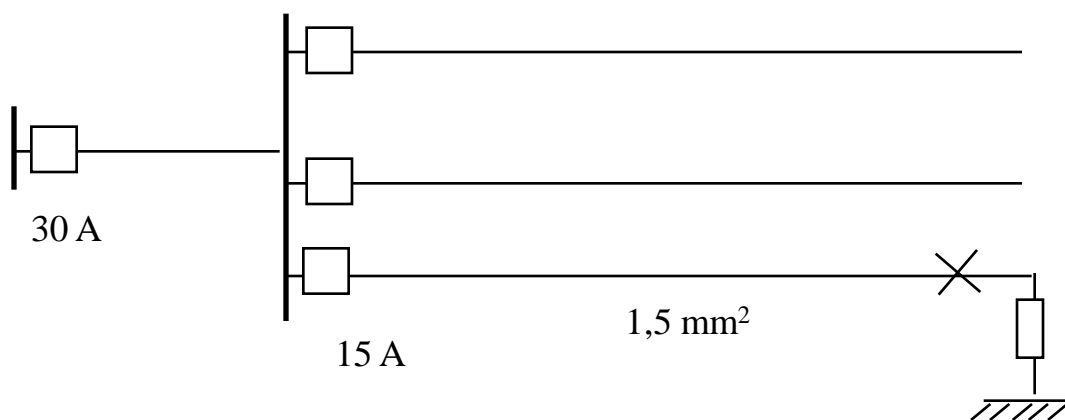


Princípio de Funcionamento do dispositivo “DE-ION”

(reestabelece a rigidez dielétrica do ar)

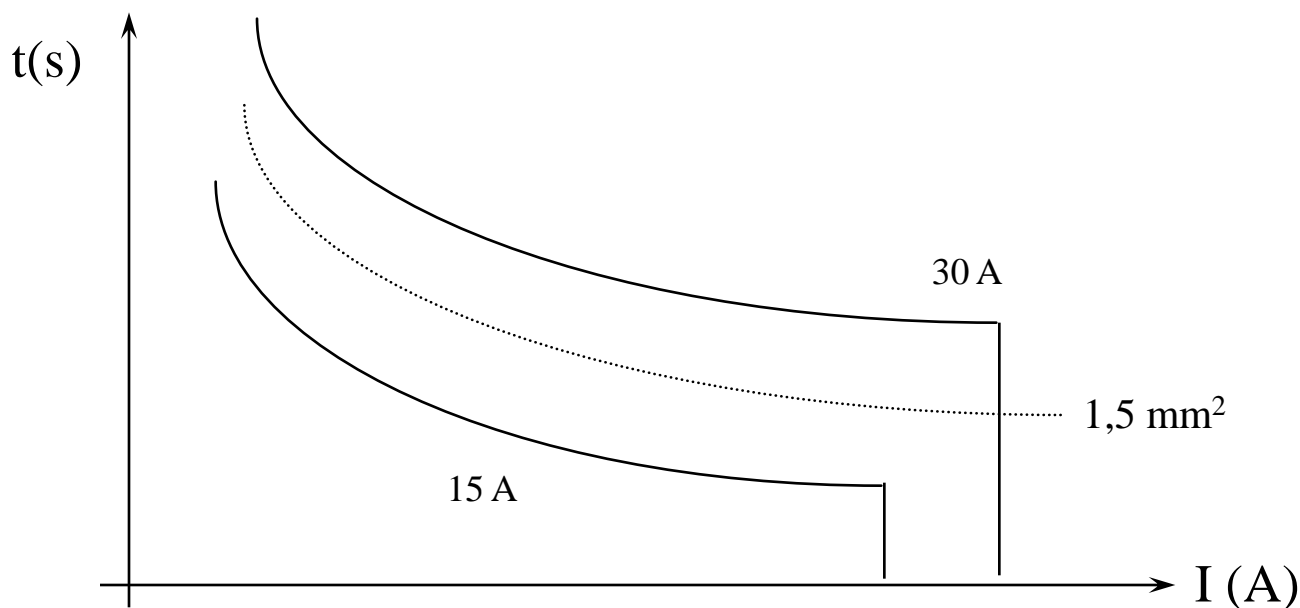


4. COORDENAÇÃO DA PROTEÇÃO



Proteção da instalação: - Seletividade
- Retaguarda

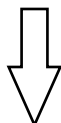
4.1 Sobrecarga





4.2 Curto-circuito

- elevadas correntes
- dispositivos devem atuar em tempos reduzidos



- Toleram-se temperaturas superiores às de operação em regime (PVC: 150 °C)
- Hipótese adiabática:

$$[\text{Calor produzido}] = [\text{Calor armazenado}]$$

$$R_{cond} \cdot I^2 \cdot t = (Q_{cond} + Q_{iso}) \cdot \Delta T$$

$$I^2 \cdot t = \frac{(Q_{cond} + Q_{iso}) \cdot \Delta T}{R_{cond}} = \text{const}$$

R_{cond} deve ser calculada na temperatura máxima especificada (150 °C)

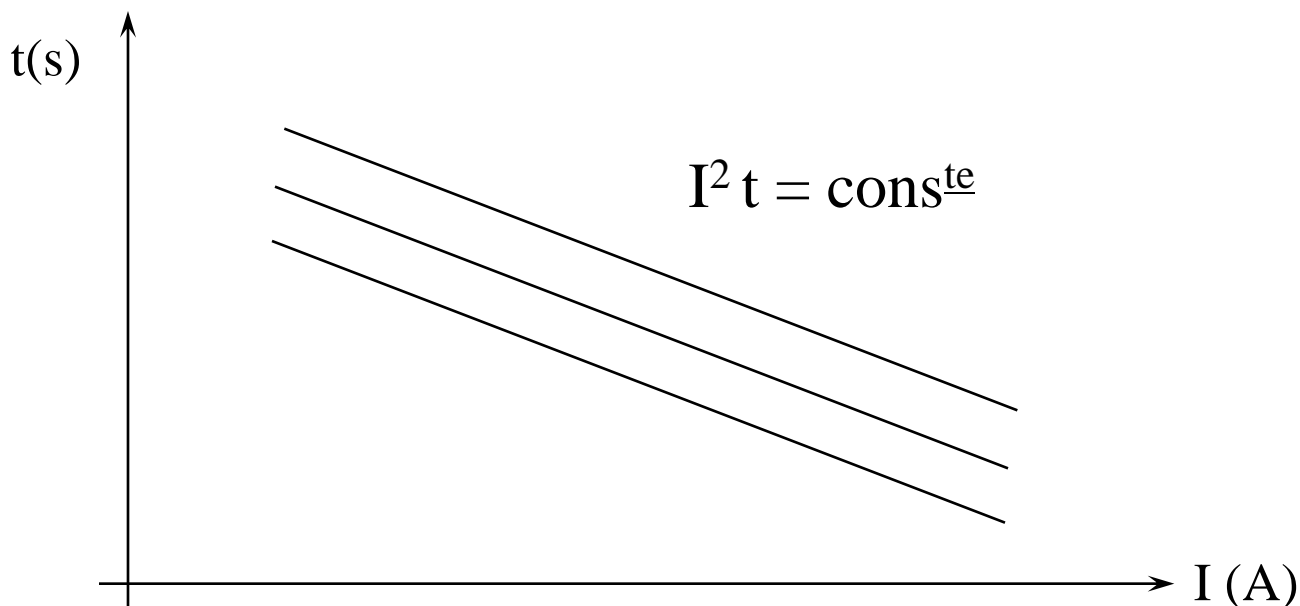


4.2 Curto-circuito

Em papel log-log, a equação

$$I^2 \cdot t = \text{const}$$

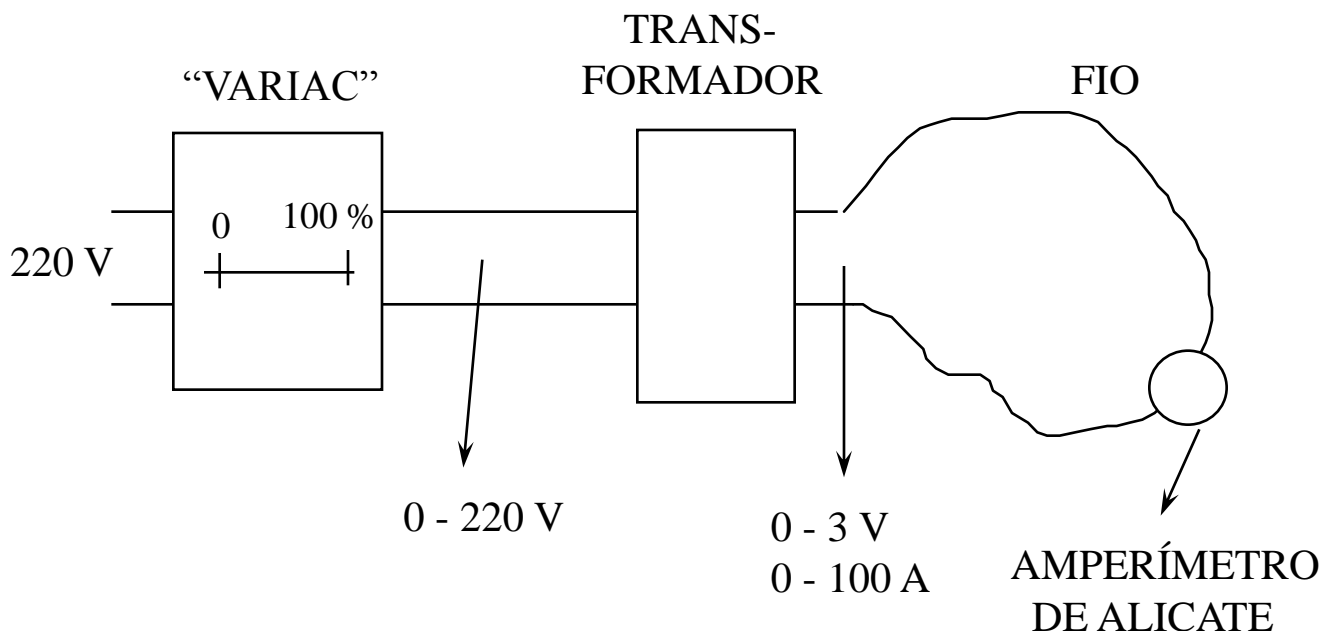
é representada por uma reta com inclinação igual a 117° ($\tan 117^\circ \cong -2$).





LABORATÓRIO

1. Equipamento



2. Procedimento Experimental

2.1 - Condutores

2.2 - Dispositivos de Proteção

2.3 - Coordenação da Proteção