

## PEA - LABORATÓRIO DE ELETROTÉCNICA GERAL

### CONDUTORES E DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO

Código: CDP

RELATÓRIO

NOTA

.....

Grupo:.....  
.....  
.....  
.....

Professor:.....Data:.....

Objetivo:.....  
.....  
.....  
.....

**IMPORTANTE:** Em todas as medições, o amperímetro de alicate deverá ser colocado no cabo de 16 mm<sup>2</sup> (cabo mais grosso), **e não no fio de 1,5 mm<sup>2</sup>**. O fio de 1,5 mm<sup>2</sup> alcança temperaturas mais elevadas, podendo causar o derretimento da capa amarela de proteção do alicate.

1. Levantamento de curva de aquecimento de um fio isolado ao ar livre.

1.1 Dados:

Diâmetro externo do condutor	$D_{\text{cond.}} = 1,4 \text{ mm}$
Diâmetro externo do fio	$D_{\text{fio}} = 2,7 \text{ mm}$
Temperatura máxima de operação(PVC)	$T_{\text{cond máx}} = 70^{\circ}\text{C}$
Resistividade ôhmica do cobre a 20°C	$\rho_{20^{\circ}\text{C}} = 0,017241\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$
Resistividade térmica do isolante	$\rho_{\text{iso}} = 6,0^{\circ}\text{Cm/W}$
Capacidade térmica específica do cobre	$c_{\text{cond}} = 3,45 \cdot 10^6 \text{ J/}^{\circ}\text{Cm}^3$
Capacidade térmica específica do isolante	$c_{\text{iso}} = 1,70 \cdot 10^6 \text{ J/}^{\circ}\text{Cm}^3$
Constantes da geometria da instalação para um fio isolado ao ar livre ( tabela - IEC )	$E = 3,94$ $g = 0,60$ $z = 0,21$

## 1.2 Calcular

Resistência ôhmica do condutor à temperatura máxima de operação

$$S_{cond} = \pi \cdot \left(\frac{D_{cond}}{2}\right)^2 = \dots\dots\dots mm^2$$

$$R_{cond}(T_{cond\ max}) = \frac{\rho_{20^\circ C}}{S_{cond}} \cdot [1 + 0,00393 \times (T_{cond\ max} - 20)] = \dots\dots\dots \Omega / m$$

Resistência térmica do isolante

$$R_{tiso} = \frac{\rho_{iso}}{2\pi} \ln \frac{D_{fio}}{D_{cond}} = \dots\dots\dots ^\circ C m / W$$

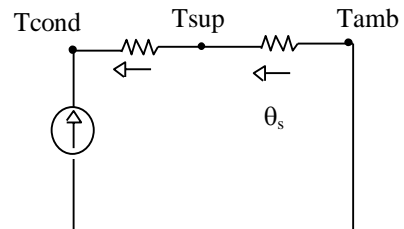
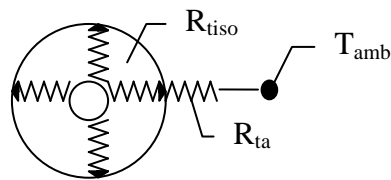
Resistência térmica do ar

$$T_{amb} = \dots\dots\dots ^\circ C$$

$$h = \frac{z}{(10^{-3} \cdot D_{fio})^g} + E = \dots\dots\dots$$

$$\theta_s = T_{sup.iso} - T_{amb} = 15^\circ C \text{ (valor adotado)}$$

$$R_{tar} = \frac{10^3}{\pi \times D_{fio} \times h} \times \theta_s^{-0.25} = \dots\dots\dots ^\circ C m / W$$



**Figura 1**

$\theta_s$  = elevação de temperatura da superfície da isolação sobre o ambiente ( $^\circ C$ );

$h$  = coeficiente de dissipação de calor.

Capacidade térmica do condutor

$$Q_{cond} = 10^{-6} \times c_{cond} \times S_{cond} = \dots\dots\dots J / ^\circ C m$$

Capacidade térmica da isolação

$$Q_{iso} = 10^{-6} \times c_{iso} \times S_{iso} = 10^{-6} \times c_{iso} \times \frac{\pi}{4} \times (D_{fio}^2 - D_{cond}^2) = \dots\dots\dots J / ^\circ C m$$

Corrente admissível :

A curva de aquecimento do condutor é dada por:

$$\theta(t) = T_{cond}(t) - T_{amb} = R_{cond} \times I^2 \times (R_{tiso} + R_{tar}) \times \left[ 1 - e^{-\frac{t}{(R_{tiso} + R_{tar}) \times (Q_{cond} + Q_{iso})}} \right]$$

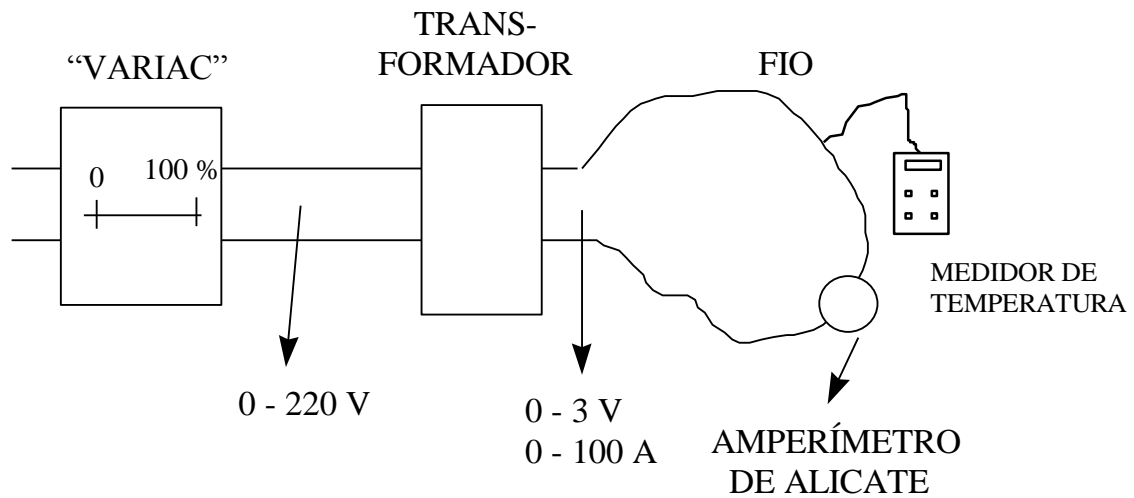
Decorrido um intervalo de tempo suficientemente grande ( $t \rightarrow \infty$ ), resulta:

$$I_{adm}^2 = \frac{T_{cond\ max} - T_{amb}}{R_{cond} \times (R_{tiso} + R_{tar})}$$

$$I_{adm} = \dots\dots\dots A$$

### 1.3 Procedimentos

Faça a montagem apresentada na figura 2:



**Figura 2**

- a) Levantar a curva de elevação de temperatura do fio  $\theta(t)$ , para 1 fio ao ar livre, impondo a corrente constante e igual a  $I_{adm}$  calculada no item anterior. Completar a primeira coluna da Tabela 1.

Tempo(s)	Temperatura (°C)		
	1 fio ao ar livre prático	1 fio ao ar livre teórico	2 fios em eletroduto prático
0			
10			
20			
30			
40			
50			
60			
90			
120			
150			
180			
210			
240			
270			
300			
330			
360			

**Tabela 1**

- b) Determinar experimentalmente a corrente que resulta em temperatura de regime de 70°C. Para isto, variar o valor da corrente com o uso do variac, até que a temperatura medida se estabilize em torno de 70°C.

$$I_{\text{EXP adm(1 fio)}} = \dots\dots\dots A$$

- c) Com a aplicação da expressão teórica, completar a segunda coluna da Tabela 1. (Substituir, na expressão abaixo, os valores de tempo t da Tabela 1, calculando os valores correspondentes de  $T_{\text{cond}}(t)$ . Utilizar  $I = I_{\text{adm}}$  calculada anteriormente.)

$$\theta(t) = T_{\text{cond}}(t) - T_{\text{amb}} = R_{\text{cond}} \times I^2 \times (R_{\text{tiso}} + R_{\text{tar}}) \times [1 - e^{-\frac{t}{(R_{\text{tiso}} + R_{\text{tar}}) \times (Q_{\text{cond}} + Q_{\text{iso}})}}]$$

- d) Comentar os resultados, comparando os resultados dos itens a), b), c):

.....  
.....  
.....  
.....

## 2. Levantamento de curva de aquecimento de dois fios isolados em eletroduto

Observação: a expressão da elevação de temperatura do fio utilizada no item anterior foi deduzida para 1 fio ao ar livre, não sendo aplicável a 2 fios em um eletroduto.

2.1 Levantar a curva de elevação de temperatura do fio, para 2 fios isolados em eletroduto, impondo a corrente constante igual a  $I_{adm}$  calculada no item 1. Completar a terceira coluna da Tabela 1.

2.2 Ajustar a corrente para que, em regime permanente, o fio opere a 70°C.

$$I_{EXP adm (2 fios)} = \dots\dots\dots A$$

### 2.3 Comparar:

a)  $I_{EXP adm (1 fio)}$  e  $I_{EXP adm (2 fios)}$

.....  
.....  
.....

b)  $I_{EXP adm (2 fios)}$  e Corrente Admissível (Tabelas A, B e C - Anexo - reproduzidas da norma NB-3)

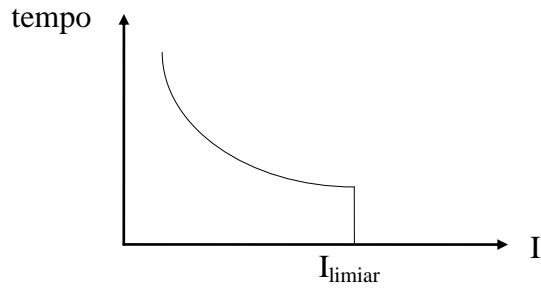
.....  
.....  
.....

### 2.4 Comentar os resultados.

.....  
.....  
.....  
.....

## 3. Levantamento da curva de Tempo X Corrente de disjuntor de baixa tensão

3.1 Determinar aproximadamente o limiar de atuação da proteção magnética do disjuntor de 15A. Para tanto, deve-se iniciar o experimento com uma corrente elevada (maior que 50A) e observar que a abertura do disjuntor é imediata (atuação do elemento magnético - proteção contra curto-circuito). Para isso, ajustar a posição do variac experimentalmente. A partir desse ponto devemos diminuir o valor da corrente até a obtenção de uma corrente mínima ( $I_{limiar}$ ) onde a abertura do disjuntor continua imediata, conforme a figura 3.



**Figura 3**

$I_{limiar} = \dots\dots\dots A$

3.2 Levantar a curva Tempo X Corrente do disjuntor de 15A, a partir do valor de corrente determinado no item anterior e diminuindo sucessivamente a corrente. Considerar um mínimo de 5 pontos até o limite inferior de 25A. Completar a Tabela 2 e traçar o gráfico Tempo X Corrente na figura 4.  
**ATENÇÃO:** para cada ponto obtido, permitir o resfriamento do disjuntor por um tempo mínimo de 2 minutos.

Corrente (A)	Tempo(s)

**Tabela 2**

4. Coordenação da proteção

4.1 Considerando a equação

$$\theta(t) = T_{cond}(t) - T_{amb} = R_{cond} \times I^2 \times (R_{tiso} + R_{tar}) \times [1 - e^{-\frac{t}{(R_{tiso} + R_{tar}) \times (Q_{cond} + Q_{iso})}}]$$

completar a Tabela 4 e traçar na figura 4 a curva teórica Tempo x Corrente do fio, atendendo a restrição de que sua temperatura nunca ultrapasse o máximo admissível (70°C).

(NOTA: Embora não esteja sendo considerado nesta experiência, o fio em regime transitório pode, durante pequenos intervalos de tempo, suportar temperaturas superiores à máxima admissível em regime de operação normal).

Tempo(s)	Corrente (A)
30	
20	
10	
5	
4	
3	
2	
1	

**Tabela 4**

4.2 Utilizando o gráfico da figura 4, verificar:

a) seletividade entre os disjuntores de 15A e 30A

.....  
 .....

b) adequação dos disjuntores de 15A e 30A para proteger o fio de 1,5mm<sup>2</sup>

.....  
 .....

4.3 Ligar o fio de 1,5mm<sup>2</sup> em série com o disjuntor de 15A e impor corrente de 50A. Verificar se o disjuntor abre antes ou depois da temperatura do condutor alcançar 70°C. Comentar:

.....  
 .....

4.4 Substituir o disjuntor de 15A pelo de 30A e repetir o item anterior. Comentar. (Obs: se o disjuntor não interromper o circuito e a temperatura no condutor ultrapassar um valor de 80°C, desligue o circuito).

.....  
 .....

4.5 Comentar os resultados

.....  
 .....  
 .....

5. Conclusões

.....  
 .....  
 .....  
 .....  
 .....

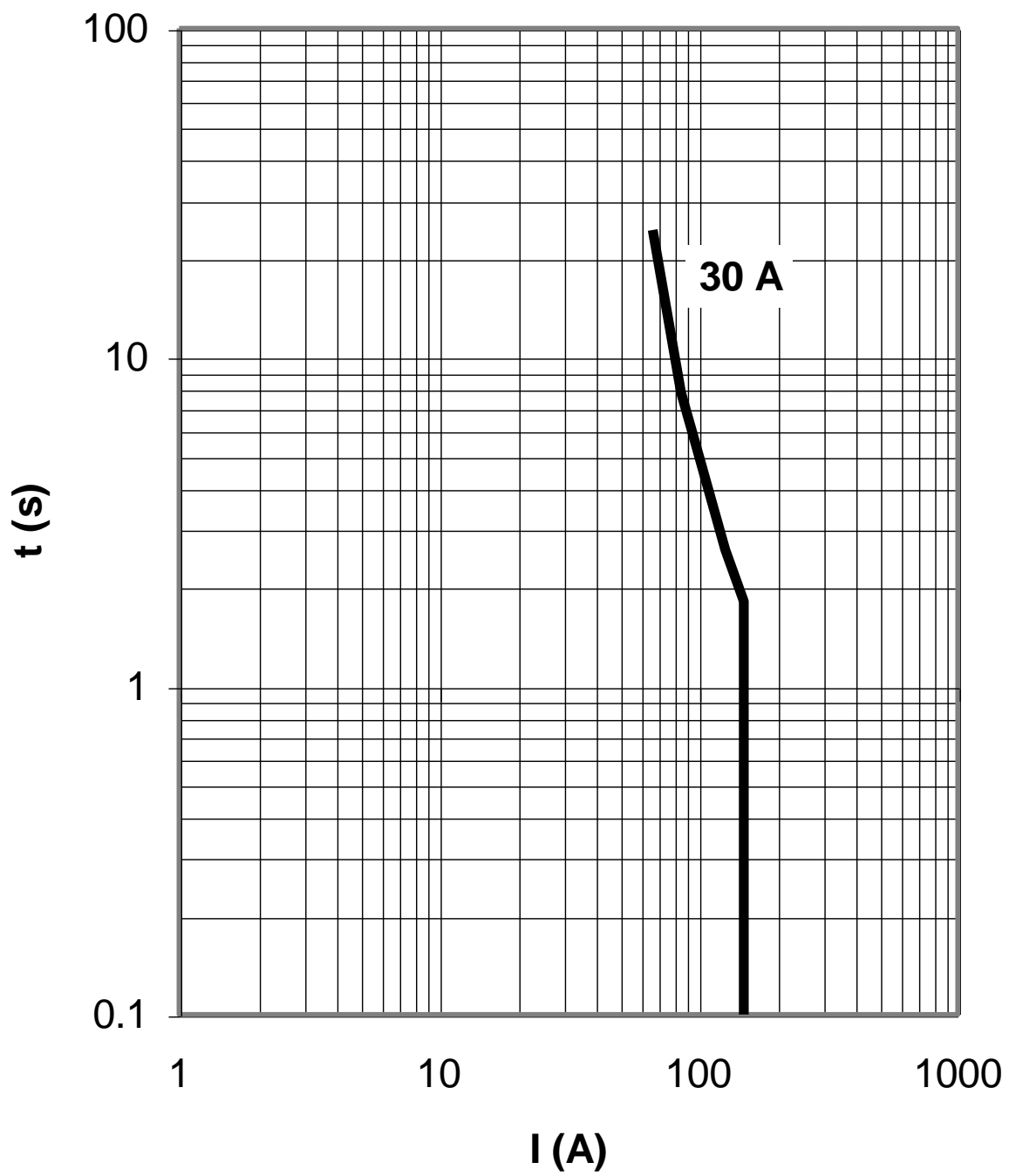


Figura 4