

Integrantes do grupo:	No. USP
------------------------------	----------------

EXPERIMENTO: CONDUTORES E DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO (CDP_EA)

ROTEIRO DE LABORATÓRIO

Instruções de segurança:

Em todas as medições, o amperímetro de alicate deverá ser colocado no cabo de 16 mm² (cabo mais grosso), **e não no fio de 1,5 mm²**. O fio de 1,5 mm² alcança temperaturas mais elevadas, podendo causar o derretimento da capa plástica de proteção do alicate.

1. Curva experimental de aquecimento de um fio isolado ao ar livre

- 1.1. Executar e/ou conferir a montagem representada na figura 1, identificando os diversos componentes. Se o disjuntor bipolar estiver na posição “ligado”, desligá-lo. O cursor do *variac* deve estar na posição de mínima saída.

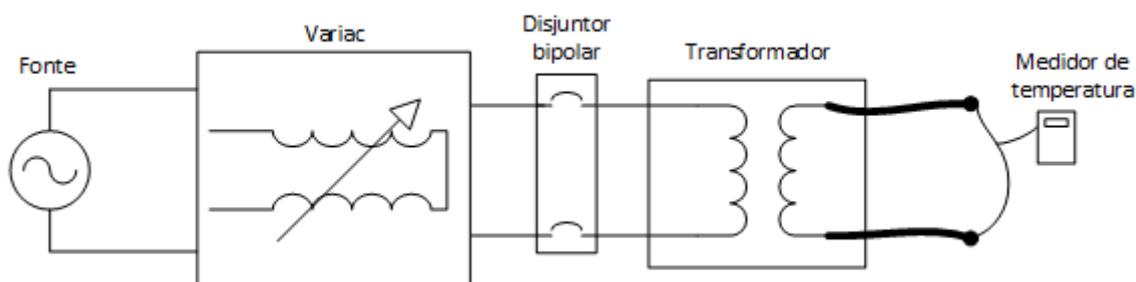


Figura 1 - Montagem para levantamento de curva de aquecimento de condutor

- 1.2. Inicialmente, anotar a temperatura ambiente, que é a leitura do medidor de temperatura antes de energizar a montagem. Em seguida, selecionar o valor de $I_{adm,regime,teo}$ correspondente a essa temperatura, de acordo com os cálculos pré-laboratório. Certificar-se de que o fio ligado ao medidor de temperatura está fora do eletroduto e não muito curvado. Energizar a fonte que alimenta o *variac*. Ligar o

disjuntor bipolar da saída do *variac*. Ajustar a corrente no fio de 16 mm² para $I_{adm,regime,teo}$, medindo com o alicate amperímetro e ajustando pelo cursor do *variac*. Após ajustar a corrente, desligar o circuito **pelo disjuntor bipolar** da saída do *variac* e aguardar até que a temperatura do fio retorne à temperatura ambiente.

Atenção:

Deve-se levar em conta que, devido ao aumento de resistência do condutor e à baixa tensão fornecida pelo transformador, a corrente irá diminuindo paulatinamente. Para manter a corrente constante no valor especificado, ela deve ser continuamente medida com o alicate amperímetro, ajustando levemente o controle do *variac* quando necessário.

- 1.3. Levantar a curva de aquecimento em intervalos de tempo, preenchendo a tabela 1 a seguir, impondo o valor de corrente $I_{adm,regime,teo}$ constante. Observar que valores teóricos dessa curva foram obtidos no pré-relatório, ainda que a temperatura ambiente medida seja ligeiramente diferente da prevista.

Tabela 1 - Curva de aquecimento de um fio isolado ao ar livre

Tempo (s)	Temperatura (°C)
0	
10	
20	
30	
40	
50	
60	
90	
120	
150	
180	
210	
240	
270	
300	
330	
360	

- 1.4. Caso a temperatura final da medição anterior seja inferior a 70 °C, eleve gradualmente a corrente no fio até que a temperatura se **estabilize em 70 °C**. O valor de corrente obtido será a corrente admissível em regime contínuo do fio ao ar livre $I_{adm,regime,exp}$. Desligue a fonte de tensão da bancada.
- 1.5. Calcular o valor experimental da constante A (A_{exp}) a partir da corrente $I_{adm,regime,exp}$. Dica: usar a seguinte expressão:

$$A_{exp} = \frac{T_{cond,max,regime} - T_{amb}}{(I_{adm,regime,exp})^2}$$

- 1.6. A fim de agilizar as etapas seguintes do experimento, ajuste novamente o valor da corrente em $I_{adm,regime,teo}$.
- 1.7. Aguardar até que, com o circuito ainda desligado, a temperatura do fio retorne à temperatura ambiente. Caso necessário, utilizar os ventiladores disponibilizados. Em seguida, dobrar suavemente o trecho de fio ligado ao medidor de temperatura e introduzir no eletroduto. Seguindo o mesmo procedimento 1.2, levantar a curva de aquecimento para o condutor dentro do eletroduto, preenchendo a tabela 2 a seguir.

Tabela 2 - Curvas de aquecimento de dois fios (=fio dobrado) em eletroduto

Tempo (s)	Temperatura (°C)
0	
10	
20	
30	
40	
50	
60	
90	
120	
150	
180	
210	
240	
270	
300	
330	
360	

- 1.8. Determinar experimentalmente a corrente admissível em regime contínuo dos dois fios em eletroduto $I_{adm,regime,eletroduto}$, seguindo o mesmo procedimento 1.4. Desligar em seguida a fonte de tensão. Aguarde até que o fio de $1,5 \text{ mm}^2$ esfrie e desconecte-o do circuito, afrouxando os parafusos borboleta.

2. Levantamento da curva tempo x corrente de disjuntor de baixa tensão

- 2.1. Executar a montagem da figura 2. Observar que o disjuntor de 15 A (um dos dois disponíveis) e a chave já estão instalados na placa utilizada no experimento. Verificar as conexões já realizadas através dos parafusos borboleta.

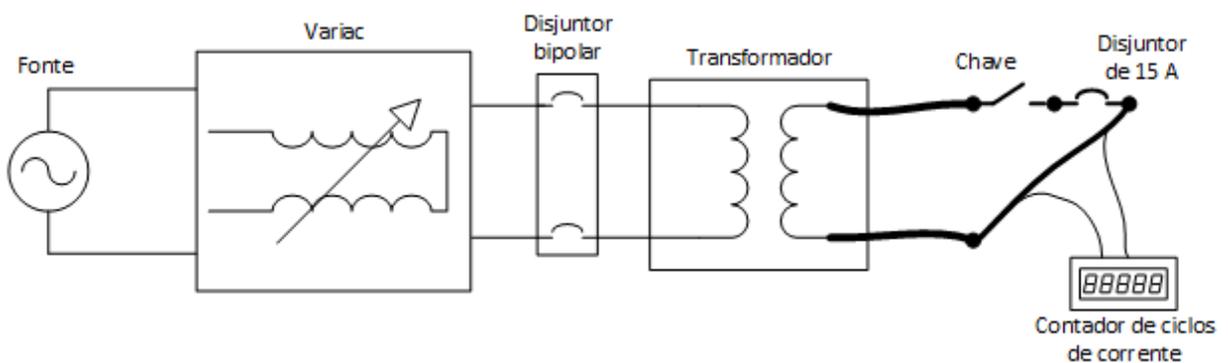


Figura 2 - Montagem para levantamento de curva tempo x corrente de disjuntor de baixa tensão

- 2.2. Determinar aproximadamente o limiar de atuação da proteção magnética do disjuntor de 15 A. Para isso, utilizar o alicate amperímetro com a opção “Peak hold” ativada, energizar o circuito e verificar o número de ciclos até a atuação do disjuntor. O tempo de atuação do disjuntor é medido pelo contador de ciclos ($1 \text{ ciclo} = 1/60 \text{ s}$). Iniciar o experimento com uma corrente elevada (maior que 50 A) e observar que a abertura do disjuntor é imediata. A partir desse ponto, diminuir o valor da corrente até a obtenção de uma corrente mínima (I_{limiar}) onde a abertura do disjuntor continua imediata, conforme ilustrado na figura 3. Observação: um tempo de atuação de 2 segundos ou menos já é considerado imediato para um disjuntor dessa categoria.

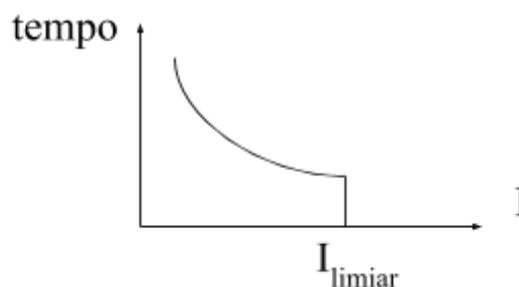


Figura 3 - Limiar de atuação da proteção magnética

2.3. Levantar a curva tempo x corrente do disjuntor de 15 A, a partir do limiar de atuação e diminuindo sucessivamente a corrente. Considerar um mínimo de 5 pontos até o limite inferior de 25 A. Completar a tabela 3 a seguir.

Atenção:

Para cada ponto obtido, permitir o resfriamento do disjuntor por um tempo mínimo de 2 minutos.

Tabela 3 - Curva tempo x corrente do disjuntor de 15 A

Corrente (A)	Tempo(s)

3. Corrente admissível em regime cíclico de carga

3.1. Considere o regime cíclico de carga representado na figura 3.

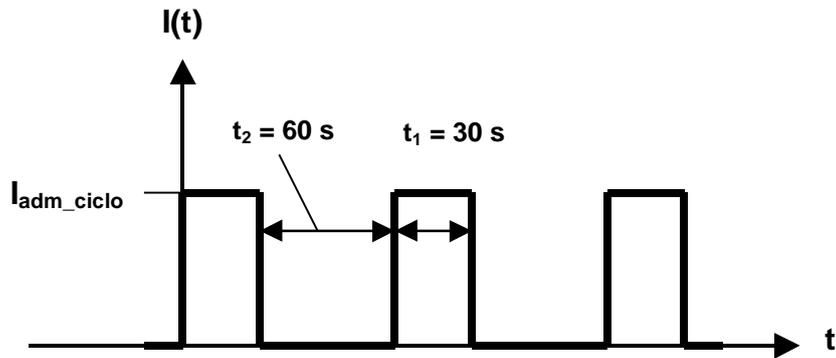


Figura 3 – Ciclo de carga

3.2. Calcule o valor da corrente admissível no regime da Figura 3 (I_{adm_ciclo}), utilizando os parâmetros obtidos experimentalmente (A_{exp} e B_{exp}).

Para tanto, admita que no instante final do período em que a corrente é aplicada (t_1), a temperatura do condutor é T_{cond_max} ($= 70\text{ }^{\circ}\text{C}$), conforme ilustra a figura 4).

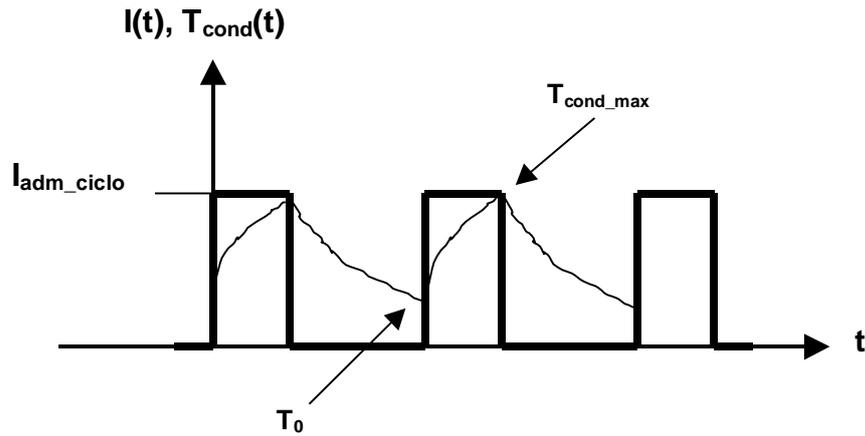


Figura 4 - Ciclo de carga e ciclo de temperatura

Para a fase de aquecimento tem-se:

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

Para a fase de resfriamento tem-se:

$$T_{cond}(t_2) = T_0 = T_{amb} + (T_{cond_max} - T_{amb}) \cdot e^{-\frac{t_2}{B_{exp}}} \quad (2)$$

Substituindo (2) em (3) resulta:

$$I_{adm_ciclo} = \sqrt{\frac{(T_{cond_max} - T_{amb}) \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1+t_2}{B_{exp}}}\right)}{A_{exp} \cdot \left(1 - e^{-\frac{t_1}{B_{exp}}}\right)}} = I_{adm_cont_e} \cdot \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{t_1+t_2}{B_{exp}}}}{1 - e^{-\frac{t_1}{B_{exp}}}}} \quad (3)$$

Note que, para $t_2 \rightarrow 0$ (eliminação do período de resfriamento), (3) fornece a corrente admissível em regime contínuo.

3.3. Estime o fator de aumento da corrente admissível devido ao ciclo de carga.

$$f = \frac{I_{adm_ciclo}}{I_{adm_cont_e}} = \sqrt{\frac{1 - e^{-\frac{t_1+t_2}{B_{exp}}}}{1 - e^{-\frac{t_1}{B_{exp}}}}} \quad (4)$$

3.4. Imponha ao fio o ciclo de carga da Figura 3. Imponha inicialmente a corrente I_{adm_ciclo} e, quando a temperatura do condutor alcançar T_{cond_max} (70 °C), desligue o variac e inicie a contagem de tempo do primeiro período de resfriamento. A partir deste ponto ligue e desligue o variac nos instantes especificados e meça a temperatura do condutor, lançando os valores na tabela 4.

Tabela 4 - Temperaturas inicial e final em cada ciclo

Ciclo	1	2	3	4	5
T_{cond_max} (°C)	70				
T_0 (°C)					

4.Coordenação da proteção

4.1. Substituir o contador de ciclos pelo fio de 1,5 mm² (juntamente com o medidor de temperatura) em série com o disjuntor de 15 A, conforme figura 5, e impor corrente de 50 A. Verificar se o disjuntor abre antes ou depois da temperatura do condutor alcançar 70°C.

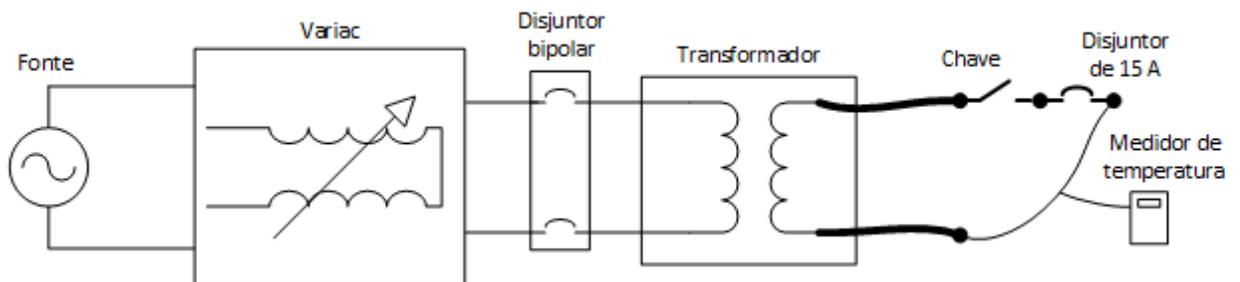


Figura 5 - Montagem para verificação da coordenação da proteção

4.2. Substituir o disjuntor de 15 A pelo de 30 A e repetir o item anterior, desligando o circuito caso a temperatura ultrapasse 80 °C.

Espaço para anotações. Recomenda-se ler também as questões do relatório pós-experimento, pois observações adicionais podem ser necessárias.