

# EUTRO À TERRA

Revista Técnico-Científica | N°1 | Abril 2008

*“É com grande satisfação que se inicia com esta revista, a que sugestivamente se chama “Neutro à Terra”, a publicação de um conjunto de documentos de carácter técnico-científico relacionados com as Instalações Eléctricas.”*

*Profº Beleza Carvalho*

MAIS EFICIENTE



MENOS EFICIENTE

**Eficiência Energética**  
Pág. 2



**Domótica**  
Pág. 4



**Segurança**  
Pág. 7



**Instalações Eléctricas**  
Pág. 14



**Telecomunicações**  
Pág. 18

- | 01 EDITORIAL  
Prof<sup>o</sup> José António Beleza Carvalho
- ARTIGOS TÉCNICOS
- | 02 A Concepção e Projecto de Instalações Eléctricas e o Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior em Edifícios  
Luís Castanheira - ISEP
- | 04 A Domótica ao Serviço da Sociedade  
Roque Brandão - ISEP
- | 07 Sistemas Automáticos de Detecção de Incêndio – Projecto e Execução  
António Gomes - ISEP
- | 14 O Aquecimento dos Condutores na Situação de Curto-Circuito  
Henrique Silva - ISEP
- | 18 Infra-estruturas de Telecomunicações em Edifícios – O Estado da Arte  
Manuel Cunha – Portugal Telecom

## FICHA TÉCNICA

DIRECTOR:	Prof <sup>o</sup> Beleza Carvalho
PAGINAÇÃO E GRAFISMO:	António Gomes
COLABORADORES:	Beleza Carvalho, Henrique Silva, Roque Brandão, Luís Castanheira, Sérgio Ramos, Manuel Cunha
PROPRIEDADE:	Área de Máquinas e Instalações Eléctricas Departamento de Engenharia Electrotécnica Instituto Superior de Engenharia do Porto
CONTACTOS:	jbc@isep.ipp.pt ; aag@isep.ipp.pt
DISTRIBUIÇÃO:	Gratuita por email

É com grande satisfação que se inicia com esta revista, a que sugestivamente se chama “Neutro à Terra”, a publicação de um conjunto de documentos de carácter técnico-científico relacionados com as Instalações Eléctricas. Pretende-se com esta publicação divulgar assuntos relativamente recentes neste sector da Engenharia Electrotécnica, tendo sempre a preocupação de se fazer uma abordagem técnico-científica aos diferentes assuntos em causa. Por outro lado, sempre que os assuntos o justifiquem, uma abordagem crítica, mas construtiva, de forma que esta publicação também possa ser vista como uma referência, a considerar pelas entidades competentes em assuntos relacionados com as Instalações Eléctricas.

A “Neutro à Terra” é uma publicação da responsabilidade de um grupo de docentes e investigadores do Departamento de Engenharia Electrotécnica do ISEP, que trabalham diariamente na área das Instalações Eléctricas, quer na leccionação de disciplinas desta área de especialização, quer em actividades de projecto, ou em actividades de investigação. Neste contexto, a “Neutro à Terra” destina-se a todos os profissionais deste sector, mas, fundamentalmente, aos engenheiros projectistas de instalações eléctricas e aos alunos de cursos de engenharia electrotécnica, particularmente dos cursos da área dos sistemas de energia.

Nesta primeira publicação, pode-se encontrar assuntos reconhecidamente importantes e actuais. O novo Sistema Nacional de Certificação Energética e da Qualidade do Ar Interior em Edifícios (SCE), tem importantes consequências ao nível da concepção e projecto de instalações eléctricas. No artigo apresentado, além do enquadramento regulamentar, refere-se o papel do técnico electrotécnico no âmbito do assunto em causa.

Outro assunto de grande interesse apresentado nesta publicação, tem a ver com a importância da domótica na concepção das instalações eléctricas. As exigências actuais em termos de conforto na utilização dos equipamentos eléctricos, aliado à necessidade de uma utilização cada vez mais eficiente da energia eléctrica, obrigam à necessidade de edifícios “inteligentes”. A domótica tem aqui um papel fundamental. No artigo apresentado aborda-se os principais sistemas disponíveis actualmente no mercado.

Garantir a segurança das pessoas e dos bens, particularmente contra o risco de incêndio, é actualmente um factor incontornável e, obrigatoriamente considerado, no âmbito da concepção e projecto das instalações eléctricas. Nesta publicação apresenta-se um artigo que aborda aspectos técnicos e conceptuais, ao nível do projecto e da instalação de sistemas automáticos de detecção de incêndios.

A necessidade do dimensionamento da protecção de canalizações eléctricas contra curto-circuitos, coloca-se sempre que há necessidade de elaborar um projecto de instalações eléctricas. O assunto está enquadrado regulamentarmente nas Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão. No entanto, no âmbito de estudos de investigação nesta área da engenharia electrotécnica, nem sempre este assunto é abordado com a profundidade desejável. Neste contexto, apresenta-se nesta publicação um artigo sobre o aquecimento dos condutores na situação de curto-circuito.

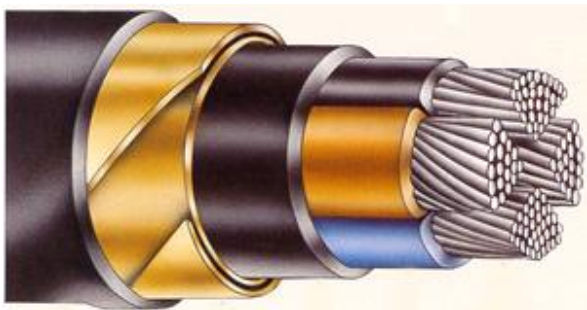
Finalmente, mas não menos importante, apresenta-se um artigo sobre infra-estruturas de telecomunicações em edifícios. O regulamento em vigor, publicado em 2005, tem suscitado várias dúvidas, sendo por vezes considerado algo ambíguo em determinados pontos. O artigo apresentado faz o estado da arte sobre o assunto.

Esperando que esta primeira publicação da “Neutro à Terra” satisfaça as expectativas dos nossos leitores, sejam eles especialistas, ou simplesmente pessoas interessadas nestes assuntos, apresento os meus cordiais cumprimentos.

Porto, Abril de 2008  
José António Beleza Carvalho

Henrique Ribeiro da Silva  
Instituto Superior de Engenharia do Porto

## O Aquecimento dos Condutores na Situação de Curto-Circuito



As Regras Técnicas das Instalações Eléctricas em Baixa Tensão, RTIEBT, apresentam no parágrafo 434.3.2 uma expressão que determina o tempo máximo de exposição de um condutor a uma corrente de curto-circuito, expressão esta conhecida por curva de fadiga térmica da canalização, função de diversas grandezas entre as quais a variável K por sua vez dependente da natureza da alma condutora e do isolamento.

Os valores de K vêm tabelados no mesmo parágrafo.

Vejamos como podemos obter esses valores mediante um estudo analítico dos fenómenos envolvidos.

Consideremos um condutor cilíndrico de secção S, comprimento l, resistividade  $\rho$ , submetido a uma tensão U e percorrido pela corrente I, figura 1.

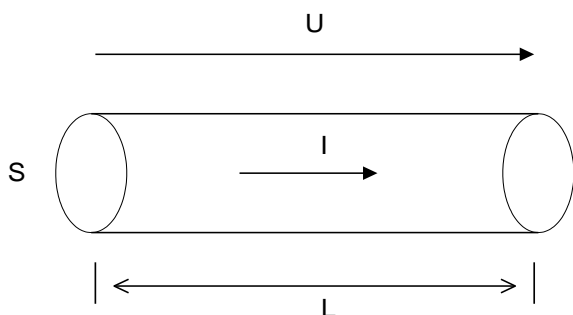


Figura 1 – Condutor cilíndrico homogêneo

A potência eléctrica fornecida ao condutor  $P=UI$  é transformada em calor pela conhecida lei de Joule  $P=RI^2$ .

Do calor gerado uma parte vai elevar a temperatura do condutor e a outra vai ser dissipada por radiação, convecção ou condução.

Podemos, então, escrever a seguinte relação:

$$P=UI=RI^2=P_1 + P_2$$

Eq. 1

em que P1 representa a potência responsável pelo aquecimento do condutor e P2 a fracção restante que é dissipada.

Em termos energéticos, considerando um intervalo de tempo infinitesimal, a equação que traduz o processo termodinâmico que decorre da passagem da corrente pode ser detalhado da forma seguinte:

$$RI^2 dt = P_1 dt + P_2 dt = mcd\vartheta_c + KS_d\vartheta dt$$

Eq. 2

Onde:

m – massa do condutor

c – calor específico

$\vartheta_c$  – temperatura do condutor

K – constante de Newton que traduz a potência dissipada por unidade de área e grau centígrado

$S_d$  – área lateral de dissipação do calor

$\vartheta$  – sobrelevação de temperatura do condutor, isto é,  $\vartheta = \vartheta_c - \vartheta_a$ , em que  $\vartheta_a$  é a temperatura ambiente que se considera inalterável (reservatório térmico de capacidade infinita)

(A fórmula correspondente ao termo P2 apenas contempla a potência dissipada por convecção.)

A situação de curto-circuito é uma ocorrência anómala caracterizada por elevadas correntes devidas normalmente a defeitos de isolamento.

Assim é necessário, para evitar danos maiores, que as protecções intervenham em tempos muito reduzidos. A legislação impõe que o corte se faça num tempo quando muito igual a 5 s.

Nestas condições é lícito supor que a transformação termodinâmica seja adiabática, isto é, que não haja permutação de calor com o exterior – o calor gerado servirá apenas para elevar a temperatura do próprio condutor. Esta é também a situação mais desfavorável, do ponto de vista das temperaturas atingidas, uma vez que com a passagem do tempo as trocas com o exterior serão inevitáveis, pelo que o dimensionamento segundo este pressuposto favorece a segurança da protecção.

Retomemos a eq. 2

$$RI^2 dt = V\gamma cd\vartheta_c + KS_d\vartheta dt = Slc_v d\vartheta_c + KS_d\vartheta dt$$

Eq. 3

O produto  $\gamma c$ , massa específica do material pelo seu calor específico, é designado por calor específico volumétrico  $c_v$ .

Onde:

V – volume do condutor

$\gamma$  – massa específica

S – secção do condutor

$c_v$  – calor específico volumétrico

Uma vez que consideramos o aquecimento adiabático, a parcela correspondente a P2 pode ser desprezada.

$$\frac{\rho_0(1 + \alpha\theta_c)l}{S} I^2 dt = Slc_v d\vartheta_c$$

Eq. 4

$$\rho_0(1 + \alpha\theta_c)I^2 dt = S^2 c_v d\vartheta_c$$

Eq. 5

Onde:

$\rho_0$  – resistividade a 0°C

$\alpha$  – coeficiente de termorresistividade do material

O aquecimento do condutor não depende do seu comprimento.

$$dt = \frac{S^2 c_v}{\rho_0(1 + \alpha\theta_c)I^2} d\vartheta_c$$

$$\tau = 1 + \alpha\theta_c \quad d\tau = \alpha d\vartheta_c \quad d\vartheta_c = \frac{d\tau}{\alpha}$$

Eq. 6

$$dt = \frac{S^2 c_v}{\rho_0 \alpha I^2} d\tau$$

Eq. 7

Com a mudança de variável operada podemos prosseguir para integração:

$$t = \frac{S^2 c_v}{\rho_0 \alpha I^2} \ln \tau + k_1$$

Eq. 8

em que  $k_1$  é uma constante de integração.

Neste ponto vamos fazer uma hipótese de trabalho que consiste em considerar que para o instante  $t=0$  de ocorrência do curto-circuito a temperatura do condutor é a sua temperatura de regime  $\theta_z$ .

$$0 = \frac{S^2 c_v}{\rho_0 \alpha I^2} \ln \tau_z + k_1$$

$$t = 0 \Rightarrow \vartheta_c = \vartheta_z \Rightarrow \tau = \tau_z$$

Eq. 9

Henrique Ribeiro da Silva  
Instituto Superior de Engenharia do Porto

$$k_1 = -\frac{S^2 c_v}{\rho_0 \alpha I^2} \ln \tau_z$$

Eq. 10

Substituindo este resultado na eq. 8:

$$t = \frac{S^2 c_v}{\rho_0 \alpha I^2} (\ln \tau - \ln \tau_z)$$

$$t = \frac{S^2 c_v}{\rho_0 \alpha I^2} \left( \ln \frac{\tau}{\tau_z} \right)$$

Eq. 11

Usando agora a definição de  $\tau$ :

$$t = \frac{S^2 c_v}{\rho_0 \alpha I^2} \left( \ln \frac{1 + \alpha \theta_c}{1 + \alpha \theta_z} \right)$$

Eq. 12

Se introduzirmos a grandeza  $\beta$  como sendo o inverso de  $\alpha$ , obteremos:

$$t = \frac{S^2 c_v \beta}{\rho_0 I^2} \left( \ln \frac{\beta + \theta_c}{\beta + \theta_z} \right)$$

Eq. 13

A eq. 13 pode ser reescrita na forma dada no parágrafo das Regras Técnicas acima citado.

$$t = \frac{k^2 S^2}{I^2}$$

$$k = \sqrt{\frac{c_v \beta}{\rho_0} \left( \ln \frac{\beta + \theta_c}{\beta + \theta_z} \right)}$$

Eq. 14

O  $k$  assim definido usa o valor da resistividade a 0º C,  $\rho_0$ . Normalmente a fórmula utiliza o valor a 20º,  $\rho_{20}$ .

Procedendo à substituição, obter-se-á:

$$\rho_{20} = \rho_0 (1 + \alpha 20)$$

$$\rho_0 = \frac{\rho_{20}}{1 + \alpha 20}$$

$$k = \sqrt{\frac{c_v (\beta + 20)}{\rho_{20}} \left( \ln \frac{\beta + \theta_c}{\beta + \theta_z} \right)}$$

Eq. 15

Uma vez que

$$\beta(1 + \alpha 20) = (\beta + 20)$$

Eq. 16

De notar que a expressão de  $k$  a que se chegou, eq. 15, se desenvolveu a partir da eq. 4 que considerava a resistividade a 0ºC. Se se tivesse partido com o seu valor a 20ºC, chegar-se-ia a uma expressão um pouco diferente:

$$k = \sqrt{\frac{c_v \beta}{\rho_{20}} \left( \ln \frac{\beta + \theta_c - 20}{\beta + \theta_z - 20} \right)}$$

Eq. 17

É fácil verificar que os  $k$  determinados pelas eq. 15 e 17 dão valores ligeiramente diferentes.

A razão prende-se com a fórmula da variação da resistividade com a temperatura.

De facto, a expressão geral da fórmula vem expressa por:

$$\rho_{\theta} = \rho_{\theta_1} [1 + \alpha(\theta - \theta_1)] = \rho_{\theta_1} + \rho_{\theta_1} \alpha(\theta - \theta_1)$$

Eq. 18

Ora esta fórmula não é senão a expansão em série de Taylor, considerados somente os dois primeiros termos, de  $\rho_{\theta}$  em torno do ponto  $\theta_1$ . O produto  $\rho_{\theta_1} \alpha$  corresponde à derivada de  $\rho_{\theta}$  em  $\theta_1$ . A linearização da função implica que o declive da recta seja constante, ou seja os produtos  $\rho_{\theta} \alpha$ , pelo que o

coeficiente de termorresistividade  $\alpha$  deve variar inversamente com  $\rho$ .

Assim sendo, a eq. 15 deverá ser escrita sob a forma mais correcta:

$$k = \sqrt{\frac{c_v(\beta_0 + 20)}{\rho_{20}} \left( \ln \frac{\beta_0 + \theta_c}{\beta_0 + \theta_z} \right)}$$

Eq. 15'

em que  $\beta_0$  é o inverso do coeficiente de termorresistividade  $\alpha$  a 0°C.

A eq. 15' está também em acordo com a norma CEI IEC 60 949 – Calculation of thermally permissible short-circuit currents, taking into account non-adiabatic heating effects (1ª ed. 1988).

No entanto, normalização de alguns países usa a expressão:

$$k = \sqrt{\frac{c_v(\beta_{20} + 20)}{\rho_{20}} \left( \ln \frac{\beta_{20} + \theta_c}{\beta_{20} + \theta_z} \right)}$$

Eq. 15''

Ou seja, usando o valor de  $\alpha$  a 20°C.

A expressão de  $k$  pode também apresentar-se numa forma simplificada como segue:

$$k = \sqrt{\frac{c_v(\theta_c - \theta_z)}{\rho_{eq}}}$$

Eq. 19

em que  $\rho_{eq}$  é um valor médio da resistividade, tomado para uma temperatura intermédia.

Cálculo dos KK

Vamos usar a eq. 15' do  $k$  para calcular os seus valores para os cabos mais utilizados:

$$k = \sqrt{\frac{c_v(\beta_0 + 20)}{\rho_{20}} \left( \ln \frac{\beta_0 + \theta_c}{\beta_0 + \theta_z} \right)}$$

Eq. 15'

Natureza do condutor	Cu		Al	
	PVC	XLPE	PVC	XLPE
Natureza do isolamento	PVC	XLPE	PVC	XLPE
Temperatura máxima de regime	70°	90°	70°	90°
Temperatura máxima de curto-circuito	160°	250°	160°	250°

Tab.1 Temperaturas de regime e de curto-circuito

Contudo, a norma CEI IEC 60 986 – Short-circuit temperature limits of electric cables with rated voltages from 6 kV (Um = 7,2 kV) up to 30 kV (Um = 36 kV), (Out. 2000), faz uma distinção para o caso de cabos isolados a Policloreto de Vinilo, PVC:

PVC	(PVC/B)	Temperatura máxima de cc (°C)
S ≤ 300 mm2		160
S > 300 mm2		140

Tab. 2 Temperaturas máx. de cc para o PVC

Natureza do condutor	Cu	Al
Calor específico volumétrico J/°C.mm³	3,45.10 <sup>-3</sup>	2,5.10 <sup>-3</sup>
Resistividade a 20° C Ω.mm	17,241.10 <sup>-6</sup>	28,264.10 <sup>-6</sup>
Resistividade a 0° C Ω.mm (calculado)	15,885.10 <sup>-6</sup>	26.10 <sup>-6</sup>
Coefficiente de termorresistividade a 20°C /°C	3,93.10 <sup>-3</sup>	4,034.10 <sup>-3</sup>
Coefficiente de termorresistividade a 0°C /°C (calculado)	4,265.10 <sup>-3</sup>	4,386.10 <sup>-3</sup>

Tab. 3 Características físicas do cobre e do alumínio

A Tab. 3 – a menos dos valores calculados – encontra-se definida como na citada norma CEI IEC 60 949.

A temperatura final do condutor será feita igual à máxima de curto-circuito e a inicial à máxima de regime permanente.

Natureza do condutor	Cu		Al	
	PVC	XLPE	PVC	XLPE
Natureza do isolamento	PVC	XLPE	PVC	XLPE
Valor de k (Eq. 15')	114,83	142,87	76,08	94,55
Valor de k (parágrafo 434.3.2 RTIEBT)	115	143	76	94
Valor de k (artº 580º DL 740/74)	115	135	74	87

Tab. 4 Comparação dos valores de k

Como se pode apreciar pela Tab. 4 os novos valores de  $k$  dados pelas RTIEBT estão bastante mais próximos dos valores teóricos calculados pela Eq. 15' que os valores anteriormente fornecidos pelo Regulamento de Instalações, o célebre 740/74, valores estes que ainda são os do Regulamento de Redes de BT, o DR nº 90/84.



