

NEUTRO À TERRA

Revista Técnico-Científica | Nº6 | Dezembro de 2010

<http://www.neutroaterra.blogspot.com>

“Mantendo o compromisso que temos convosco, voltamos à vossa presença com mais uma publicação. Esta já é a sexta publicação da revista “Neutro à Terra”. Os incentivos que temos recebido dão-nos a motivação necessária para continuarmos empenhados em fazer desta revista uma referência nas áreas da Engenharia Electrotécnica em que nos propomos intervir. Nesta edição merece particular destaque os assuntos relacionados com as instalações eléctricas, os veículos eléctricos, a domótica, os sistemas de segurança, as fibras ópticas e os mercados de energia eléctrica.”

Doutor Beleza Carvalho



**Instalações
Eléctricas**
Pág.5



**Máquinas
Eléctricas**
Pág. 17



Telecomunicações
Pág. 27



Segurança
Pág. 33



**Energias
Renováveis**
Pág. 45



Domótica
Pág.51



**Eficiência
Energética**
Pág. 60

EDITORIAL

Doutor José António Beleza Carvalho
Instituto Superior de Engenharia do Porto

ARTIGOS TÉCNICOS

- 05| Quedas de Tensão em Instalações Eléctricas de Baixa Tensão
Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva
António Augusto Araújo Gomes
Instituto Superior de Engenharia do Porto
- 17| Estruturas e Características de Veículos Híbridos e Eléctricos
Pedro Miguel Azevedo de Sousa Melo
Instituto Superior de Engenharia do Porto
- 27| Fibras Ópticas – O Paradigma
Eduardo Sérgio Correia
IEMS – Instalações de Electrónica Manutenção e Serviços, Lda
- 33| Segurança Contra Intrusão - Habitação
António Augusto Araújo Gomes
Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva
Instituto Superior de Engenharia do Porto
- 45| Tipos de Tecnologias de Turbinas utilizadas nas Centrais Mini-Hídricas
Pedro Daniel Soares Gomes
Pedro Gerardo Maia Fernandes
Nelson Ferreira da Silva
Instituto Superior de Engenharia do Porto
- 51| Domótica e a Requalificação de Edifícios
José Luís Faria
Touchdomo, Lda, Porto, Portugal
- 60| Extinção das tarifas reguladas no sector eléctrico
José Marílio Oliveira Cardoso
Instituto Superior de Engenharia do Porto

FICHA TÉCNICA

DIRECTOR:	Doutor José António Beleza Carvalho
SUB-DIRECTORES:	Engº António Augusto Araújo Gomes Engº Roque Filipe Mesquita Brandão Engº Sérgio Filipe Carvalho Ramos
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
PUBLICAÇÃO SEMESTRAL:	ISSN: 1647-5496

Caros leitores

Mantendo o compromisso que temos convosco, voltamos à vossa presença com mais uma publicação. Esta já é a sexta publicação da revista “Neutro à Terra”. Os incentivos que temos recebido dão-nos a motivação necessária para continuarmos empenhados em fazer desta revista uma referência nas áreas da Engenharia Electrotécnica em que nos propomos intervir. Nesta edição merece particular destaque os assuntos relacionados com as instalações eléctricas, os veículos eléctricos, a domótica, os sistemas de segurança, as fibras ópticas e os mercados de energia eléctrica.

O cálculo das quedas de tensão é fundamental na fase de projecto de instalações eléctricas, por um lado, de modo a garantir que as infra-estruturas definidas cumpram os requisitos regulamentares e, por outro lado, o bom funcionamento e a longevidade dos equipamentos e instalações. Nesta publicação, apresenta-se um artigo que especifica as metodologias de cálculo a que se deve atender no dimensionamento das quedas de tensão em redes de distribuição de energia eléctrica em baixa-tensão.

Um assunto que actualmente desperta grande interesse tem a ver com os veículos eléctricos. Nas últimas décadas tem-se assistido a um forte desenvolvimento dos veículos eléctricos, sobretudo das soluções híbridas, como resposta aos impactos ambientais e económicos dos combustíveis fósseis. Os desafios que se colocam no campo da engenharia são múltiplos e exigentes, motivados pela necessidade de integrar diversas áreas, tais como, novos materiais e concepções de motores eléctricos, electrónica de potência, sistemas de controlo e sistemas de armazenamento de energia. Nesta revista apresenta-se um artigo com as principais características dos veículos híbridos eléctricos e dos veículos puramente eléctricos.

O crescente aumento da criminalidade, com especial incidência nos crimes contra a propriedade, levou a um forte incremento na procura e instalação de Sistemas Automáticos de Detecção de Intrusão. A instalação de um sistema deste tipo torna-se, assim, fundamental como elemento de garantia do bem-estar e da segurança das pessoas, velando pela sua salvaguarda e pela salvaguarda dos seus bens, fazendo hoje parte dos sistemas aplicados no sector da habitação, serviços, comércio e indústria. Nesta publicação, apresenta-se um artigo que aborda os aspectos técnicos e conceptuais, ao nível do projecto e da instalação de Sistemas Automáticos de Detecção de Intrusão.

Outro assunto de grande interesse apresentado nesta publicação, tem a ver com a automatização das instalações habitacionais ou domésticas, impondo a necessidade de edifícios “inteligentes”. A domótica tem aqui um papel fundamental. O artigo que é apresentado refere um estudo teórico das tecnologias domóticas mais relevantes, de uma forma transversal e resumida, fazendo uma aproximação da realidade prática a nível de implementação das tecnologias domóticas em edifícios, permitindo um conhecimento abrangente e ao mesmo acessível a todos os interessados.

O sector eléctrico tem vindo a sofrer diversas alterações ao longo da sua existência tendencialmente no sentido do fomento da concorrência. Em Portugal a manifestação mais recente dessa tendência é corporizada na publicação do Decreto-Lei n.º 104/2010 que determina a extinção de tarifas reguladas com excepção dos consumidores domésticos. Esta é uma realidade que impõe aos clientes a procura de um comercializador em mercado liberalizado. Nesta publicação, apresenta-se um artigo que analisa a situação que se verifica actualmente neste sector em Portugal.

Nesta publicação da revista “Neutro à Terra”, pode-se ainda encontrar outros assuntos reconhecidamente importantes e actuais, como um artigo sobre Fibras Ópticas e um artigo sobre Tipos de Tecnologias de Turbinas utilizadas nas Centrais Mini-Hídricas. Nesta publicação dá-se também destaque a uma conferência organizada pela Associação Nacional dos Engenheiros Técnicos, subordinada ao tema Novo Regime ITED e ITUR para Engenheiros e Engenheiros Técnicos. Esta acção contou com o apoio do ISEP, através do Departamento de Engenharia Electrotécnica, bem como da Autoridade Nacional de Comunicações. Decorreu em 30 de Setembro no Centro de Congressos do ISEP. No âmbito do tema “Divulgação”, que pretende divulgar os laboratórios do Departamento de Engenharia Electrotécnica, onde são realizados vários dos trabalhos correspondentes a artigos publicados nesta revista, apresenta-se o Laboratório de Máquinas Eléctricas.

Esperando que esta edição da revista “Neutro à Terra” possa novamente satisfazer as expectativas dos nossos leitores, apresento os meus cordiais cumprimentos.

Porto, Dezembro de 2010

José António Beleza Carvalho



NOVO REGIME ITED E ITUR PARA ENGENHEIROS E ENGENHEIROS TÉCNICOS

No dia 30 de Setembro de 2010 teve lugar no Auditório Magno do ISEP – Instituto Superior de Engenharia do Porto, uma conferência organizada pela ANET – Associação Nacional dos Engenheiros Técnicos, subordinada ao tema “Novo Regime ITED e ITUR para Engenheiros e Engenheiros Técnicos”. Esta acção contou o apoio do ISEP bem como da ANACOM – Autoridade Nacional de Comunicações.



O programa deste evento contou com a presença de profissionais da área das infra-estruturas de telecomunicações em edifícios, bem com das instalações eléctricas.

A sessão de abertura foi presidida pelo Director do Departamento de Engenharia Electrotécnica do ISEP, Professor Doutor José Beleza Carvalho tendo sido coadjuvado pelo Eng.º Téc.º Sequeira Correia, S.R. Norte da ANET, Eng.º Vitor Brito, Vice Presidente da Ordem dos Engenheiros (OE), Eng.º Téc.º Pedro Brás, Vice-Presidente ANET, Eng.º Helder Leite, O.E S.R. Norte e pelo Eng.º António Vassalo, Director Fiscalização ANACOM.

Após o término da sessão de abertura deu-se seguimento às diversas apresentações:

- “Enquadramento estratégico e político visando o desenvolvimento das NGN”, Eng.º António Vassalo, Director Fiscalização ANACOM;
- “Regime jurídico ITED e ITUR”, Dr. Nuno Castro Luís, ANACOM;
- “Novo Regime Técnico ITED/ITUR”, Eng. António Vilas Boas, Profigaia;
- “O Ensino de Telecomunicações no ISEP”, Eng.º Sérgio Ramos, ISEP;
- “Regulação da Profissão na Engenharia”, Eng.º Téc.º Pedro Brás, Vice-Presidente ANET;
- “Novo Regime Posição da Ordem Engenheiros”, Eng.º Francisco Sanchez, Presidente do Conselho Nacional do Colégio de Eng.º Electrotécnica da Ordem dos Engenheiros;
- “Qualificações e Formação Obrigatória em ITED e ITUR”, Eng.º Téc.º Nuno Cota, Presidente do Colégio de Eng.º Electrónica e Telecomunicações da Associação Nacional dos Engenheiros Técnicos;
- “Novo Paradigma para a Formação ITED e ITUR para Engenheiros e Engenheiros Técnicos”, Eng.º Sérgio Queirós, Schumal.

No final das apresentações foram colocadas algumas questões ao painel de debate formado pelo Eng.º Téc.º Nuno Cota, Eng.º Francisco Sanchez, Eng.º António Vassalo e pelo Eng.º Sérgio Ramos – ISEP, tendo sido moderador deste painel o Eng.º António Gomes, ISEP.

A presença de, aproximadamente, quatro centenas de participantes ilustrou sobremaneira o interesse e importância, que as alterações introduzidas na legislação das infra-estruturas de telecomunicações em edifícios e urbanizações despertaram no seio da comunidade da engenharia electrotécnica.

QUEDAS DE TENSÃO EM INSTALAÇÕES ELÉCTRICAS DE BAIXA TENSÃO

1 ENQUADRAMENTO

Numa instalação eléctrica, por motivos técnicos e funcionais, a tensão aplicada aos terminais das cargas, isto é, dos equipamentos de utilização, deve manter-se dentro de determinados limites.

Cada equipamento possui uma tensão estipulada, fixada pela norma respectiva. A aplicação de tensões abaixo dos limites definidos, pode prejudicar o desempenho desses equipamentos, podendo reduzir a sua vida útil ou mesmo impedir o seu funcionamento.

As quedas de tensão nas instalações devem ser calculadas durante a fase de projecto, devendo ser cumpridos os limites máximos fixados pelos respectivos regulamentos aplicáveis.

2 QUEDA DE TENSÃO

Na dedução de uma fórmula aplicável à determinação da queda de tensão num circuito ter-se-ão em conta os seguintes pontos:

- Consideram-se sistemas trifásicos em regime equilibrado;

- Apenas se levam em conta as impedâncias longitudinais, resistências e indutâncias, desprezando-se as admitâncias transversais, perditâncias e capacitâncias. Em instalações de Baixa Tensão, o comprimento das canalizações não vai além das poucas centenas de metros e sendo a frequência utilizada a frequência industrial de 50Hz é possível desprezar, para as mais baixas secções, os efeitos da indutância, capacitância e pelicular, considerando-se assim os condutores como resistências puramente hómicas. Daí termos:

$$\bar{Z} = R + jX_L \cong R \quad \bar{Y} = G + jB_c \cong 0$$

- Tomar-se-á uma temperatura do condutor igual à máxima admissível em regime permanente.

Para o receptor da Fig. 1, a queda de tensão que importa observar é a diferença entre os valores absolutos das tensões à partida e à chegada, isto é,

$$|\bar{U}_0| - |\bar{U}_1|$$

Da figura 1 depreende-se que, atendendo à desigualdade triangular, a diferença entre as leituras dos voltímetros V0 e V1 há-de ser menor que a indicação do voltímetro Vz. Daí que esta tensão não nos interesse muito para o objectivo em vista, isto é, o do dimensionamento do cabo.

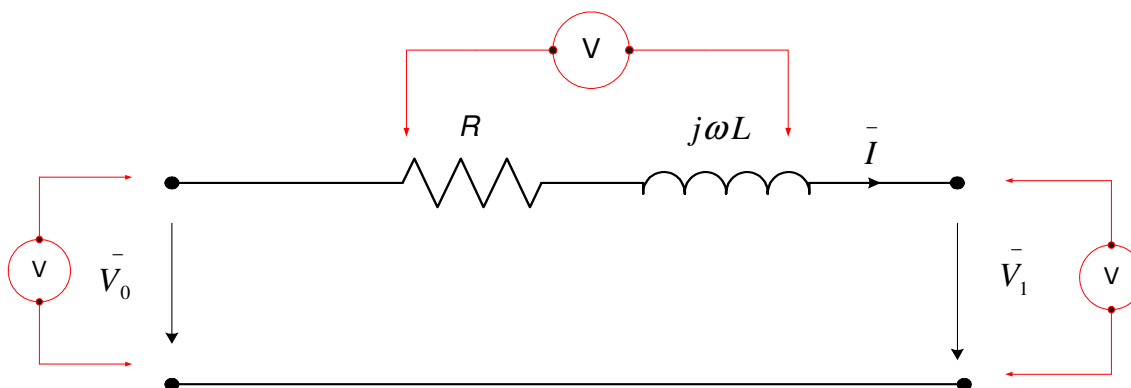


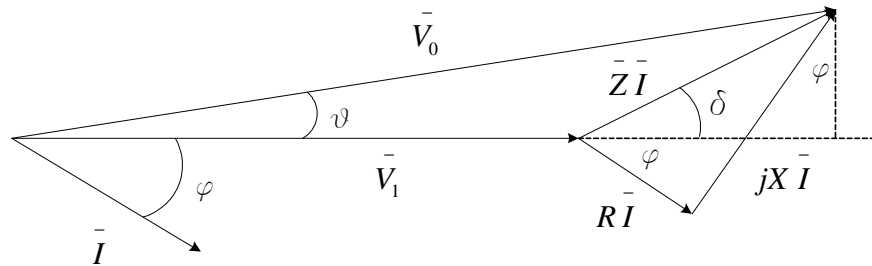
Fig. 1 – Circuito monofásico RL

Assim:

$$\bar{V}_0 = (R + jX) \bar{I} + \bar{V}_1 \quad \bar{I} = I e^{-j\varphi} = I \cos \varphi - j I \sin \varphi$$

$$\bar{V}_0 = RI \cos \varphi - jRI \sin \varphi + jXI \cos \varphi + XI \sin \varphi + \bar{V}_1$$

$$\bar{V}_0 = (RI \cos \varphi + XI \sin \varphi + \bar{V}_1) + j(XI \cos \varphi - RI \sin \varphi)$$



$$V_1 = V_0 \cos \theta - ZI \cos \delta$$

$$\sin \theta = \frac{ZI}{V_0} \sin \delta \quad \cos \theta = \sqrt{1 - \left(\frac{ZI}{V_0} \sin \delta \right)^2}$$

$$V_1 = V_0 \sqrt{1 - \left(\frac{ZI}{V_0} \sin \delta \right)^2} - ZI \cos \delta$$

k

Aplicando o teorema de Taylor ao desenvolvimento da raiz, resulta que:

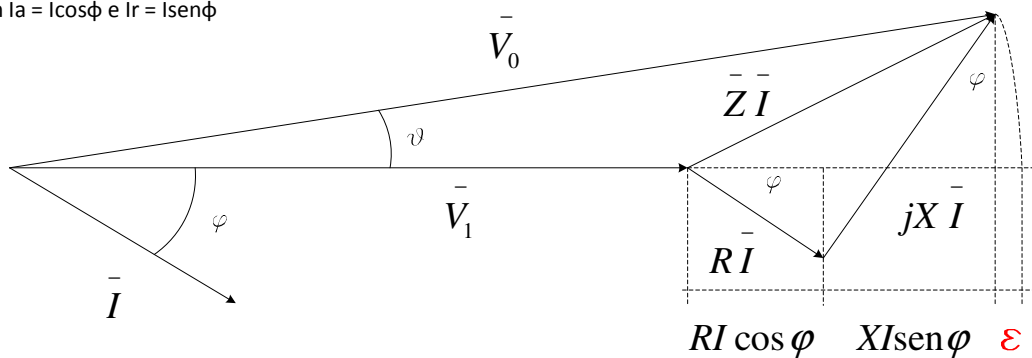
$$\sqrt{1+k} = 1 + \frac{1}{2}k - \frac{1}{8}k^2 + \frac{1}{16}k^3 - \frac{5}{128}k^4 + \dots \quad |k| < 1$$

$$V_0 - V_1 = ZI \cos \delta + \frac{(ZI \sin \delta)^2}{2V_0} + \frac{(ZI \sin \delta)^4}{8V_0^3} + \frac{(ZI \sin \delta)^6}{16V_0^5} + \frac{5 \times (ZI \sin \delta)^8}{128V_0^7} + \dots$$

$$V_0 - V_1 = RI_a + XI_r + \frac{(XI_a - RI_r)^2}{2V_0} + \frac{(XI_a - RI_r)^4}{8V_0^3} + \frac{(XI_a - RI_r)^6}{16V_0^5} + \frac{5 \times (XI_a - RI_r)^8}{128V_0^7} + \dots$$

ϵ

Com $I_a = I \cos \varphi$ e $I_r = I \sin \varphi$



Para correntes em atraso relativamente à tensão, φ positivos, e tendo em consideração que a queda de tensão máxima terá um valor pequeno, imposto pelos regulamentos técnicos, os termos não-lineares de I são desprezáveis face aos termos lineares.

Quando a corrente se encontra em avanço nada se pode dizer acerca da transcurabilidade dessas parcelas.

Exemplo:

Pretende-se calcular a queda de tensão no extremo de um cabo trifásico do tipo VV, 4 mm² de secção, comprimento 80 m, percorrido por uma corrente de 30 A, tensão de alimentação 400 V e as características do cabo, indicadas na tabela 1.

A tabela 2, apresenta os resultados (análise monofásica) obtidos.

Como se observa pelo quadro de resultados a fórmula

$$\Delta V = RI_a + XI_r$$

dá-nos valores bastante aproximados, fixando já os dois primeiros algarismos significativos.

Para um resultado mais correcto pode usar-se a fórmula .

$$\Delta V = RI_a + XI_r + \frac{(XI_a - RI_r)^2}{2V_0}$$

A expressão $\Delta V = RI_a$, apesar da sua simplicidade, pode empregar-se com vantagem em muitos casos, particularmente na BT e para secções de cabos suficientemente baixas, por permitir relacionar directamente a queda de tensão máxima com a secção do cabo a atribuir.

Tab. 1 – Características do cabo

Tipo	Secção mm ²	Comprimento m	Resistividade a 20°C Ωmm ² /m	Coeficiente temperatura °C ⁻¹	Resistência a 20°C Ω	Resistência a 70°C Ω	Reactância Ω
VV	4	80	17,241.10 ⁻³	3,93.10 ⁻³	0,3448	0,41257	6,4.10 ⁻³

Tab. 2 – Resultados do exemplo

V ₀ (V)	V ₁ (V)	ΔV (real)		ΔV (aproximação)					
		(V)	%	RI _a (V)	%	RI _a +XI _r (V)	%	RI _a +XI _r + $\frac{(XI_a - RI_r)^2}{2V_0}$ (V)	%
230	219,867	10,132	4,4	9,902	4,305	<u>10,017</u>	4,35	<u>10,132</u>	4,4

A expressão aproximada $\Delta V = RI_a + XI_r$ pode ser reescrita de modo a contemplar quer a situação da sua aplicação a um circuito trifásico, quer a um circuito monofásico, quer mesmo ao caso de um circuito de corrente contínua.

$$\Delta V = b \times \left(\rho_1 \times \frac{L}{S} \times \cos \varphi + \lambda \times L \times \sin \varphi \right) \times I_b$$

Onde:

- ΔV queda de tensão em V;
- B coeficiente igual a 1 para circuitos trifásicos e a 2 para monofásicos ou de corrente contínua;
- ρ_1 resistividade eléctrica dos condutores em serviço normal, em $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$;
- L comprimento simples da canalização, em m;
- S secção recta dos condutores, em mm^2 ;
- φ ângulo de esfasamento entre a tensão simples respectiva e a corrente (para corrente contínua $\varphi = 0$)
- λ reactância linear dos condutores (igual a 0 para circuitos de corrente contínua), em Ω/m ;
- I_b corrente de serviço, em A.

A queda de tensão percentual virá referida à tensão nominal do sistema:

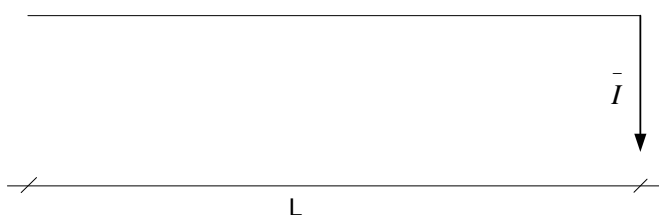
$$\Delta V_r = \frac{\Delta V}{U} \times 100\%$$

$U = U_0$, tensão simples em CA ou $U = U_N$, em CC

$$\Delta V_r = \frac{\sqrt{3} \times \Delta V}{U} \times 100\%$$

$U = U_c$, tensão composta em CA

Para a situação comum de uma linha alimentando uma carga na sua extremidade:



A partir da expressão

$$\begin{aligned} \Delta V &= RI \cos \varphi + XI \sin \varphi \\ &= rLI \cos \varphi + xLI \sin \varphi \\ &= rM_f + xM_q \end{aligned}$$

define-se a queda de tensão como a soma do produto do momento da componente em fase da corrente pela resistência linear com o produto do momento da componente em quadratura da mesma corrente pela reactância linear do cabo.

$$M_f = LI \cos \varphi$$

$$M_q = LI \sin \varphi$$

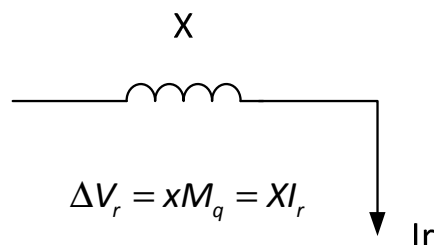
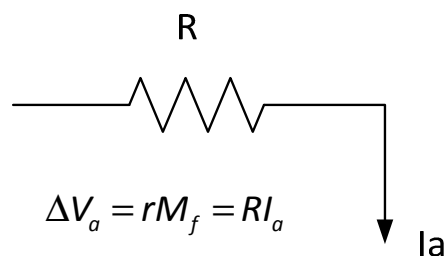
Donde:

$$\Delta V = \Delta V_f + \Delta V_q = \Delta V_a + \Delta V_r$$

$$\Delta V_a = RI \cos \varphi = RI_a$$

$$\Delta V_r = XI \sin \varphi = XI_r$$

Por aplicação do método da sobreposição é possível decompor a obtenção da queda de tensão mediante a resolução de dois circuitos:

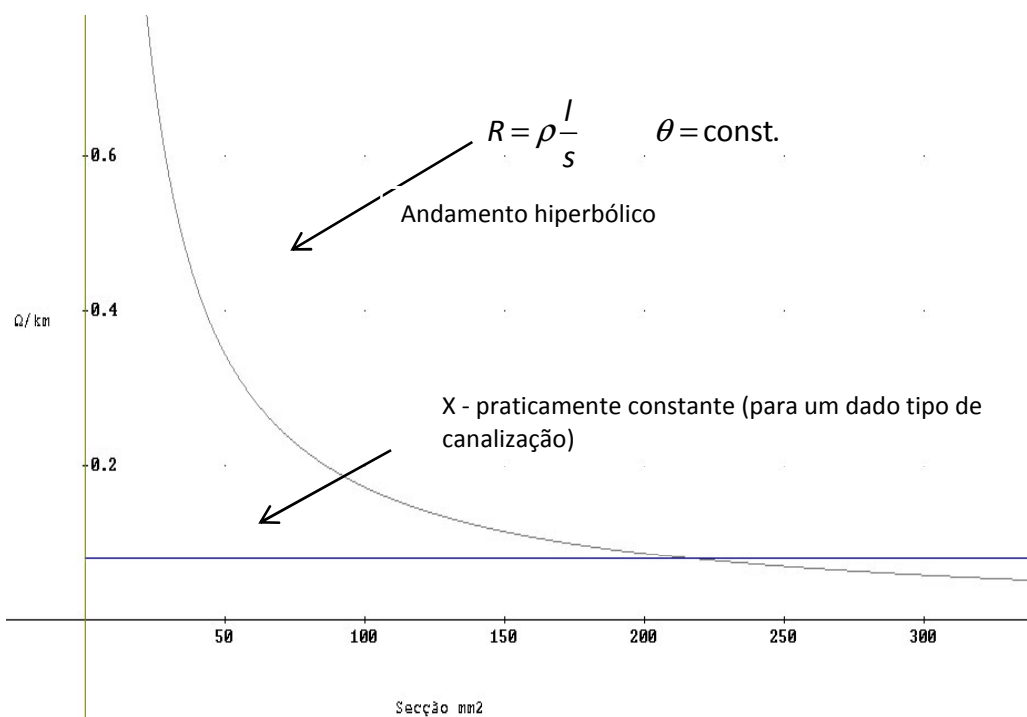


- Características da Impedância de um Cabo

A resistência e a reactância de um cabo são função da secção do condutor - $R=R(S)$ e $X=X(S)$.

Daí que sendo:

$$\Delta V = \Delta V(R, X) \quad \Delta V = \Delta V(S) \quad (\text{para uma dada corrente})$$



A figura abaixo apresenta a variação da resistência e reactância com a secção para o cabo VAV 0,6/1 kV, 4 condutores, a uma temperatura de cerca de 80° C. Impedâncias em $m\Omega/m$ e secções em mm^2 .

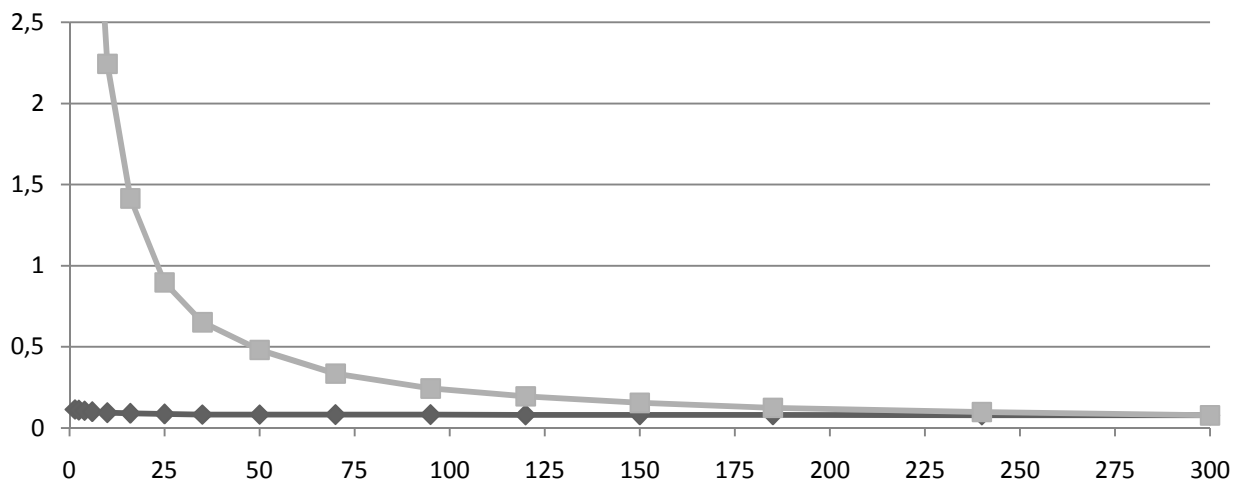


Fig. 2 – variação da resistência e reactância com a secção para o cabo VAV 0,6/1 kV, 4 condutores, a uma temperatura de cerca de 80° C

3. QUEDAS DE TENSÃO MÁXIMAS ADEQUADAS

3.1 REDES DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA EM BAIXA TENSÃO

Tendo em consideração o disposto no Regulamento de Seguranças de Redes de Distribuição de energia eléctrica em baixa tensão, aprovado pelo Decreto Regulamentar 90/84 de 26 de Dezembro e os documentos normativos do concessionário da rede de distribuição, DIT-C11-010/N, Maio 2006 - Guia Técnico de Urbanizações e DIT-C14-100/N MAI 2007 – Ligação de Clientes de Baixa Tensão, a queda de tensão total, desde o Posto de Transformação Público MT/BT até ao final da rede de Baixa Tensão, isto é, à Portinhola ou, quando esta não existir, ao Quadro de Colunas de um edifício ou aos terminais de entrada do contador, não deve ser superior a 8 %, sendo que a queda de tensão máxima no ramal¹ não deve ser superior a 2% da tensão nominal.

3.2 INSTALAÇÕES DE UTILIZAÇÃO DE ENERGIA ELÉCTRICA EM BAIXA TENSÃO

Tendo em consideração o disposto nas Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão, aprovadas pela

Portaria n.º 949-A/2006 de 11 de Setembro a queda de tensão máxima entre a origem da instalação² e qualquer ponto de utilização, expressa em função da tensão nominal da instalação, não deve ser superior aos valores indicados na tabela 1.

Ao abrigo do mesmo regulamento, em Instalações Colectivas e Entradas as secções dos condutores usados nos diferentes troços das instalações colectivas e entradas devem ser tais que não sejam excedidos os valores de queda de tensão seguintes:

- 1,5 %, para o troço da instalação entre os ligadores da saída da portinhola e a origem da instalação eléctrica (de utilização), no caso das instalações individuais;
- 0,5 %, para o troço correspondente à entrada ligada a uma coluna (principal ou derivada) a partir de uma caixa de coluna, no caso das instalações não individuais;
- 1,0 %, para o troço correspondente à coluna, no caso das instalações não individuais;

No entanto, quando for técnica e economicamente justificado, os valores de queda de tensão indicados anteriormente para a coluna e entradas, podem ser ultrapassados, desde que, no seu conjunto (coluna mais entrada), não seja ultrapassado o valor de 1,5%.

Tab. 3 - Queda de tensão máxima entre a origem da instalação e qualquer ponto de utilização

Utilização	Iluminação	Outros usos
Instalações alimentadas directamente a partir de uma rede de distribuição (pública) em baixa tensão	3 %	5 %
Instalações alimentadas a partir de um Posto de Transformação MT/BT (*)	6 %	8 %
(*) Sempre que possível, as quedas de tensão nos circuitos finais não devem exceder os valores indicados para a situação A. As quedas de tensão devem ser determinadas a partir das potências absorvidas pelos aparelhos de utilização com os factores de simultaneidade respectivos ou, na falta destes, das correntes de serviço de cada circuito.		

¹ Ramal - Canalização eléctrica, sem qualquer derivação, que parte do quadro de um posto de transformação, do quadro de uma central geradora ou de uma canalização principal e termina numa portinhola, quadro de colunas ou aparelho de corte de entrada de uma instalação de utilização.

Ao abrigo do mesmo regulamento, para as instalações colectivas e entradas deverão ser observados ainda os seguintes pontos:

- Quando existir “troço comum”³, a queda de tensão neste troço deve ser afectada ao ramal e não à instalação colectiva.
- A queda de tensão, no caso das entradas trifásicas, deve ser calculada a partir da potência prevista para alimentação dos equipamentos normais previstos para as instalações eléctricas (de utilização) por elas alimentadas, suposta uniformemente repartida pelas diferentes fases. O cálculo deve ser feito fase a fase, como se de uma entrada monofásica se tratasse, considerando que apenas a fase em análise está em serviço.

3.3 CÁLCULO DA QUEDA DE TENSÃO

Para canalizações em que a secção do condutor de fase seja igual à do condutor neutro, as quedas de tensão podem ser determinadas a partir da expressão seguinte:

$$u = b \times \left(\rho_1 \times \frac{l}{S} \times \cos \varphi + \lambda \times l \times \sin \varphi \right) \times Ib$$

$$\Delta u = 100 \frac{u}{U_0}$$

em que:

- u queda de tensão, expressa em volts;
- Δu queda de tensão relativa, expressa em percentagem;
- U_0 tensão entre fase e neutro, expressa em volts;

- b coeficiente igual a 1 para os circuitos trifásicos e a 2 para os monofásicos (os circuitos trifásicos com o neutro completamente desequilibrado, isto é, com uma só fase carregada, são considerados como sendo monofásicos);

r1 resistividade dos condutores à temperatura em serviço normal,

L comprimento simples da canalização, expresso em metros;

S secção dos condutores, expressa em milímetros quadrados;

$\cos \varphi$ factor de potência;

Nas instalações de utilização às quais se aplicam as RTIEBT pode ser usado o valor $\cos \varphi = 0,8$.

Para efeitos do cálculo das quedas de tensão nas entradas das instalações, deve ter-se em consideração os valores de potências nominais definidos para essas entradas, os quais, na falta de elementos mais precisos, devem ser considerados como resistivos ($\cos \varphi = 1$).

λ reactância linear dos condutores.

Nas instalações de utilização às quais se aplicam as RTIEBT, na falta de outras indicações mais precisas, pode ser usado o valor 0,08 mW/m.

Relativamente à determinação da resistividade dos condutores à temperatura em serviço normal, dever-se-á ao valor da resistividade a 20°C (0,0225 W.mm²/m para o cobre e 0,036 W.mm²/m para o alumínio), efectuar a correcção para a temperatura máxima de funcionamento dos condutores/cabos.

² Origem das instalações eléctricas de utilização

Considera-se que as instalações eléctricas objecto das Regras Técnicas têm por origem um dos pontos indicados nas alíneas seguintes:

- a) nas instalações alimentadas directamente por uma rede de distribuição (pública) em baixa tensão:
 - os ligadores de saída da portinhola;
 - os ligadores de entrada do quadro de colunas, no caso de não existir portinhola;
 - os ligadores de entrada do equipamento de contagem ou os do aparelho de corte da entrada, quando este estiver a montante do equipamento de contagem, no caso de não existir portinhola nem quadro de colunas.

No que se refere às instalações eléctricas (de utilização), alimentadas, pelas instalações colectivas e entradas, estas têm, no caso de serem alimentadas por uma rede de distribuição (pública) em baixa tensão, por origem um dos pontos seguintes:

 - a) os ligadores de saída do aparelho de corte da entrada da instalação eléctrica (de utilização);
 - b) os ligadores de saída do sistema de contagem, se o aparelho de corte da entrada não existir.
- b) nas instalações alimentadas por um posto de transformação privativo, os ligadores de entrada do(s) quadro(s) de entradaTroço comum - Canalização eléctrica da instalação colectiva que tem início na portinhola e que termina no quadro de colunas.

³Troço comum - Canalização eléctrica da instalação colectiva que tem início na portinhola e que termina no quadro de colunas.

A tabela 4, apresenta as temperaturas máximas de funcionamento de diversos tipos de isolamentos de condutores:

A correcção da resistividade é realizada através da seguinte expressão:

$$R_{\theta} = R_{20} [1 + \alpha_{20} (\theta - 20)] \quad \Omega/\text{km}$$

em que:

R_{θ} resistência eléctrica à temperatura θ °C

R_{20} resistência eléctrica à temperatura 20 °C

α_{20} coeficiente de temperatura a 20 °C

θ temperatura final em °C

As RTIEBT recomendem a utilização de um factor 1,25 para correcção geral do valor da resistividade para a temperatura de serviço, independente do tipo de isolamento dos condutores/cabos, sendo uma aproximação ao cálculo anteriormente apresentado.

Tab. 4 – Temperatura máxima de funcionamento dos condutores em função do tipo de isolamento

Tipo de isolamento	Temperatura máxima de funcionamento ⁽¹⁾ (°C)
Policloreto de vinilo (PVC)	Condutor: 70
Polietileno reticulado (XLPE) Ou etileno-propileno (EPR)	Condutor: 90
Mineral (com bainha em PVC ou nu e acessível)	Bainha metálica: 70
Mineral (nu, inacessível e sem estar em contacto com materiais combustíveis)	Bainha metálica: 105 ⁽²⁾
⁽¹⁾ - Segundo as Normas NP 2356, NP 2357 e NP 2365.	
⁽²⁾ - Para este tipo de condutores podem ser admitidas temperaturas superiores em serviço contínuo, de acordo com a temperatura do cabo e das terminações e com as condições ambientais e outras influências externas.	

Tab. 5 - Resistência à Temperatura do condutor/cabo a 20°C

R_{20}	Resistência à Temperatura do condutor/cabo a 20°C
θ	Temperatura máxima de funcionamento do condutor/cabo
α_{20}	coeficiente de variação da resistividade com a temperatura a 20°C $\alpha_{Cu 20^{\circ}C} = 3,93.10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$ $\alpha_{Al 20^{\circ}C} = 4,03.10^{-3} \text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$

4. METODOLOGIAS DE VERIFICAÇÃO EM OUTROS PAÍSES

França – A norma NF C 15-100, publicada pela Union Technique de l'Electricité (UTE), trata e define os requisitos técnicos e de segurança das instalações eléctricas de baixa tensão. A norma sofre actualização regular para ter em conta a evolução da técnica e das necessidades de consumo de electricidade.

O artigo 525 da NF C 15-100 fixa os valores máximos da queda de tensão, conforme indicado na tabela 3.

No comentário ao Artº 525 da norma é indicada a fórmula a empregar para cálculo da queda de tensão que resulta ser a mesma usada pelas RTIEBT.

Para a resistividade dos condutores em serviço normal apresenta os valores, indicados na tabela 4.

O coeficiente 1,25 leva a determinar a queda de tensão a uma temperatura do condutor de cerca de 82 °C.

A norma remete ainda para o guia da UTE C 15-105, GUIDE PRATIQUE Détermination des sections de conducteurs et choix des dispositifs de protection Méthodes pratiques, onde são detalhadas outras informações bem como, em particular, quadros com valores de reactância linear para outras configurações de canalizações a serem consultados para a determinação da queda de tensão.

Tab. 6 - Queda de tensão máxima nas instalações de utilização

	Iluminação	Outros usos
Tipo A – instalações alimentadas directamente por uma derivação em BT a partir de uma rede pública de distribuição em BT	3%	5%
Tipo B – Instalações alimentadas por um posto de entrega(1) ou por um posto de transformação a partir duma instalação de AT e instalações do tipo A em que o ponto de entrega se situa no QGBT dum posto de distribuição público.	6%	8%
Quando as canalizações principais da instalação tiverem um comprimento superior a 100 m, as quedas de tensão podem ser aumentadas de 0,005 % por metro de canalização acima de 100 m, sem todavia superar 0,5 %.		
As quedas de tensão são determinadas a partir das potências absorvidas pelos aparelhos de utilização, aplicando, sendo o caso, factores de simultaneidade, ou, por omissão, a partir dos valores das correntes de serviço dos circuitos.		

Tab. 7 – Resistividade corrigida do cobre e alumínio para a temperatura de funcionamento dos condutores

	Cobre	Alumínio
Resistividade $\rho_1 = 1,25 \times \rho_{20^\circ\text{C}}$ $\Omega\text{mm}^2/\text{m}$	0,023	0,037

^{Obs} Em França não se faz distinção entre postos de transformação e subestações de transformação. A sua designação genérica é poste de transformation, contemplando ambas as instalações. Quando as instalações de BT são alimentadas por uma rede de distribuição pública em AT, por intermédio de um posto de transformação, observando a norma NF C 13-100 a 13-103, o posto de transformação é chamado poste de livraison, posto de entrega. Quando forem alimentadas por uma instalação de AT por intermédio de uma instalação de transformação observando a norma NF C 13-200, a sua designação é poste de transformation, posto de transformação.

Reino Unido – Neste país a norma BS 7671: 2008 Requirements for Electrical Installations IEE Wiring Regulations, Seventeenth Edition é o padrão normativo adoptado no domínio das instalações eléctricas em BT quando em 1992 a British Standards Institution (BSI) fez das regras técnicas IEE Wiring Regulations, 16th Edition, publicadas pela Institution of Electrical Engineers (IEE), sua norma. A BS 7671 é também usada noutros países de língua inglesa.

Os requisitos respeitantes à queda de tensão são tratados nos pontos 525.1 a 525.3. Para uma instalação em BT alimentada directamente a partir de uma rede de distribuição em BT, a queda de tensão máxima, especificada no Apêndice 12, relativamente à tensão nominal, é:

	Equipamento de Iluminação	Outros Usos
Queda de tensão máxima	3%	5%

O Apêndice 4 da norma contém uma série de tabelas fornecendo, para vários tipos de cabos e condutores, os valores das quedas de tensão, quer resistivas, quer reactivas, quer totais, dadas em mV/m/A, calculadas para a temperatura máxima permitida pelos condutores em regime normal de funcionamento.

A queda de tensão é então calculada da forma seguinte:

$$V_d = \frac{\text{mV/m/A tabelados} \times \cos \varphi \times I_b \times L}{1000}$$

Quando a secção dos condutores for maior que 16 mm² deverão considerar-se a queda de tensão resistiva bem como a queda reactiva.

Teremos então:

$$V_d = \frac{(\cos \varphi \times r + \sin \varphi \times x) \text{mV/A/m} \times L \times I_b}{1000}$$

Onde:

r – queda de tensão resistiva em mV/A/m

x – queda de tensão reactiva em mV/A/m

A norma prevê a correcção da temperatura dos condutores para uma melhor aproximação do cálculo da queda de tensão.

Assim a temperatura de serviço vem determinada pela expressão seguinte:

$$\theta_b = \theta_z - \left(C_g^2 C_a^2 - \frac{I_b^2}{I_{zt}^2} \right) (\theta_z - \theta_a)$$

θ_b = temperatura do cabo ou condutor, °C

θ_z = temperatura máxima em regime normal, °C

θ_a = temperatura ambiente, °C

C_g = factor de correcção de agrupamento

C_a = factor de correcção da temperatura ambiente

I_b = corrente de serviço, A

I_{zt} = corrente máxima admissível nas condições da tabela, A

A temperatura θ_b permite agora determinar o factor de correcção de temperatura C_t :

$$C_t = \frac{230 + \theta_b}{230 + \theta_z}$$

Com

$$\beta_0 = \frac{1}{\alpha_0} \cong 230^\circ \text{C} \quad \text{valor médio para Cu e Al}$$

Para secções até 16 mm², teremos:

$$V_d = C_t \cos \varphi (\text{mV/A/m}) \times L \times I_b \times 10^{-3}$$

Para secções acima de 16 mm²:

$$V_d = (C_t \cos \varphi \times r + \sin \varphi \times x) \times L \times I_b \times 10^{-3}$$

Os valores médios das resistividades do Cu e Al a 20°C usados na norma são:

$$\rho_{Cu 20^{\circ}C} = 18,3 \times 10^{-3} \Omega mm^2/m$$

$$\rho_{Al 20^{\circ}C} = 30,4 \times 10^{-3} \Omega mm^2/m$$

Alemanha – Várias são as normas e disposições aplicáveis às instalações de BT. A norma DIN VDE 0100 – Errichten von Niederspannungsanlagen, Estabelecimento de Instalações de BT, contempla na sua parte 520 as prescrições em termos de quedas de tensão máximas permitidas nas instalações. Assim, entre a portinhola e o ponto electricamente mais afastado da instalação a norma fixa, para a máxima queda de tensão tolerada, um valor de 4% da tensão nominal.

Às instalações residenciais aplica-se igualmente a norma DIN 18015 – Elektrische Anlagen in Wohngebäuden, Instalações Eléctricas em Edifícios Residenciais. De acordo com esta norma a queda máxima entre o contador e o aparelho electricamente mais afastado deve ser 3% da tensão nominal.

Para a determinação da queda de tensão nos diversos

tramos do circuito usa-se como corrente de serviço o valor da corrente estipulada do aparelho de protecção contra sobreintensidades localizado imediatamente a montante.

Outra disposição aplicável às instalações de BT prende-se com as especificações próprias das Associações de Energia Estaduais - Technischen Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Niederspannungsnetz, Condições Técnicas para a Ligação à Rede de BT, conhecidas por TAB. De acordo com as TAB, as máximas quedas de tensão entre a portinhola e o contador vêm dadas em correspondência com o quadro seguinte:

Potência em kVA	Queda de tensão admissível em %	Disposição
Até 100	0,5	AVBEItV ⁽¹⁾
De 100 a 250	1,0	TAB
Mais de 250 a 400	1,25	TAB
Acima de 400	1,5	TAB

A figura abaixo sintetiza as diversas condições e disposições aplicáveis:

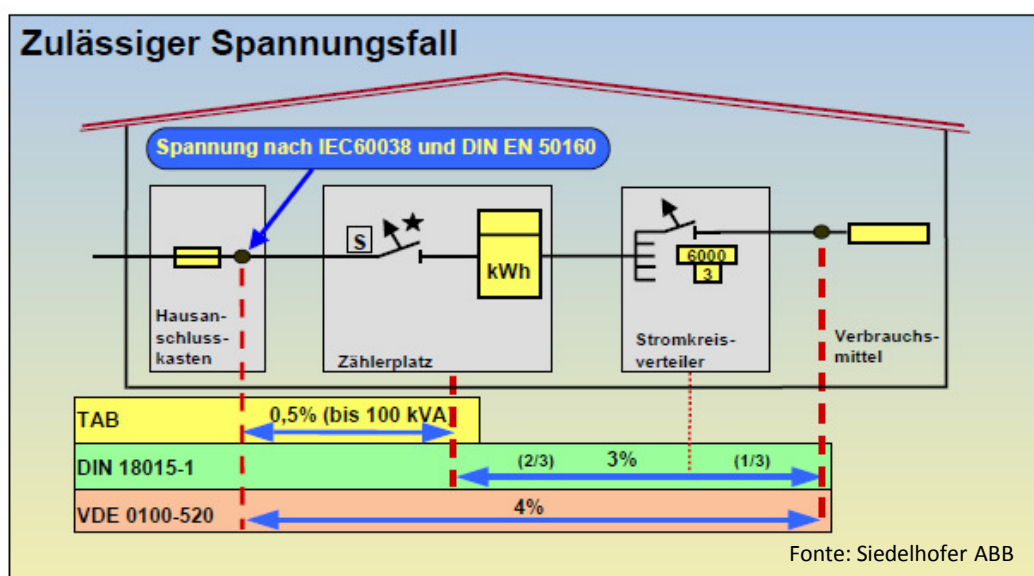


Fig. 3 – Máxima queda de tensão e disposições aplicáveis na Alemanha

⁽¹⁾ Verordnung über Allgemeine Bedingungen für die Elektrizitätsversorgung von Tarifkunden, Portaria sobre as Condições Gerais para o Abastecimento de Electricidade a Clientes.

A queda de tensão é calculada pela expressão simplificada para as secções condutoras acima dos 16 mm². Abaixo deste valor calcula-se somente a queda resistiva. Os dados seguintes são habitualmente empregados no cálculo da resistência:

Condutividade σ Sm/mm ²	Cu	Al
20°C circuitos ligeiramente carregados	56	35
50°C circuitos moderadamente carregados	50	31
70°C circuitos carregados	47	29

5. CONCLUSÕES

O cálculo das quedas de tensão é fundamental na fase de projecto de instalações eléctricas, por um lado, de modo a garantir que as infra-estruturas definidas cumpram os requisitos regulamentares e, por outro lado, o bom funcionamento e a longevidade dos equipamentos e instalações.

Bibliografia

- [1] UNION TECHNIQUE DE L'ELECTRICITE – UTE C 15-105. Fontenay-aux-Roses: UTE, 2003.
- [2] UNION TECHNIQUE DE L'ELECTRICITE – NF C 15-100. Puteaux: UTE, 2002.
- [3] STOKES Geoffrey, Bradley John - A Practical Guide to the Wiring Regulations: 17th Edition IEE Wiring Regulations (BS 7671:2008). 4ª Ed. Chichester: John Wiley & Sons Ltd, 2009. ISBN: 978-1-405-17701-6.

Bibliografia

- [4] Regras Técnicas de Instalações Eléctricas de Baixa Tensão, Decreto-Lei 226/2005, de 28 de Dezembro e Portaria N.º 949-A/2006, de 11 de Setembro, 2006;
- [5] Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Eléctrica em Baixa Tensão, Decreto-Regulamentar n.º 90 / 84 de 26 de Dezembro.
- [6] Guia Técnico de Urbanizações, DIT-C11-010/N, EDP – Distribuição – Energia SA, DNT – Direcção de Normalização e Tecnológica, Maio 2006;
- [7] Ligação de Clientes de Baixa Tensão, DIT-C14-100/N, EDP – Distribuição – Energia SA, DNT – Direcção de Normalização e Tecnológica, Maio 2007;
- [8] SIEDELHOFER Bernd - Hauptstromversorgung in Gebäuden [em linha]. [Consult. 06 Dez 2010] Disponível em [www:<url:http://www.elektrogemeinschaft-halle.de/Vortrag/Hauptstromversorgung.pdf>](http://www.elektrogemeinschaft-halle.de/Vortrag/Hauptstromversorgung.pdf)
- [9] SCHULTKE Hans – Aktuelles aus der Welt der Normen [em linha]. [Consult. 06 Dez 2010] Disponível em [www:<url:http://www.enbw-eg.de/~upload/enbweg/veranstaltungen2009/herbstveranstaltung2009/vortraege/DIN18015-1-4.pdf>](http://www.enbw-eg.de/~upload/enbweg/veranstaltungen2009/herbstveranstaltung2009/vortraege/DIN18015-1-4.pdf)
- [10] VEWSaar e. V. - Erläuterungen des Verbandes zu den Technischen Anschlussbedingungen für den Anschluss an das Niederspannungsnetz (TAB) [em linha]. [Consult. 06 Dez 2010] Disponível em [www:<url:http://www.vewsaar.de/fileadmin/dokumente/Installateure/pdf/erlaeuterungen_tab2007_072010.pdf>](http://www.vewsaar.de/fileadmin/dokumente/Installateure/pdf/erlaeuterungen_tab2007_072010.pdf)



COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



António Augusto Araújo Gomes

(aag@isep.ipp.pt)

Mestre (pré-bolonha) em Engenharia Electrotécnica e Computadores, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
Doutorando na Área Científica de Sistemas Eléctricos de Energia (UTAD).
Docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 1999.
Coordenador de Obras na CERBERUS - Engenharia de Segurança, entre 1997 e 1999.
Prestação, para diversas empresas, de serviços de projecto de instalações eléctricas, telecomunicações e segurança, formação, assessoria e consultoria técnica.
Investigador do GECAD (Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão), do ISEP, desde 1999.



Eduardo Sérgio Correia

(SCorreia@iems.pt)

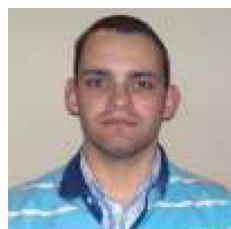
Engº Técnico Electrotécnico – Sistemas de Energia (ISEP 1995), inscrito na ANET (1555).
Director de Operações da Delegação Norte da IEMS – Instalações de Electrónica Manutenção e Serviços, Lda desde 2000.
Nota curricular da empresa:
Fundada em 1993, a IEMS, começou a operar como uma empresa fornecedora de acessórios para sistemas de cablagem e prestadora de serviços associados. A IEMS tem acompanhado o rápido desenvolvimento da indústria das tecnologias de informação, evoluindo ao longo dos anos, para a comercialização de produtos nas áreas de cablagem estruturada, de telecomunicações, equipamentos activos de rede, tendo-se especializado em adaptar soluções de fabricantes mundiais, líderes no mercado, às realidades e exigências nacionais. Neste âmbito, tem uma vasta experiência em instalação e manuseamento das Redes de Fibra Óptica, estando sempre na vanguarda com os produtos mais avançados disponíveis no mercado.



Henrique Jorge de Jesus Ribeiro da Silva

(hjs@isep.ipp.pt)

Licenciado em Engenharia Electrotécnica, em 1979, pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, opção de Produção, Transporte e Distribuição de Energia.
Diploma de Estudos Avançados em Informática e Electrónica Industrial pela Universidade do Minho. Mestre em Ciências na área da Electrónica Industrial.
Professor Adjunto Equiparado do ISEP, leccionando na área da Teoria da Electricidade e Instalações Eléctricas.



José Luís Almeida Marques de Faria

(jlamfaria@gmail.com)

Mestre em Engenharia Electrónica e de Computadores, na área de Sistemas e Planeamento Industrial (Plano de estudos Bolonha - 120ECTS), Instituto Superior de Engenharia do Porto).
Director técnico na empresa Touchdomo.
Fornece serviços à Industria Azevedos, com a função de integrador KNX e EnOcean.
Formador na área da domótica e engenharia electrónica/eléctrica.
Funcionário da empresa Intelbus, Soluções para edifícios, Lda, com a função de integrador KNX e LonWorks, desde Agosto de 2008 até Junho de 2010.

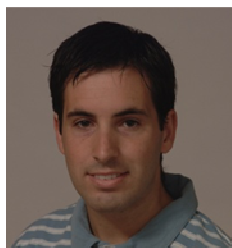


José Marílio Oliveira Cardoso

(joc@isep.ipp.pt)

Licenciado em Engenharia Electrotécnica - Sistemas Eléctricos de Energia, pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto.
Doutorando da Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro na Área Científica de Sistemas Eléctricos de Energia.
Docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 2003 e investigador do GECAD (Grupo de Investigação em Engenharia do Conhecimento e Apoio à Decisão).
Docente no ensino secundário, na área da electrotecnia entre 2001 e 2004.
Formador no Curso de Especialização Pós-Graduada em Eficiência Energética e Utilização Racional de Energia Eléctrica, do ISEP. Formador na Pós-Graduação em Gestão de Energia – Eficiência Energética, no Instituto de Soldadura e Qualidade (ISQ), Taguspark, Oeiras e em Grijó, V.N. Gaia.

COLABORARAM NESTA EDIÇÃO:



Nelson Ferreira da Silva

(1071169@isep.ipp.pt)

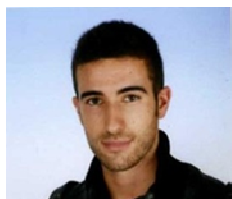
Licenciado em Engenharia Electrotécnica de Sistemas Eléctricos de Energia no ISEP.
Encontra-se a frequentar o Mestrado em Sistemas Eléctricos de Energia no ISEP.



Pedro Daniel Soares Gomes

(1071106@isep.ipp.pt)

A frequentar o 1º ano do Mestrado em Engenharia Electrotécnica – Sistemas Eléctricos de Energia, no Instituto Superior de Engenharia do Porto (2010/2011)
Licenciado em Engenharia Electrotécnica - Sistemas Eléctricos de Energia pelo Instituto Superior de Engenharia do Porto (2007/2008 - 2009/2010)



Pedro Gerardo Maia Fernandes

(1070172@isep.ipp.pt)

Licenciado em Engenharia Eléctrotécnica - Sistemas Eléctricos de Energia, no Instituto Superior de Engenharia do Porto.
Encontra-se a frequentar o curso Mestrado em Engenharia Electrotécnica - Sistemas Eléctricos de Energia.



Pedro Miguel Azevedo de Sousa Melo

(pma@isep.ipp.pt)

Mestre em Automação, Instrumentação e Controlo pela Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
Aluno do Programa Doutoral em Engenharia Electrotécnica e de Computadores, na Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto.
Docente do Instituto Superior de Engenharia do Porto desde 2001.
Desenvolveu actividade de projectista de instalações eléctricas de BT na DHV-TECNOPOR.

