

Cálculo de Canalizações Elétricas- Estágio na Exsepi

Relatório de Estágio apresentado para a obtenção do grau de Mestre em
Automação e Comunicações em Sistemas de Energia

Autor
Carla Susana dos Santos Costa

Orientadores
Doutor Carlos Ferreira
Doutor Fernando Lopes
Instituto Superior de Engenharia de Coimbra

Supervisor na Empresa
António Ferreira
Exsepi

Coimbra, junho, 2012

Agradecimentos

Gostaria de deixar aqui expresso os meus mais profundos e sentidos agradecimentos a todos aqueles que deram a sua contribuição para que este relatório de estágio fosse realizado.

À minha família, em especial aos meus pais e à minha irmã, por me darem todo o apoio e por me incentivarem a seguir a minha formação académica, pelo amor incondicional que nos une.

Ao meu marido António, pelas palavras de carinho e incentivo, pela compreensão, entre tantas outras ajudas, não esquecendo também de agradecer o contributo do meu filho.

A todos os professores da área de Engenharia Eletrotécnica, do Instituto Superior de Engenharia de Coimbra, pela dedicação em ensinar, e onde aprofundei os meus conhecimentos e competências de engenharia.

Aos meus orientadores de estágio, Doutor Carlos Ferreira e Doutor Fernando Lopes, pelo rigor da sua orientação, apoio, disponibilidade, incentivo e esclarecimento de dúvidas, sempre que solicitados.

Aos administradores da empresa EXSEPI, onde efetuei o estágio, pelo apoio prestado em todos os momentos e por me terem possibilitado a realização deste estágio.

Aos colegas de trabalho da empresa, pelas alegrias divididas, pelo apoio nos momentos de tristeza e desânimo e pelos conselhos nos momentos de trabalho.

A Deus, por me amparar nos momentos difíceis e me dar força interior para superar as dificuldades.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente, contribuíram para a execução deste relatório de estágio.

Resumo

As canalizações elétricas constituem uma parte fundamental das instalações, concorrendo de forma relevante para a qualidade e segurança da distribuição de energia elétrica. Assim, para que uma instalação elétrica possa apresentar o desempenho previsto, aquando da sua fase de projeto é fundamental que todos os cálculos necessários à sua conceção estejam corretos e cumpram a legislação em vigor.

Neste contexto, este relatório de estágio insere-se na área científica de energia e tem como objetivo o desenvolvimento de uma aplicação informática, para o cálculo expedito de canalizações elétricas, nomeadamente a secção e o número de condutores a utilizar, e a respetiva queda de tensão.

Começou-se por realizar um estudo aprofundado de todas as regras, regulamentos e normas em vigor, de forma a enquadrar o problema a nível legislativo. Foram analisados os pacotes de programas computacionais aplicados correntemente ao cálculo das instalações elétricas, particularmente ao nível da sua eficiência computacional e facilidade de utilização.

Posteriormente, criou-se uma aplicação informática, com o principal objetivo de calcular canalizações elétricas de uma forma prática, intuitiva e exata, ao alcance de qualquer técnico de eletricidade. Após a realização de testes de validação exaustivos, verificou-se que foram cumpridos todos os objetivos propostos, apresentando a ferramenta computacional desenvolvida um desempenho eficiente e preciso, podendo ser aplicada a nível empresarial.

Palavras-chave: Cabos e condutores elétricos, Cálculo de canalizações elétricas, Determinação da secção, Instalações elétricas, Queda de tensão.

Abstract

The electrical wiring is one of the most important parts of a building installation, contributing significantly to the quality and safety of power distribution. Therefore, for an electrical installation to perform as expected, it is essential that all necessary calculations for its design are correct and comply with current legislation.

In this context, this internship report is part of the master degree course and aims to develop a *software* application to expedite the calculation of electrical installations, including the conductor cross section, the number of conductors and the voltage drop.

A detailed study of all rules, regulations and standards was first carried out, in order to know the electrical installations legal framework. The computational *software* packages, currently applied to the electrical wiring calculation, were analyzed, particularly in terms of their computational efficiency and ease of use.

Subsequently, an application was created, with the main purpose of calculating electrical conduits in a practical, intuitive and accurate way, in the reach of every electrical technician. After conducting extensive validation tests, it was found that all objectives were met and the developed computational tool exhibits an efficient and accurate performance.

Keywords: Electrical conduit calculation, Electrical conductors, Electrical wiring, Section evaluation, Voltage drop.

Índice

Agradecimentos	i
Resumo	iii
Abstract	v
Índice	vii
Lista de Figuras	xi
Lista de Tabelas	xiii
Nomenclatura	xv
1 Introdução	1
1.1 Objetivo Geral	2
1.2 Objetivo Específico	2
1.3 Justificação da Relevância do Tema	3
1.4 Atividades Realizadas Durante o Estágio	4
1.4.1 Atividades de formação e adaptação	4
1.4.2 Atividade principal	5
1.5 Apresentação Estrutural do Relatório	6
2 Enquadramento Empresarial	9
2.1 Apresentação da EXSEPI	9
2.2 Localização da EXSEPI	10
2.3 Missão, Visão, Valores e Política da Qualidade	10
2.4 Áreas de Atividade da Empresa	11
2.5 Sistema de Gestão de Energia	15
2.6 Estrutura Organizacional	16
2.7 Programas Computacionais	17
2.8 Conclusões	19
3 Canalizações Elétricas	21
3.1 Condutores e Cabos Elétricos	21
3.2 Modos de Instalação	23

3.3	Características dos Cabos e seus Condutores	24
3.4	Secções Mínimas dos Condutores	25
3.5	Correntes Máximas Admissíveis	26
3.6	Escolha dos Cabos Mais Adequados à Instalação	27
3.7	Dimensionamento de Canalizações Elétricas	28
3.7.1	Qualidade de serviço	28
3.7.2	Conceitos fundamentais	29
3.7.3	Definições	29
3.7.4	Aspetos económicos	30
3.8	Dimensionamento das Secções	31
3.8.1	Cálculo da Secção	32
3.8.2	Cálculo da corrente de serviço	33
3.8.3	Cálculo da corrente admissível nos condutores e nos cabos	35
3.8.4	Fatores de correção	36
3.8.5	Queda de tensão	37
3.8.6	Proteção contra sobreintensidades	39
3.8.7	Determinação da potência previsível	43
3.9	Conclusões	45
4	Aplicação Desenvolvida	47
4.1	Objetivo do Programa	47
4.2	Estudo da Legislação em Vigor	47
4.3	Apresentação do <i>Software</i>	47
4.4	Funcionamento da Aplicação	49
4.5	Análise Prática	50
4.5.1	Primeiro Caso de Estudo	50
a)	Cálculo Analítico	50
b)	Cálculo Utilizando o Software Ecodial	53
c)	Cálculo Utilizando a Aplicação Desenvolvida	54
d)	Conclusão	54
4.5.2	Caso de Estudo nº2	54
a)	Cálculo Analítico	56
b)	Cálculo Utilizando o Software Ecodial	59
c)	Cálculo Utilizando a Aplicação Desenvolvida	60
d)	Conclusão	60
4.5.3	Caso de Estudo nº3	60
a)	Cálculo Analítico	62

b)	Cálculo Utilizando o Software Ecodial	68
c)	Cálculo Utilizando a Aplicação Desenvolvida	71
d)	Conclusão	71
4.6	Conclusões	75
5	Conclusão	77
5.1	Perspetivas de Desenvolvimento Futuro	77
5.2	Contribuição dos Conhecimentos Adquiridos na Formação Académica para o Estágio	78
	Referências	79

Lista de Figuras

Fig. 2.1. Fachada principal da EXSEPI.	9
Fig. 2.2. Localização da EXSEPI.	10
Fig. 2.3. Áreas de atividade da empresa.	11
Fig. 2.4. Gabinete de projeto.	12
Fig. 2.5. Trabalho em oficina - quadros elétricos.	13
Fig. 2.6. Sala de formação.	14
Fig. 2.7. Gabinete de <i>software</i> .	15
Fig. 2.8. Organograma da empresa.	16
Fig. 2.9. Diagrama de algumas aplicações pertencentes ao Microsoft Office.	17
Fig. 3.1. Características da instalação elétrica.	22
Fig. 3.2. Exemplo de um modo de instalação.	24
Fig. 3.3. Fatores a considerar no dimensionamento de uma canalização.	27
Fig. 3.4. Passos a seguir para determinar a secção de uma canalização.	33
Fig. 3.5. Expressões para o cálculo da corrente de serviço de uma carga.	34
Fig. 3.6. Cronograma a cumprir para o correto dimensionamento de uma canalização.	40
Fig. 3.7. Fatores a ter em consideração no cálculo da potência.	43
Fig. 4.1. Esquema unifilar do caso de estudo n.º1.	50
Fig. 4.2. Diagrama das correntes do caso de estudo n.º1.	51
Fig. 4.3. Esquema unifilar do caso de estudo n.º2.	54
Fig. 4.4. Diagrama das correntes do caso de estudo n.º2.	58
Fig. 4.5. Esquema unifilar do caso de estudo n.º3.	60
Fig. 4.6. Diagrama das correntes do caso de estudo n.º3 para o ramal A ₁ .	66
Fig. 4.7. Diagrama das correntes do caso de estudo n.º3 para o ramal A ₂ .	66
Fig. 4.8. Diagrama das correntes do caso de estudo n.º3 para a canalização S _A .	66

Lista de Tabelas

Tabela 3.1. Pontos fracos e pontos fortes dos materiais de isolamento.	22
Tabela 3.2. Características dos condutores cobre e alumínio.	24
Tabela 3.3. Cores dos condutores isolados e respetiva ordem sequencial.	25
Tabela 3.4. Secções mínimas do condutor de cobre.	26
Tabela 3.5. Correntes no arranque de motores.	35
Tabela 3.6. Expressão para cálculo da queda de tensão.	38
Tabela 3.7. Quedas de tensão máximas admissíveis.	39
Tabela 3.8. Correntes convencionais de funcionamento nos fusíveis.	42
Tabela 3.9. Correntes convencionais de funcionamento nos disjuntores.	42
Tabela 3.10. Fatores de utilização.	44
Tabela 3.11. Fatores de simultaneidade para locais de habitação.	45
Tabela 4.1. Aplicação desenvolvida.	48
Tabela 4.2. Resultado de cálculo do caso de estudo nº1.	55
Tabela 4.3. Resultado de cálculo do caso de estudo nº2.	61
Tabela 4.4. Resultado de cálculo do ramal A_1 para o caso de estudo nº3.	72
Tabela 4.5. Resultado de cálculo do ramal A_2 para o caso de estudo nº3.	73
Tabela 4.6. Resultado de cálculo da canalização S_A para o caso de estudo nº3.	74

Nomenclatura

Abreviaturas e Acrónimos

BT	“Baixa Tensão”
CENELEC	“Comité Européen de Normalização Eletrotécnica”
CIE	“Comissão Eletrotécnica Internacional”
EN	“Norma Europeia”
EPR	“Etileno-propileno”
ERSE	“Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos”
ETAR	“Estações de Tratamento de Águas Residuais Industriais”
EXSEPI	“Estudos e Projetos Industriais, Lda.”
HD	“Documento de Harmonização”
ISEC	“Instituto Superior de Engenharia de Coimbra”
ITED	“Infraestruturas de Telecomunicações em Edifícios”
MACSE	“Mestrado em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia”
MT	“Média Tensão”
NF	“Norma Francesa”
NP	“Norma Portuguesa”
PVC	“Policloreto de vinilo”
RTIEBT	“Regras Técnicas de Instalações Elétricas em Baixa Tensão”
SCADA	“Sistemas de Supervisão e Aquisição de Dados”
SGE	“Sistema de Gestão Energética”
SGQ	“Sistema de Gestão da Qualidade”
UE	“União Europeia”
UTE	“Union Technique de l’Electricité”
XLPE	“Polietileno reticulado”

Letras e símbolos

b	Coefficiente igual a 1 para os circuitos trifásicos e a 2 para os monofásicos
$\cos \varphi$	Fator de potência
I	Intensidade de corrente elétrica (A)
I_2	Corrente de não funcionamento (A)
I_B	Corrente de serviço (A)
I_n	Corrente nominal (A)
I_Z	Corrente máxima admissível (A)
K	Fator de correção
l	Comprimento da canalização (m)
P	Potência ativa (W)
S	Potência aparente (VA)
s	Secção do condutor (mm ²)
u	Queda de tensão (V)
U_c	Tensão elétrica composta (V)
U_s	Tensão elétrica simples (V)
Δu	Queda de tensão relativa (%)

Caracteres gregos

ρ	Resistividade do material ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
λ	Reatância linear dos condutores ($\text{m}\Omega/\text{m}$)

1 Introdução

O projeto de instalações elétricas é a melhor forma de estudar e definir o modo como os diversos equipamentos elétricos numa instalação podem ser integrados numa solução de engenharia, assegurando que a mesma funcione com a máxima fiabilidade, segurança, flexibilidade e economia. Uma das principais particularidades de um projeto de instalações elétricas é a sua grande interação com as diferentes instalações presentes nas infraestruturas, nomeadamente as instalações mecânicas, instalações de telecomunicações e de segurança. Por este motivo, a comunicação e coordenação interdisciplinar entre as diferentes especialidades envolvidas num projeto de uma infraestrutura são cruciais, de forma a assegurar uma adequada integração do conjunto [1].

As instalações elétricas, em geral, devem ser seguras, responder com eficácia às necessidades previsíveis dos utilizadores e cumprir as normas e regulamentos aplicáveis. Em especial, nos locais de habitação, estas instalações devem, igualmente, privilegiar o conforto na utilização, contribuir para o bem-estar e para promover a qualidade de vida, garantindo a segurança das pessoas e das infraestruturas [2]. Um projeto deve ser definido tendo em consideração o propósito a que se destina, o funcionamento correto da instalação, os critérios, as normas e a forma de instalar os equipamentos e os parâmetros dos materiais e aparelhagem utilizados.

Nos últimos anos, para cada segmento da engenharia, os diferentes profissionais têm proposto e desenvolvido ferramentas computacionais cada vez mais sofisticadas, que se têm mostrado extremamente úteis como instrumentos auxiliares durante a fase de projeto e durante a fase de execução. As inovações tecnológicas têm proporcionado grande facilidade na aplicação dos diversos métodos de cálculo e na redução do tempo de computação. No caso particular da engenharia eletrotécnica, a utilização de *software* é cada vez mais frequente nas empresas, estendendo-se aos diferentes setores e departamentos, resultando numa maior simplificação dos processos e procedimentos, redução dos custos e ao aumento da produtividade [3].

Atualmente, é possível afirmar que a melhoria na qualidade dos projetos de instalações elétricas, depende muito do auxílio do *software* utilizado, pois com o apoio destas ferramentas é possível verificar detalhes importantes ainda na fase de projeto, que de outra forma só seriam eventualmente detetados na fase de execução. Têm também sido desenvolvidos alguns

programas computacionais dedicados ao controlo operacional, que ajudam o engenheiro eletrotécnico a manter a sua obra dentro do cronograma previamente estabelecido, com a garantia do cumprimento dos prazos estipulados e do controlo dos custos.

1.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo aprofundar a formação na área de especialização em Sistemas de Energia, no âmbito do Mestrado em Automação e Comunicações em Sistemas de Energia (MACSE), ministrado pelo Instituto Superior de Engenharia de Coimbra (ISEC), e é parte integrante dos requisitos necessários à obtenção grau de Mestre nesta área de especialização.

O trabalho integra-se nas atividades da empresa Estudos e Projetos Industriais, Lda. (EXSEPI), em particular na vertente de Projetos de Instalações Elétricas, com o objetivo de desenvolver uma aplicação informática eficiente, simples e intuitiva para cálculo das partes constituintes de uma canalização elétrica, como por exemplo, barramentos e cabos de baixa tensão (BT) e média tensão (MT). O programa deverá ter em conta a informação específica aplicável, de índole regulamentar, presente nas Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT), Portaria n.º 949-A/2006, publicada no Diário da República, 1.ª série, n.º 175, de 11 de Setembro de 2006.

1.2 Objetivo Específico

Durante a realização do estágio na EXSEPI surgiu a necessidade de desenvolver uma ferramenta computacional de apoio ao projeto de instalações elétricas. Assim, após um estudo mais pormenorizado e aprofundado das RTIEBT passou-se à elaboração de um programa computacional de fácil utilização, destinado ao dimensionamento e proteção de canalizações elétricas. No início, foram apontados os objetivos fundamentais desta ferramenta, dos quais se salientam:

- apresentar eficiência computacional, ser robusto, fiável e preciso,
- respeitar as boas regras da técnica, assim como as práticas empresariais,
- apresentar uma interface amigável com o utilizador e um tempo de treino reduzido,
- poder ser utilizado na formação de pessoal técnico,
- ser fácil acrescentar novos módulos de cálculo, novas tabelas e outra informação e dados relevantes,

- as atualizações poderem ser realizadas sempre que necessário, como por exemplo, atualizações impostas pela alteração das normas e regulamentação em vigor,
- poder ser utilizado tanto ao nível do projeto, como ao nível do trabalho de campo,
- não requer a compra de uma licença adicional para a sua utilização,
- correr em qualquer computador onde esteja disponível uma folha de cálculo compatível (por exemplo, Microsoft Excel).

Ficou também definido que, na fase de testes, as soluções produzidas fossem comparadas com os resultados obtidos através de um pacote de programas computacional, de natureza comercial, utilizado habitualmente pela indústria. Com o objetivo de realizar esta comparação, optou-se pelo programa Ecodial, desenvolvido pela *Schneider Electric*, uma vez que é comumente utilizado em Portugal ao nível do cálculo de instalações elétricas em BT. O Ecodial cumpre as RTIEBT e as normas internacionais aplicáveis, tendo sido aprovado pela *Union Technique de l'Electricité* (UTE), entidade responsável pela normalização do setor elétrico em França. Esta ferramenta de cálculo destina-se, principalmente, ao projeto de instalações de distribuição elétrica em BT, para edifícios industriais e do terciário.

1.3 Justificação da Relevância do Tema

Nas sociedades modernas existe uma forte dependência da energia elétrica. No dia-a-dia os cidadãos utilizam-na nas mais diversas atividades, sendo para a maioria das pessoas inconcebível um quotidiano sem o recurso à mesma. A eletricidade está presente, desde as situações mais simples, como o aquecimento e a iluminação das habitações, às mais avançadas instalações e sistemas industriais. Atendendo ao seu carácter indispensável no quotidiano, torna-se fundamental reconhecer os perigos que advêm do seu uso incorreto, o qual pode colocar em risco a segurança de pessoas e bens. Importa por isso que, o projeto, a execução, a exploração e a conservação das instalações elétricas sejam realizados de forma adequada, de acordo com a legislação em vigor e as boas regras da técnica.

Os vários processos de cálculo e considerações técnicas, requeridos para que a instalação esteja de acordo com as normas e os regulamentos, implicam a disponibilidade de tempo por parte do projetista. Pretende-se com este estágio criar uma ferramenta que reduza o tempo despendido na realização de um projeto elétrico, através da integração de toda a informação necessária e, simultaneamente, a redução de possíveis erros.

É preciso cada vez mais inserir, ao nível dos projetos de instalações elétricas, o conceito de que é necessário investir em novas tecnologias para promover a melhoria da qualidade e a

diminuição de custos. As principais ferramentas, utilizadas atualmente em todos os segmentos do setor elétrico, são baseadas em pacotes de programas computacionais e um dos fatores principais para a sua utilização é a grande diminuição dos custos que a sua aplicação proporciona.

1.4 Atividades Realizadas Durante o Estágio

Durante o estágio na empresa EXSEPI, a aluna esteve envolvida em diversas atividades na empresa. No entanto, a maior parte do tempo foi dedicado à implementação do programa computacional proposto e à sua validação. Assim, passa-se a indicar algumas das tarefas realizadas:

- Participação nas atividades da empresa, ao nível do registo e organização de elementos e documentação interna,
- Estudo, análise e compreensão das RTIEBT,
- Estudo, análise e compreensão do manual Instalações de Telecomunicações em Edifícios (ITED),
- Estudo, análise e compreensão de projetos de instalações elétricas já elaborados,
- Utilização de várias ferramentas de *software*, das quais se salienta o Microsoft Office, Autocad e Ecodial,
- Desenvolvimento de uma ferramenta computacional para apoio ao projeto de instalações elétricas, nomeadamente para o cálculo de canalizações elétricas,
- Cálculo das secções a utilizar em casos reais, através de três métodos diferentes: dimensionamento teórico-prático, através do Ecodial e pela aplicação do programa desenvolvido,
- Comparação e análise dos valores obtidos pelos métodos referidos anteriormente,
- Elaboração do presente relatório de estágio.

1.4.1 Atividades de formação e adaptação

Após a receção na empresa por um dos administradores da EXSEPI, da apresentação das instalações e dos colegas de trabalho, das formalizações e das considerações a nível de funcionamento da empresa, a primeira semana foi passada com atividades de formação e de adaptação. Assim, os primeiros dias foram reservados à leitura de documentos importantes, nomeadamente, as RTIEBT, o manual da 2.^a Edição do ITED, programas de trabalho genéricos e catálogos de fornecedores. Esta fase revelou-se muito importante na ambientação

à empresa, ao desempenho exigível a nível profissional e ao trabalho a desenvolver. Também foi um período bastante útil, por contribuir para uma assimilação das responsabilidades, regras e normas a cumprir.

Após esta primeira semana de adaptação, o primeiro mês do estágio foi passado num dos gabinetes de projeto da empresa, onde teve a oportunidade de colaborar num trabalho de retificação dum projeto elétrico.

1.4.2 Atividade principal

Como já foi referido anteriormente, o objetivo principal do estágio foi o desenvolvimento de um programa computacional, para o cálculo de canalizações elétricas. Após as atividades de formação e adaptação referidas, começou-se por planificar as diferentes etapas necessárias à implementação de uma ferramenta computacional que permitisse determinar a secção do cabo a utilizar numa determinada instalação e respetiva queda de tensão.

Na primeira etapa foi definido o ambiente de trabalho, tendo sido selecionado o Microsoft Excel como *software* de apoio para o desenvolvimento da ferramenta de cálculo proposta. Optou-se por utilizar o Microsoft Excel por se tratar de uma folha de cálculo que permite, entre outras funcionalidades:

- a utilização de fórmulas e funções, para automatizar os cálculos e analisar os dados,
- a realização de formatações para apresentar os dados de uma forma atraente e inteligível,
- melhorar a apresentação e a compreensão dos dados e das soluções produzidas.

Na segunda etapa procedeu-se ao planeamento da interface do programa, definindo-se os diferentes parâmetros da entrada de dados, o formato para a sua apresentação e a configuração relativa à saída de resultados. Na etapa seguinte, procedeu ao desenvolvimento da estrutura do programa, designadamente, foi definido o modo como a informação contida nas tabelas, com os dados regulamentares, é acedida. Na quarta etapa, foram implementadas as funções necessárias aos cálculos, bem como as restrições técnicas, normativas e regulamentares aplicáveis. Na fase posterior, passou-se à avaliação do desempenho da ferramenta computacional, tendo-se procedido a um conjunto de testes para apreciar a sua eficiência, fiabilidade, precisão e robustez, tendo-se procedido a algumas correções. Finalmente, na sexta etapa, passou-se à validação, comparando os resultados obtidos com as soluções produzidas pelo Ecodial, para diversas situações práticas, nomeadamente calcularam-se as secções de cabos a instalar, em algumas das obras realizadas pela EXSEPI. A fase de validação de um *software* é uma etapa de primordial importância, para garantir que as metas e os objetivos

propostos foram efetivamente atingidos e que o programa soluciona o conjunto de problemas que motivou o seu desenvolvimento. A análise comparativa das respostas obtidas pelos dois programas permite concluir que apresentam uma boa concordância, pelo que a nova ferramenta computacional poderá ser aplicada, com sucesso, tanto por projetistas, como pelos responsáveis pela execução das instalações elétricas.

1.5 Apresentação Estrutural do Relatório

O presente relatório de estágio encontra-se dividido em cinco capítulos, apresentando no início um resumo e um *abstract* que sintetizam o alcance do trabalho. Imediatamente a seguir ao índice apresentam-se as listas das figuras, das tabelas e de todos os símbolos, abreviaturas e acrónimos utilizados. As referências bibliográficas e o anexo surgem no final do texto. As expressões, as figuras e as tabelas encontram-se numeradas sequencialmente, por capítulo, sendo o seu número de ordem precedido pelo número do capítulo a que dizem respeito. As referências bibliográficas encontram-se ordenadas pela ordem como foram mencionadas no texto.

Durante a realização deste Estágio, como já foi referido, optou-se pela criação de um método de trabalho que desse resposta aos objetivos propostos. Assim, não só com o intuito de dar a conhecer o trabalho desenvolvido, mas também apresentar os procedimentos escolhidos, estruturou-se este documento em cinco capítulos que se passam a descrever resumidamente:

No Capítulo 1 – “Introdução” apresentam-se as preocupações e motivações que levaram à realização do Estágio, a descrição do objeto a ser tratado e os objetivos gerais de trabalho.

No Capítulo 2 – “Enquadramento Empresarial” apresenta-se a empresa onde a aluna realizou o estágio e as áreas de atividade desenvolvidas pela mesma.

O Capítulo 3 – “Canalizações Elétricas” é basicamente teórico, fazendo uma descrição completa de como dimensionar uma canalização elétrica o mais corretamente possível. Apresenta ainda várias tabelas com as características que se devem considerar, quando se pretende dimensionar todos os parâmetros de uma canalização e alguns fluxogramas com as etapas que se devem seguir, para o seu correto dimensionamento.

O Capítulo 4 – “Aplicação Desenvolvida” é o que se considera mais importante deste relatório, atendendo a que corresponde ao objetivo principal enunciado na proposta de estágio. Apresenta-se a aplicação desenvolvida, exemplificando com três casos reais distintos, decorridos na empresa durante a realização do estágio. Faz-se ainda uma comparação dos

resultados destes exemplos práticos, obtidos através da ferramenta desenvolvida, com a sua solução analítica e com o *software* Ecodial. Por último, faz-se uma comparação das três situações, justificando eventuais diferenças.

Finalmente, no Capítulo 5 – “Conclusões” descrevem-se os aspetos mais relevantes do documento, as dificuldades encontradas ao longo do estágio, são apresentadas as principais conclusões do trabalho realizado durante o estágio e sugeridas propostas para desenvolvimentos futuros.

2 Enquadramento Empresarial

Atendendo à natureza do estágio, torna-se imprescindível uma apresentação da empresa na qual o mesmo foi realizado, sendo igualmente necessário caracterizar as atividades realizadas durante o período de estágio. Neste contexto, foi elaborada uma descrição de alguns tópicos considerados relevantes em relação à empresa.

2.1 Apresentação da EXSEPI

A EXSEPI, empresa sediada em Anadia, desde 1991, é uma das pioneiras na área da Automação Industrial e Sistemas de Controlo. Com mais de vinte anos de experiência no mercado, presta serviços de engenharia de suporte à indústria, que vão desde a Automação e Controlo Industrial, Comunicações e Sistemas de Informação à Eficiência Energética e Gestão Ambiental [4]. Na Fig. 2.1, apresenta-se a fachada principal da EXSEPI.



Fig. 2.1. Fachada principal da EXSEPI.

Devido ao elevado grau de rigor que impõe em cada projeto, aos conhecimentos técnicos e capacidade de inovação dos seus quadros, a EXSEPI colocou desde sempre um desempenho notável em todas as fases de projeto, tendo como particularidade responder aos problemas do presente com soluções de futuro.

A empresa congratula-se pelo facto, da maior parte da publicidade que é feita ao nome EXSEPI ser a satisfação e reconhecimento dos seus clientes, posicionando-se atualmente em

todo o país como uma referência e sinónimo de qualidade ao mais elevado nível. A empresa tem realizado vários trabalhos no estrangeiro, nomeadamente em Espanha, Alemanha, Hungria, Áustria, Marrocos, Angola, Chile, Uruguai e México [4].

2.2 Localização da EXSEPI

A EXSEPI – Estudos e Projetos Industriais, Lda., encontra-se sedeadada em Vale de Moleiros, Apartado 65, 3780-621 Aguim – Anadia, com o telefone 231 510 350, endereço de correio eletrónico, geral@exsepi.com e coordenadas de GPS, 40°24'24''N, 8°26'57''W. Na Fig. 2.2, apresenta-se um mapa de localização da EXSEPI, retirado do Google Earth.

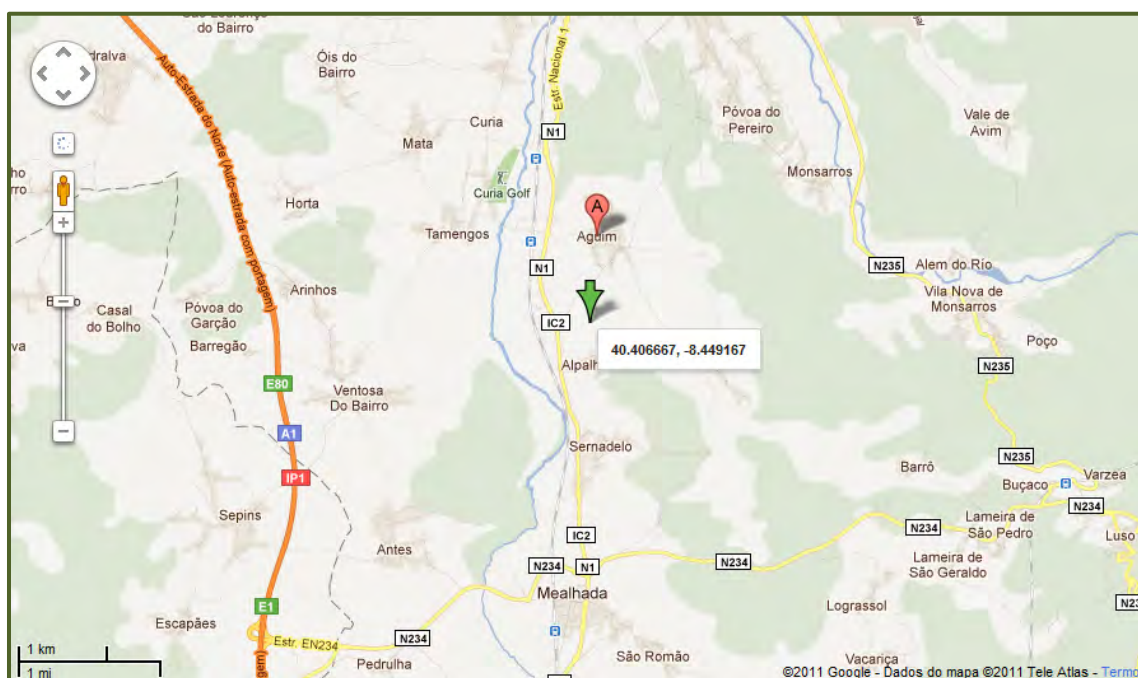


Fig. 2.2. Localização da EXSEPI.

2.3 Missão, Visão, Valores e Política da Qualidade

A missão da EXSEPI é a execução de estudos, projetos e instalação de soluções industriais integradas [4]. A empresa compromete-se a promover e desenvolver a sua atividade com “Qualidade”, de forma coerente com a política e objetivos organizacionais, garantindo a sustentabilidade do negócio.

Ser uma organização prestadora de serviços credível junto dos clientes, gerando no mercado uma imagem de solidez pela apresentação de uma estrutura flexível, competitiva e competente, numa procura permanente das melhores soluções para o cliente.

A política de qualidade da empresa está essencialmente orientada para o cliente, servindo em simultâneo os interesses da organização, o que se traduz nos seguintes aspetos essenciais:

- Superar as necessidades e expectativas do cliente,
- Assegurar uma visão positiva do desempenho da empresa por parte da sociedade,
- Garantir o sucesso e a sustentabilidade económica da empresa,
- Assegurar relações de parceria sólidas com todos os fornecedores,
- Desenvolver o serviço na perspetiva da redução dos modos de falha,
- Progredir no sentido da melhoria contínua da eficácia e eficiência do Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ),
- Promover uma maior consciencialização dos colaboradores para a importância do seu trabalho na qualidade dos “produtos”, bem como a sua motivação para com o SGQ.

2.4 Áreas de Atividade da Empresa

A atividade comercial da EXSEPI está organizada nas seguintes áreas de negócio, representadas na Fig. 2.3 [4].

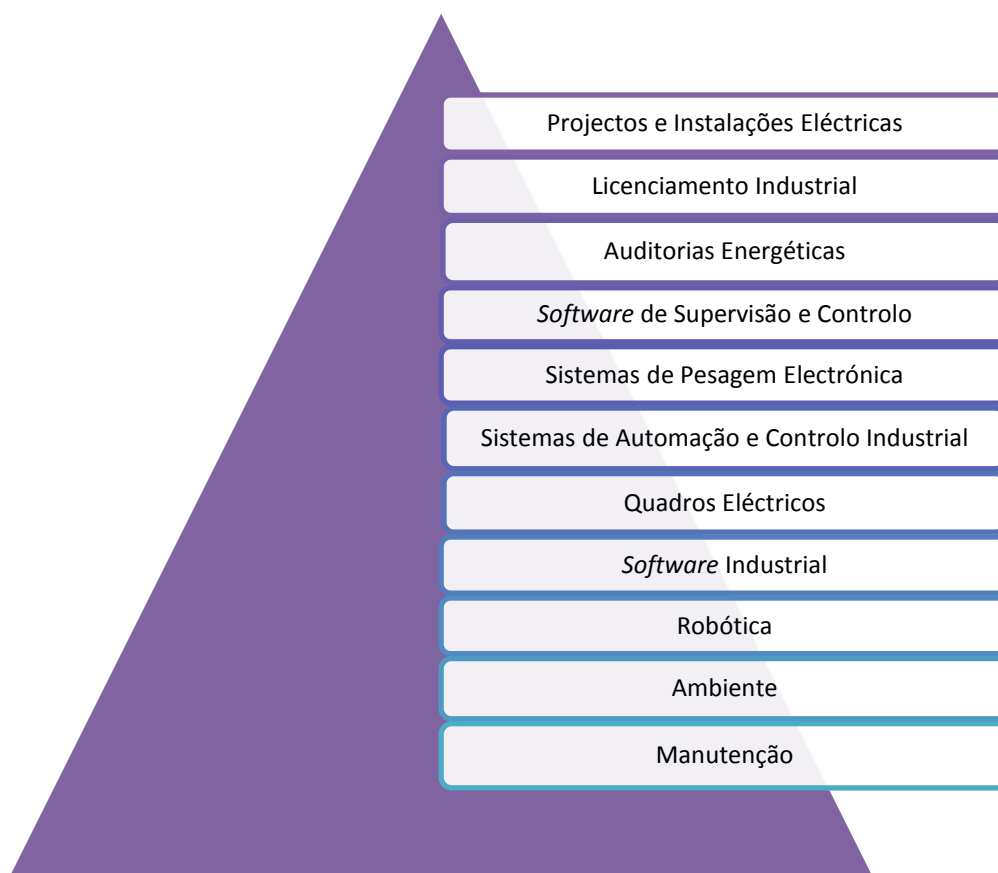


Fig. 2.3. Áreas de atividade da empresa.

Projetos e Instalações Elétricas

As instalações e redes elétricas são pontos vitais no desempenho de qualquer indústria. O estudo pormenorizado, o dimensionamento e a aplicação cuidadosa dos equipamentos permitem o funcionamento contínuo e fiável de qualquer instalação elétrica. Ciente destes princípios, a EXSEPI equipou-se com *software* de ponta, apostando na formação contínua dos seus técnicos para assegurar sempre a resposta mais eficiente, nas diferentes áreas de atividade em que está envolvida e que vão desde a microeletrónica até à alta tensão. Na Fig. 2.4, visualiza-se um dos gabinetes de projeto da EXSEPI.



Fig. 2.4. Gabinete de projeto.

Licenciamento Industrial

Peritos nas burocracias sistemáticas necessárias ao licenciamento das entidades industriais, disponibiliza um departamento que se dedica a acompanhar e desenvolver as diligências necessárias ao licenciamento industrial em qualquer ramo de atividade.

Auditorias Energéticas

Em geral, as indústrias transformadoras têm um elevado consumo de energia elétrica que se reflete em custos. Como geralmente estes custos são possíveis de reduzir, a empresa desenvolve soluções com base em equipamentos eficientes e robustos que se rentabilizam a curto prazo em termos de poupança energética, minimizando ainda o desgaste prematuro dos equipamentos.

Quadros Elétricos

Os quadros elétricos de comando, força motriz e distribuição que integram as indústrias são parte fundamental à sua laboração. A excelente qualidade de acabamentos que se verifica

quer no interior quer no exterior dos quadros elétricos, equivale à qualidade superior dos materiais utilizados, obedecendo às exigentes normas de segurança e qualidade impostas pela União Europeia (UE). Salienta-se ainda a preocupação de oferecer ao utilizador uma interface de utilização simples, intuitiva e fiável, com o máximo de informações disponíveis para que se possa obter o máximo de aproveitamento do equipamento e a rápida resolução de alguma eventual anomalia que possa ocorrer. Na Fig. 2.5, visualiza-se um colaborador da EXSEPI, a trabalhar na oficina.



Fig. 2.5. Trabalho em oficina - quadros elétricos.

Sistemas de Automação e Controlo Industrial

A automação dos sistemas de produção é hoje em dia um facto incontornável para rentabilizar qualquer unidade industrial, por isso o recurso ao uso de autómatos programáveis, de controladores de processo dedicados associados a *software* de aquisição de dados, tratamento estatístico e execução de relatórios, controlando o processo de produção como um todo, impõem-se como uma necessidade. Neste campo a EXSEPI dispõe de soluções e de um corpo técnico qualificado e experiente para desenvolver e implementar o *software* dos autómatos e computador de interface.

Sistemas de Pesagem Eletrónica

Os sistemas de pesagem que não possuam um bom desempenho, podem acarretar prejuízos de produção bastante elevados. Atenta a este problema, a empresa desenvolve sistemas e processos de pesagem dinâmica e estática, desde a seleção até à preparação e dosagem de matérias-primas adaptáveis a qualquer situação e realidade industrial, cujas soluções EXSEPI são garantia de qualidade e desempenho total destes sistemas.

Software Industrial

Para preencher certas necessidades do mercado, relativamente a *software* destinado a aplicações específicas e com vista a satisfazer as necessidades dos clientes, a EXSEPI projeta e desenvolve *software* industrial específico. O *software* desenvolvido pode ir desde uma simples aplicação para a gestão e armazenamento em base de dados, dos dados relativos à produção, até à gestão e controlo do processo, entre outras funcionalidades. Na Fig. 2.6, visualiza-se a sala de formação da EXSEPI.



Fig. 2.6. Sala de formação.

Software de Supervisão e Controlo

Os sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA) permitem apresentar no computador do utilizador, o funcionamento e desempenho de toda ou parte da unidade fabril, fornecendo em tempo real o estado de funcionamento da unidade monitorizada.

Hoje em dia é fundamental ter o processo de produção monitorizado por estes sistemas, atendendo a que é possível efetuar ações tão simples, como por exemplo, registar informação de funcionamento da unidade e controlar, através de um simples comando num computador, o arranque e paragem de um motor. Na Fig. 2.7, visualiza-se um dos gabinetes de *software* de Supervisão e Controlo.

Manutenção

A manutenção regular é essencial para manter a segurança e fiabilidade do equipamento, das máquinas e do ambiente de trabalho. A falta de manutenção ou a manutenção inadequada podem provocar situações perigosas, acidentes e problemas de saúde. A EXSEPI efetua a manutenção de todos os sistemas por si implementados durante e após o fim da garantia dos

seus produtos. Para tal a EXSEPI possui técnicos especializados que asseguram a resolução dos problemas de uma forma rápida e segura.

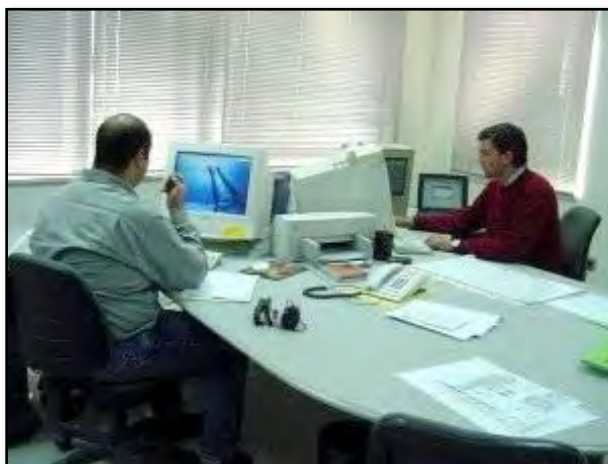


Fig. 2.7. Gabinete de *software*.

Ambiente

Atenta à evolução da importância que o meio ambiente assume atualmente, a EXSEPI projeta e constrói Estações de Tratamento de Águas Residuais Industriais (ETAR) de acordo com as necessidades de cada situação. O tratamento de águas residuais é um processo industrial que consiste numa série de tratamentos físicos, biológicos e químicos, configurados para que, técnica e economicamente se obtenha uma solução ótima, adaptada às condições do projeto.

Robótica

Ainda atenta à necessidade de integração total como ponto de partida para a otimização dos processos, a EXSEPI desenvolveu parcerias com fabricantes conceituados, encontrando-se neste momento preparada para efetuar a integração de robots nos vários processos industriais [4].

2.5 Sistema de Gestão de Energia

A EXSEPI desenvolveu um *software* de gestão de energia, totalmente adaptável às necessidades de cada cliente [4]. O conjunto de práticas, ferramentas e procedimentos utilizados para monitorizar, reduzir e compreender o consumo energético constituem no conjunto o Sistema de Gestão de Energia (SGE).

Deve-se considerar a gestão energética, não apenas a medição dos consumos e a tradução dos consumos em custos, mas também a qualidade, o ambiente e a segurança de toda a rede energética, pois só assim ter-se-á a garantia objetiva e efetiva do SGE.

A energia é um recurso, tal como o são os equipamentos e as pessoas ao nível empresarial, acabando por tudo se traduzir em dinheiro, cuja importância deve ser proporcional ao seu custo dentro das empresas, quanto mais energia se consome, maior deverá ser a preocupação em a gerir.

Contudo e não obstante desse facto, só um número muito reduzido de empresas usa ferramentas e procedimentos para melhorar o desempenho da sua gestão energética. Esta situação acontece, principalmente, porque as empresas não sabem bem por onde começar para implementar o SGE. Atenta a esse facto a EXSEPI, desenvolveu um *software* adaptável a qualquer empresa industrial ou instituição pretendendo facilitar a implementação um sistema de gestão energética com êxito [4].

2.6 Estrutura Organizacional

Na Fig. 2.8, apresenta-se o organigrama da empresa [4]. Atualmente, o efetivo direto é de cerca de trinta pessoas.

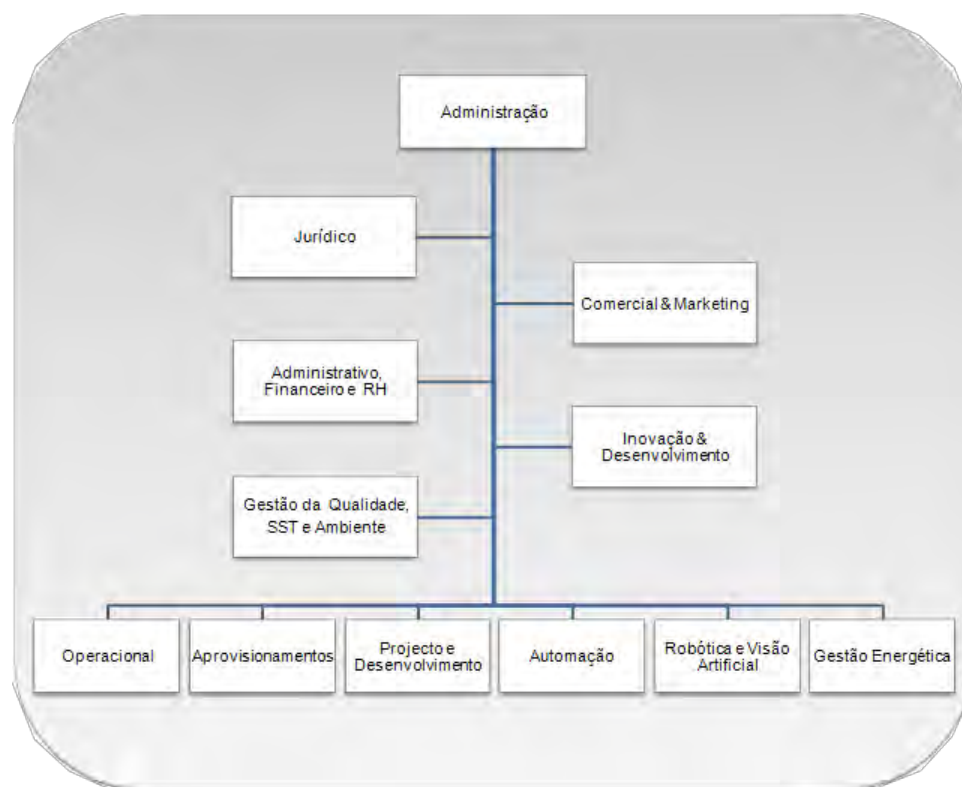


Fig. 2.8. Organigrama da empresa.

2.7 Programas Computacionais

Neste subcapítulo, serão descritos sucintamente alguns dos pacotes de programas computacionais mais utilizados durante a realização do estágio, como meios auxiliares à elaboração de projetos de instalações elétricas. Passa-se a fazer uma breve descrição de cada um em particular:

Autocad

Este *software* é a ferramenta de trabalho mais conhecida e mais utilizada no desenho gráfico, pois permite realizar todo e qualquer tipo de desenho, de uma forma relativamente simples, possuindo atualmente diversas ferramentas dedicadas a esta área.

Microsoft Project

Este *software* para acompanhamento e controlo de projeto, permite fazer o planeamento completo de uma obra, nomeadamente dos recursos humanos, entrega de materiais e execução dos trabalhos. Os seus resultados podem ser facilmente compreendidos, através de tabelas e gráficos comparativos.

Microsoft Office

A Fig. 2.9, apresenta o conjunto de programas mais utilizado nesta aplicação informática. A folha de cálculo Excel, um dos programas do pacote Microsoft Office, foi escolhida como *software* de apoio para o desenvolvimento da ferramenta de cálculo das canalizações elétricas.

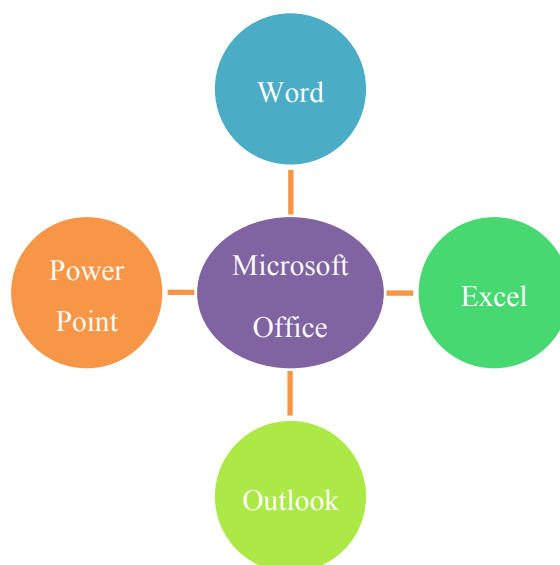


Fig. 2.9. Diagrama de algumas aplicações pertencentes ao Microsoft Office.

Existem alguns programas dedicados a projetos de instalações elétricas, como por exemplo, o Caneco e o Ecodial, que são aplicações informáticas que permitem fazer o correto dimensionamento de uma canalização elétrica, desde o cálculo das intensidades de corrente elétrica, à secção dos cabos e respetivas quedas de tensão, assim como todos os restantes cálculos necessários ao correto dimensionamento de uma instalação elétrica. Estes pacotes de programas computacionais apresentam um conjunto de funcionalidades muito semelhantes e tanto o Caneco, como o Ecodial obedecem às normas CEI 60364 e NF C15-100.

Caneco

O Caneco BT é um programa de cálculo e análise de instalações elétricas de baixa tensão. Inclui quatro ferramentas para introdução de dados dos circuitos, dois editores gráficos para desenho de diagramas de quadros simples unifilares e redes de diagramas unifilares, uma folha de cálculo, e várias janelas com todos os dados introduzidos e utilizadas para a realização de cálculos pormenorizados.

O Caneco calcula e determina intensidades, proteções, cabos, canalizações pré-fabricadas, caminhos de cabos, preço de instalações, utilizando uma base de dados vários fabricantes. Produz e imprime igualmente, todos os documentos necessários para a conceção, realização, verificação e manutenção das instalações elétricas. A aplicação completa é constituída por dezasseis módulos independentes, tendo cada um deles funcionalidades específicas. Apresenta relatórios técnicos completos, de acordo com modelos padrão e modelos desenhados pelo utilizar, nomeadamente o esquema unifilar geral e dos quadros, a ficha de cálculos e a coordenação de proteções [5].

Ecodial

O programa Ecodial, desenvolvido pela *Schneider Electric*, é comumente utilizado ao nível do cálculo de instalações elétricas em BT. Esta ferramenta de cálculo destina-se, principalmente, ao projeto de instalações de distribuição elétrica em BT, para edifícios industriais e do terciário.

O Ecodial otimiza a escolha dos equipamentos segundo as necessidades dos diferentes utilizadores, garantindo desta forma a qualidade da instalação e a segurança de pessoas e dos bens. Permite, igualmente, a otimização na seleção e nas regulações da aparelhagem, a visualização das curvas de disparo, a seletividade das proteções e a coordenação da aparelhagem de proteção de motores. Oferece outras funções complementares, como a gestão dos projetos e a exportação das soluções produzidas para outros programas [6].

2.8 Conclusões

Neste capítulo foi apresentada a empresa onde a aluna realizou o estágio e as áreas de atividade desenvolvidas pela mesma. Na sequência deste trabalho, considerou-se de extrema importância desenvolver uma ferramenta informática que permitisse calcular todos os parâmetros necessários ao correto dimensionamento de uma canalização elétrica, de uma forma simples e intuitiva. Foram, igualmente, apresentados alguns dos pacotes de programas computacionais mais utilizados durante a realização do estágio, nomeadamente o Caneco e o Ecodial.

3 Canalizações Elétricas

As canalizações elétricas constituem uma parte fundamental das instalações, concorrendo de forma relevante para a qualidade de energia elétrica [7]. Na prática, as canalizações elétricas são conjuntos constituídos por dois ou mais condutores elétricos e pelos elementos que garantem a sua fixação, proteção mecânica e isolamento elétrico. Dimensionar um circuito elétrico, corretamente, consiste em determinar a secção mínima dos condutores, por forma a suportar, em simultâneo, as condições relativas aos limites de temperatura e de queda de tensão, bem como a capacidade de suportar a corrente de curto-circuito por tempo limitado [8].

Os tipos de canalizações elétricas e os seus modos de instalação obedecem a determinados critérios de segurança das pessoas e bens, procurando garantir por um lado, a prevenção dos riscos elétricos associados às correntes e, por outro, a prevenção dos riscos de incêndio associado ao excessivo aquecimento dos condutores. Outro ponto importante é a prevenção do risco de deterioração associado a solicitações mecânicas excessivas [1].

Para um modo correto de seleção da instalação devem ser analisados vários fatores, tais como: natureza dos locais, natureza das paredes e outros elementos de construção, solicitações eletromecânicas presumíveis em caso de curto-circuito e a proteção contra influências externas. Para a escolha da secção dos condutores deve-se atender à temperatura máxima admissível e à queda de tensão máxima, imposta por condições regulamentares ou por necessidades técnicas mais restritivas [9]. As condições regulamentares gerais estão definidas na secção 521 das RTIEBT [10]. É de salientar a existência de três tipos condutores num circuito: condutor(es) de fase, condutor neutro e condutor de proteção e, também, que o condutor neutro não deve ser comum a diversos circuitos.

3.1 Condutores e Cabos Elétricos

Nas instalações elétricas podem ser utilizados cabos e condutores com características diversas, para cada situação concreta de instalação e potência a alimentar dependendo dos seguintes fatores: características da tensão de alimentação, modos de instalação e riscos a que ficam sujeitos pelas influências externas.

A vida útil dos condutores e do seu isolamento depende dos esforços térmicos a que estão sujeitos e que podem suportar, isto é, do aquecimento provocado pela passagem da corrente elétrica. Assim, a intensidade de corrente que percorre um dado condutor de forma contínua, em condições específicas, deve ser tal que, a sua temperatura máxima de funcionamento não seja superior àquela que é estabelecida pelas características de isolamento, nomeadamente 70°C para policloreto de vinilo (PVC) e 90°C para polietileno reticulado (XLPE) ou etileno-propileno (EPR), conforme é indicado nas normas: NP 2356, NP 2357 e NP 2365 (CEI 60502) [11].

A Tabela 3.1 apresenta uma comparação entre os materiais de isolamento mais utilizados.

Tabela 3.1. Pontos fracos e pontos fortes dos materiais de isolamento.

Material	Pontos Fracos	Pontos Fortes
PVC	Baixo índice de estabilidade térmica	Boas propriedades mecânicas e elétricas Não propagador de chama
XLPE	Baixa flexibilidade Baixa resistência à chama	Excelentes propriedades elétricas Boa resistência térmica
EPR	Baixa resistência mecânica Baixa resistência a chamas	Excelentes propriedades elétricas Boa resistência térmica

Os cabos para transmissão de energia distinguem-se principalmente, pelo tipo de instalação e pela tensão de serviço entre fases, conforme se mostra na Fig. 3.1.

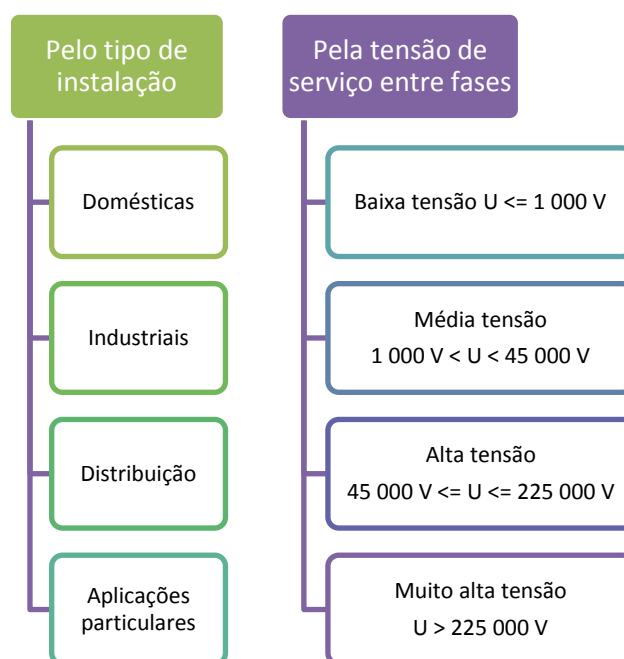


Fig. 3.1. Características da instalação elétrica.

Podem ainda ser cabos rígidos ou flexíveis, conforme a instalação a alimentar seja fixa ou móvel, respetivamente. A escolha deve ser feita de maneira a conferir ao cabo as características e qualidades requeridas, quer no plano técnico quer no plano económico. Esta escolha consiste em determinar os materiais apropriados para os diferentes elementos constituintes do cabo e dimensionar o mesmo em função das condições de funcionamento e instalação da canalização projetada, cumprindo as normas e a regulamentação em vigor.

3.2 Modos de Instalação

As canalizações devem ser estabelecidas de forma a poder ser assegurada a sua boa exploração e conservação, isto é, deverá ser assegurada a possibilidade de verificação do estado do seu isolamento, da localização ou reparação de qualquer avaria e a acessibilidade aos aparelhos de ligação. A canalização será colocada de modo a facilitar a sua instalação, inspeção, manutenção e o acesso às suas ligações [1]. A seleção do modo de instalação das canalizações, no que se refere a condutores e aos cabos, deve ter em conta [12]:

- A natureza dos locais
- A natureza das paredes e dos outros elementos da construção que as suportam
- A tensão
- As solicitações eletromecânicas presumíveis em caso de curto-circuito
- Outras solicitações que possam ser previsíveis durante a execução ou em serviço normal e, ainda, os aspetos relacionados com:
 - As ligações, extremidades e fixações
 - A proteção contra as influências externas.

Resumindo, o modo de instalação da canalização em função do tipo de condutor ou de cabo, deve ser selecionado a partir do quadro 52F das RTIEBT e os modos de instalação das canalizações em função da sua situação particular, deve ser selecionado a partir do quadro 52G das RTIEBT.

Através da análise dos quadros referidos anteriormente, existe um quadro mais pormenorizado com todas as situações possíveis, para os modos de instalação de uma canalização (Quadro 52H das RTIEBT). Por exemplo, selecionando o método de referência A, condutores isolados em condutas circulares (tubos) embebidas em elementos da construção, termicamente isolantes, como é possível observar na Fig. 3.2 [10].

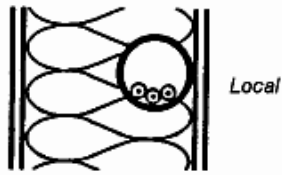
Exemplo	Designação	Ref ^a	Método de ref ⁽¹⁾
1	2	3	4
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) embecidas em elementos da construção, termicamente isolantes	1	A

Fig. 3.2. Exemplo de um modo de instalação.

3.3 Características dos Cabos e seus Condutores

Neste domínio, a regulamentação é constituída por normas, especificações técnicas, cadernos de encargos e recomendações, que definem os tipos de cabos e fixam as suas dimensões e características principais, assim como os meios de as controlar, quer no plano nacional quer no internacional [11].

De todos os materiais condutores, os cabos mais utilizados em instalações elétricas são o cobre e o alumínio, sendo sem dúvida o cobre o mais usado, pois apesar de ter um custo superior ao do alumínio, apresenta uma melhor condutividade. O cobre permite usar cabos de menor secção, o que é uma vantagem nas canalizações entubadas, menores diâmetros dos tubos, e/ou embecidas, roços nas paredes de menor dimensão. Apresenta uma tensão de rutura superior à do alumínio, assim como o alongamento à rutura, o que corresponde a uma maior flexibilidade, desta forma conclui-se que o cobre deverá ser usado sempre que tais características mecânicas sejam determinantes [13]. Na Tabela 3.2, pode-se visualizar as principais características destes dois tipos de condutores.

Tabela 3.2. Caraterísticas dos condutores cobre e alumínio.

Características	Unidade	Cobre	Alumínio
Ponto de fusão	°C	1083	660
Calor específico	Cal/g °C	0,092	0,217
Coeficiente de variação da resistividade	/°C	0,00393	0,00403
Coeficiente de dilatação linear	10 ⁻⁶ /°C	16,4	23,2
Massa volúmica	g/cm ³	8,890	2,703
Tensão de rutura	kg/mm	25	7-10
Alongamento na rutura	%	25-35	3
Condutividade a 20°C	S.m/mm ²	58	36
Resistividade a 20°C	mm ² /m	0,0172	0,0280

Os condutores isolados e os cabos são constituintes relevantes das canalizações, assumindo uma diversidade significativa, em função das várias aplicações para que estão destinados, de forma a para responder às inúmeras situações de estabelecimento e de utilização. Por isso, são objeto de um conjunto significativo de normas e publicações nacionais e internacionais que definem as suas características e ensaios. Dentre essas normas, as que dizem respeito à designação são fundamentais para a identificação dos condutores [8].

A identificação dos condutores é realizada com base na NP 2359: 1984 – Identificação e Utilização dos Condutores Elétricos Isolados e Flexíveis – que assenta nas orientações do documento de harmonização HD 308 S1: 1976 do Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica (CENELEC). No documento de harmonização HD 308 S2: 2001 do CENELEC, são definidos os códigos de cores para a identificação dos condutores rígidos e flexíveis [14], conforme se mostra na Tabela 3.3.

Tabela 3.3. Cores dos condutores isolados e respetiva ordem sequencial.

Número de condutores	2	3	4	5	Cor	Função
Com condutor de proteção					Verde-amarelo	Proteção
					Azul	Neutro
					Castanho	Fases
					Preto Cinzento	
Sem condutor de proteção					Azul	Neutro
					Castanho	Fases
					Preto	
					Cinzento Preto	

Os condutores isolados e cabos são referidos por designações simbólicas constantes do documento de harmonização HD 361 S3: 1999 do CENELEC. O sistema de designação é um conjunto alfanumérico de caracteres traduzindo as características relativas à normalização, tensão, isolamento, revestimento metálico, bainha, forma, natureza, flexibilidade e composição. No Anexo IIA das RTIEBT, é possível verificar os símbolos utilizados nas designações de condutores e cabos referentes ao documento de harmonização HD 361, relativamente aos condutores e cabos não harmonizados é necessário analisar o Anexo IIB das RTIEBT correspondente à norma NP 665.

3.4 Secções Mínimas dos Condutores

As secções dos condutores de fase nos circuitos de corrente alternada e dos condutores ativos nos de corrente contínua não devem ser inferiores aos valores indicados no Quadro 52J

das RTIEBT. Na Tabela 3.4, são apresentadas as secções mínimas para condutores de cobre [15].

Tabela 3.4. Secções mínimas do condutor de cobre.

Natureza das canalizações		Utilização do circuito	Secção (mm ²)
Instalações fixas	Cabos e condutores isolados	Iluminação	1,5
		Tomadas e força motriz	2,5
		Fogão	4
		Sinalização e comando	0,1
	Condutores nus	Potência	10
		Sinalização e comando	4
Ligações flexíveis por meio de cabos ou de condutores isolados		Para um aparelho	Depende da norma do aparelho
		Para todas as outras aplicações	0,75

Nos circuitos monofásicos a secção do condutor neutro é igual à secção dos condutores de fase. Nos circuitos trifásicos se a secção dos condutores for inferior ou igual a 16 mm², a secção do neutro é igual à secção dos condutores de fase. Caso contrário, a secção do neutro pode ser inferior à secção dos condutores de fase, se forem verificadas, simultaneamente, as condições seguintes [10]:

- a) a corrente máxima suscetível de percorrer o condutor neutro em serviço normal, incluindo a das eventuais harmónicas, não for superior à corrente admissível correspondente à da secção reduzida do condutor neutro,
- b) o condutor neutro estiver protegido contra sobreintensidades,
- c) a secção do condutor neutro não for inferior a 16 mm² (condutor de cobre).

3.5 Correntes Máximas Admissíveis

A secção 523 das RTIEBT é dedicada às regras relativas às correntes admissíveis nos cabos e nos condutores isolados, para utilização a tensões não superiores a 1 kV em corrente alternada ou a 1,5 kV em corrente contínua [10]. Estas regras destinam-se a garantir uma vida útil satisfatória para os condutores e para os seus isolamentos quando submetidos aos efeitos térmicos do funcionamento à temperatura máxima. Na determinação da secção dos condutores devem ainda ser consideradas, nomeadamente as condições relativas à proteção contra os choques elétricos, proteção contra os efeitos térmicos, proteção contra as

sobreintensidades, quedas de tensão e temperaturas limite para os terminais dos equipamentos aos quais os condutores são ligados. As correntes admissíveis dependem de vários fatores, entre os quais se salientam:

- Secção e natureza da alma dos condutores,
- Natureza do seu isolamento,
- Número de condutores em carga,
- Modo de estabelecimento (condutores não podem atingir temperaturas superiores às que os seus isolamentos suportam).

Como já foi referido anteriormente, existem sete métodos de referência, designados pelas letras A, B, C, D, E, F e G, para avaliação das correntes. Para saber qual a corrente admissível para uma dada canalização, basta identificar o método de referência que lhe é aplicável e consultar a correspondente tabela de correntes admissíveis.

3.6 Escolha dos Cabos Mais Adequados à Instalação

Quando se pretende dimensionar uma instalação elétrica, um dos fatores mais importantes que se deve ter em consideração é a escolha correta dos cabos a instalar, de modo a garantir a segurança das pessoas, mas também para se obter o menor custo possível. Esta escolha é um problema complexo, pois depende de um elevado número de parâmetros, quer técnicos quer económicos [11].

A aplicação desenvolvida durante o estágio permite uma abordagem de vários domínios, em que as informações requeridas são necessárias, a fim de permitir a escolha mais apropriada no plano técnico. De seguida, apresenta-se um organograma, mostrado na Fig. 3.3, com a representação de todos os fatores que se devem ter em consideração, quando se pretende dimensionar uma instalação elétrica.

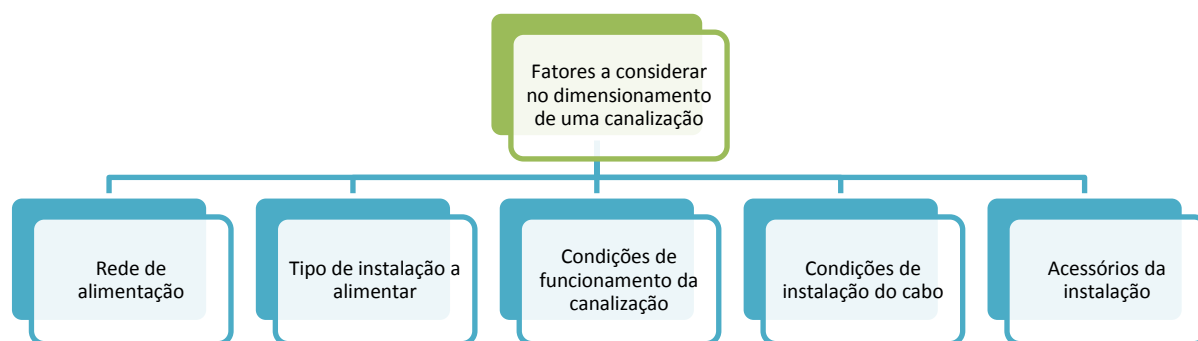


Fig. 3.3. Fatores a considerar no dimensionamento de uma canalização.

3.7 Dimensionamento de Canalizações Elétricas

O dimensionamento das canalizações elétricas consiste em selecionar a secção dos condutores a utilizar e as características do aparelho de proteção correspondente, de acordo com um conjunto de aspetos de natureza, predominantemente técnica e económica. No entanto, a seleção deste valor para a secção dos condutores não pode ser realizada de uma forma isolada em relação à escolha do aparelho de proteção, fusível ou disjuntor, que será instalado nessa mesma canalização elétrica.

Com efeito, estes aparelhos de proteção têm o seu funcionamento caracterizado por dois valores de intensidade de corrente elétrica que deverão ser escolhidos de forma a protegerem o condutor, isto é, estes aparelhos de proteção não deverão atuar se o condutor for percorrido por uma intensidade de corrente inferior à correspondente à potência de carga em regime nominal, devendo identificar como sobreintensidades situações em que a intensidade de corrente seja superior a esse valor. Assim, verifica-se que a seleção de um valor para a secção dos condutores dependerá da maior intensidade de corrente a alimentar não devendo o aparelho de proteção atuar para esta corrente.

Por outro lado, o cabo a instalar apresenta, por aspetos construtivos associados ao seu aquecimento, uma intensidade de corrente máxima admissível que poderá ser ultrapassada por curtos períodos de tempo devendo o aparelho de proteção proceder à sua interrupção se a sobreintensidade for elevada ou, sendo mais baixa, se a sua duração for prolongada [8].

3.7.1 Qualidade de serviço

Nos últimos anos, os aspetos relacionados com a qualidade de serviço têm vindo a ganhar uma importância crescente, tendo em conta a introdução de mecanismos de mercado no sector elétrico e a consequente necessidade de disponibilizar um produto possuindo uma relação qualidade/preço adequada.

A promoção de níveis adequados de qualidade de serviço no sector elétrico é uma condição essencial para o bem-estar e satisfação das necessidades das populações e para o desenvolvimento de uma atividade económica que possa ser globalmente competitiva. Por outro lado, verifica-se que a dependência do consumo de energia elétrica é crescente tendo em conta, designadamente, a existência de cada vez mais aparelhos de utilização que apresentam exigências particulares em relação à tensão disponibilizada pela rede. A contrapor a este aspeto, é também crescente o número de aparelhos cujo funcionamento contribui para degradar a qualidade de serviço [8].

A qualidade de serviço no sector elétrico pode ser analisada nas suas duas componentes: qualidade de serviço de natureza técnica e qualidade de serviço de natureza comercial. A regulação da qualidade de serviço em Portugal continental encontra-se definida através do Regulamento da Qualidade de Serviço e do Regulamento Tarifário, cabendo à Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos (ERSE) a verificação do cumprimento da regulamentação por parte dos diferentes agentes do setor elétrico [16].

A qualidade do serviço implica a continuidade de serviço, a adequação às necessidades dos consumidores, a disponibilidade dos equipamentos e a qualidade dos materiais utilizados, merecendo uma atenção crescente no âmbito das redes elétricas. A regulamentação existente apenas impõe que a queda de tensão, em qualquer ponto da rede, não ultrapasse um limite máximo que se encontra definido (os valores regulamentares são mostrados na tabela 3.7 da subsecção 3.8.5).

3.7.2 Conceitos fundamentais

O objetivo fundamental do dimensionamento e proteção de canalizações é a determinação da secção do cabo a instalar e do calibre da proteção respetiva, da forma mais económica possível, satisfazendo as condições técnicas e regulamentares aplicáveis [9]. A conceção de uma instalação elétrica deve igualmente ter em conta outros fatores, tais como a garantia da segurança das pessoas e bens, o conforto, a qualidade do serviço, a qualidade da execução, a fiabilidade e a flexibilidade de exploração e de utilização. O projeto de uma instalação elétrica deve ser conduzido de uma forma metódica, pesando continuamente os objetivos previamente definidos, tendo em atenção os aspetos económicos, em especial os custos associados às soluções encontradas.

3.7.3 Definições

Os valores fundamentais envolvidos no dimensionamento de uma canalização elétrica, são os seguintes:

- I_B – corrente de serviço da canalização (A),
- I_Z – corrente máxima admissível na canalização (A),
- I_n – corrente estipulada do dispositivo de proteção (A),
- I_2 – corrente convencional de funcionamento da proteção (A),
- Δu – queda de tensão (%),
- $\varepsilon.u_{ns}$ – queda de tensão máxima admissível (%).

A corrente I_B é a intensidade de corrente de carga que serve como base ao dimensionamento da instalação e que resulta da alimentação da potência de carga estimada para a instalação considerando a tensão nominal. A corrente I_Z corresponde ao maior valor de corrente que pode circular na canalização elétrica, tendo em conta o facto de as perdas por efeito de Joule no cabo originarem uma sobrelevação de temperatura.

Devido às suas características construtivas os cabos poderão funcionar em regime permanente a uma temperatura máxima que determina, por sua vez, o valor máximo de intensidade de corrente que pode circular [11].

A intensidade de corrente I_n corresponde ao calibre ou valor nominal da proteção. É de salientar que as canalizações elétricas deverão ser protegidas contra sobreintensidades por fusíveis ou disjuntores. O calibre ou valor nominal corresponde ao valor de dimensionamento do aparelho de proteção que este pode suportar em regime permanente sem atuar. A escolha da secção a adotar do respetivo aparelho de proteção deverá realizar-se de modo a manter uma qualidade de serviço aceitável.

De acordo com as RTIEBT, o valor da intensidade de corrente I_2 , na prática, é igual à corrente de funcionamento, no tempo convencional, para os disjuntores, e à corrente de fusão, no tempo convencional, para os fusíveis do tipo gG.

O valor de I_B é calculado em função da carga prevista para a canalização, o valor de I_Z depende da secção e das condições de instalação do cabo e os valores de I_n e de I_2 são características da proteção escolhida.

A queda de tensão máxima é imposta por condições regulamentares ou por necessidades técnicas mais restritivas [9].

3.7.4 Aspetos económicos

Tradicionalmente, a secção escolhida é a menor de todas aquelas que satisfazem as condições regulamentares, incluindo a existência de uma proteção adequada, uma vez que corresponde ao menor investimento. No entanto, o aumento do custo da energia elétrica, fez subir os custos de exploração, perdas de Joule, para valores que podem pôr em causa esse princípio, levando à escolha de uma secção maior e, portanto, mais cara, atendendo a que provoca menos perdas [9].

Os métodos de cálculo económico dos condutores têm em conta, não somente o custo inicial dos mesmos e da sua instalação, mas também os custos associados à exploração, isto é, os custos das perdas por efeito Joule [17]. A norma da Comissão Eletrotécnica Internacional CIE 60287-3-2 – *Electric Cables – Calculation of the current rating – Economic optimization of power cable size*, apresenta duas metodologias de cálculo, para a determinação da secção

económica dos condutores, uma baseada na determinação de gamas económicas de corrente, para os diferentes cabos utilizados, e uma outra, conhecida a corrente de projeto, que determina a secção que minimiza a função de custo total [17].

3.8 Dimensionamento das Secções

O dimensionamento das secções dos condutores e cabos nas instalações elétricas é uma atividade fundamental no âmbito da concepção e do projeto, uma vez que o resultado terá uma influência direta no comportamento da instalação, seja em termos de resposta eficaz a incidentes, seja a nível da qualidade de serviço oferecido [8]. Considerando uma metodologia geral de análise do problema, são quatro os critérios principais empregues no dimensionamento de secções:

- Em função das sobrecargas,
- Em função dos curto-circuitos,
- Em função das quedas de tensão,
- Em função da proteção contra contactos indiretos.

Os dois primeiros critérios têm em conta as metodologias que visam a garantia de comportamento térmico e eletromecânico das canalizações em caso de ocorrência de sobreintensidades. O terceiro visa dois objetivos centrais, a saber: o correto funcionamento dos aparelhos de utilização e a otimização de perdas nos condutores e cabos.

O critério da proteção contra contactos indiretos visa o dimensionamento das secções das canalizações, de forma a garantir as condições técnicas de proteção, assumindo particular relevância no projeto de instalações operadas nos esquemas de ligações à terra TN e IT.

Em termos globais, a escolha da secção para um dado circuito será efetuada considerando a maior das secções encontradas pela aplicação de cada um dos princípios enunciados. De acordo com as RTIEBT, as secções dos condutores de fase nos circuitos de corrente alternada e dos condutores ativos nos circuitos de corrente contínua, não podem ser inferiores aos valores indicados na Tabela 3.4.

Em síntese, a escolha da secção dos condutores deve ser efetuada tendo em atenção os seguintes parâmetros [12]:

- A temperatura máxima admissível nos condutores,
- A queda de tensão máxima admissível,
- As solicitações eletromecânicas que possam ser suscetíveis de se produzirem em caso de curto-circuito.

3.8.1 Cálculo da Secção

A escolha da secção nominal dos condutores de fase de um cabo ou dos condutores ativos se corrente contínua faz-se com base numa metodologia que assenta na avaliação de vários fatores, procurando estabelecer um compromisso entre os vários requisitos e critérios existentes, quer de ordem técnica, quer de ordem económica. Além dos critérios que a seguir se expõem, deverão ser observados todos os requisitos estabelecidos nas RTIEBT aplicáveis ao tipo de instalação em causa.

No cálculo para a determinação da secção, começa-se por calcular a intensidade que se pretende transportar em função das características ou dos recetores a alimentar. Em seguida, e considerando já definido o tipo de cabo a utilizar, seguindo os critérios estabelecidos na secção anterior, seleciona-se a secção que permite escoar uma corrente igual ao superior à intensidade a transportar.

O facto de um cabo estar enterrado colocado dentro de uma conduta, a possibilidade de uma canalização ser sujeita a temperaturas elevadas, entre outras particularidades do modo de instalação empregue, poderão individualmente ou de forma cumulativa reduzir o valor da corrente admissível dos condutores [7]. Assim, se as condições da instalação forem diferentes das mencionadas nas tabelas de características técnicas de cada família de cabos, o valor de intensidade máxima admissível tabelado terá que ser corrigido mediante a determinação dos fatores de correção aplicáveis [18].

Considerando o valor de queda de tensão máxima admissível para a instalação, escolhe-se a secção mínima que garanta um valor de queda de tensão na instalação igual ou inferior àquele [19]. O esquema apresentado na Fig. 3.4, indica todos os passos que devem ser seguidos para determinar a secção de uma canalização elétrica.

Se existirem dados da instalação relativos ao valor da corrente máxima de curto-circuito, calcula-se a secção mínima que permite escoar essa intensidade de corrente de defeito.

O critério base de escolha da secção de um condutor ou cabo consiste na verificação de que a corrente de serviço previsível seja igual ou inferior à corrente admissível para a canalização.

$$I_B \leq I_Z \quad (3.1)$$

A condição representada pela desigualdade (3.1), corresponde à condição de aquecimento, indicando que deverá ser selecionado um condutor possuindo uma secção que,

em regime permanente, possa transportar a intensidade de corrente de serviço da instalação elétrica.

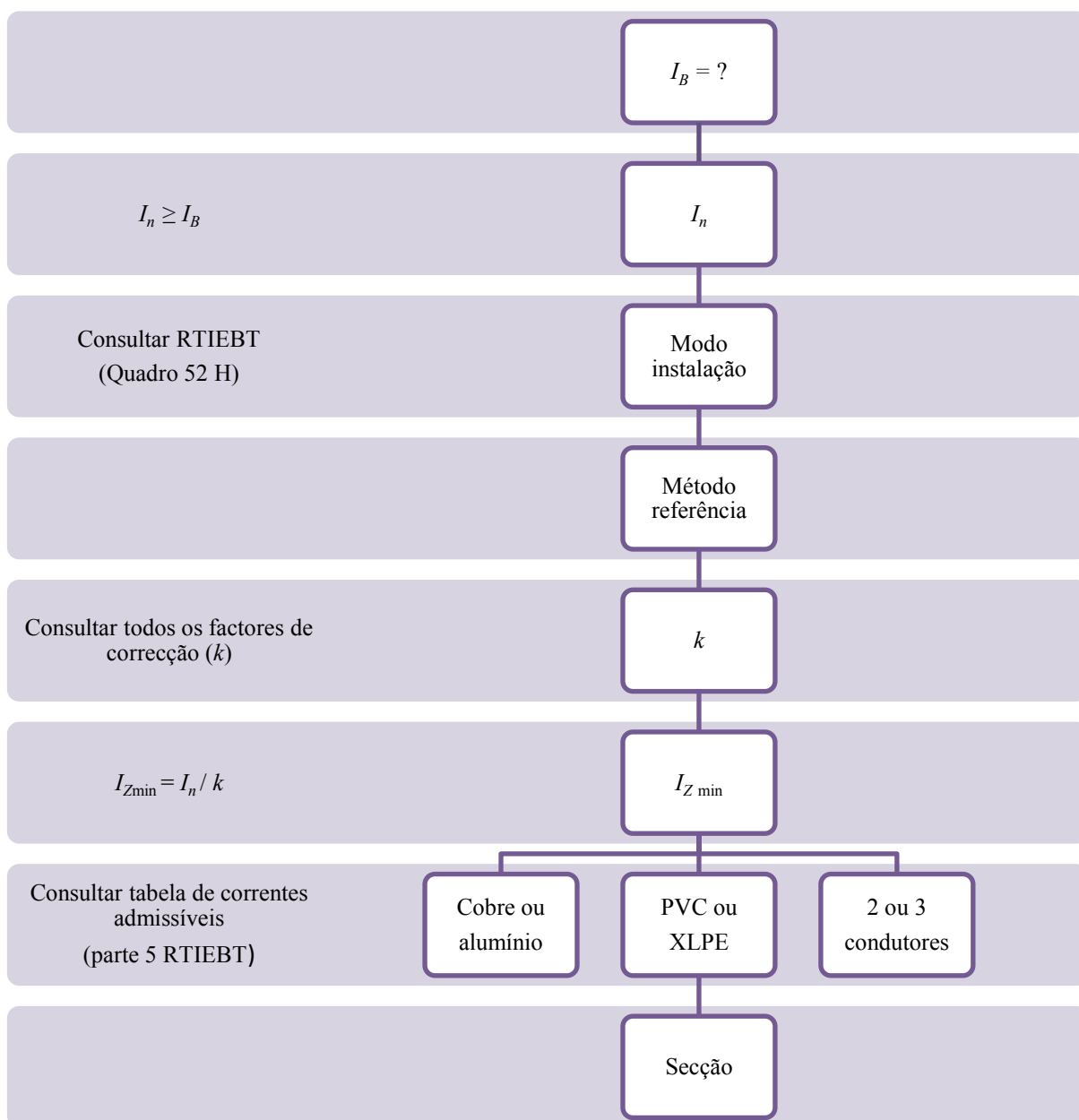


Fig. 3.4. Passos a seguir para determinar a secção de uma canalização.

3.8.2 Cálculo da corrente de serviço

O dimensionamento de uma instalação elétrica utiliza o valor da intensidade de corrente de serviço como valor base de partida. Esta intensidade de corrente corresponde à potência a alimentar à tensão nominal e corresponderá ao valor máximo que, em regime permanente, se estima que as cargas irão absorver em simultâneo [8]. O valor da intensidade de corrente de serviço é determinado estimando as potências de carga ou, mais

concretamente, a potência aparente de carga da instalação. A corrente de serviço pode ser calculada por dois processos: na teórica e na prática.

- Teoricamente, aplica-se a fórmula geral de alimentação de uma carga, tendo em consideração se a instalação é monofásica ou trifásica, de acordo com o esquema apresentado na Fig. 3.5.

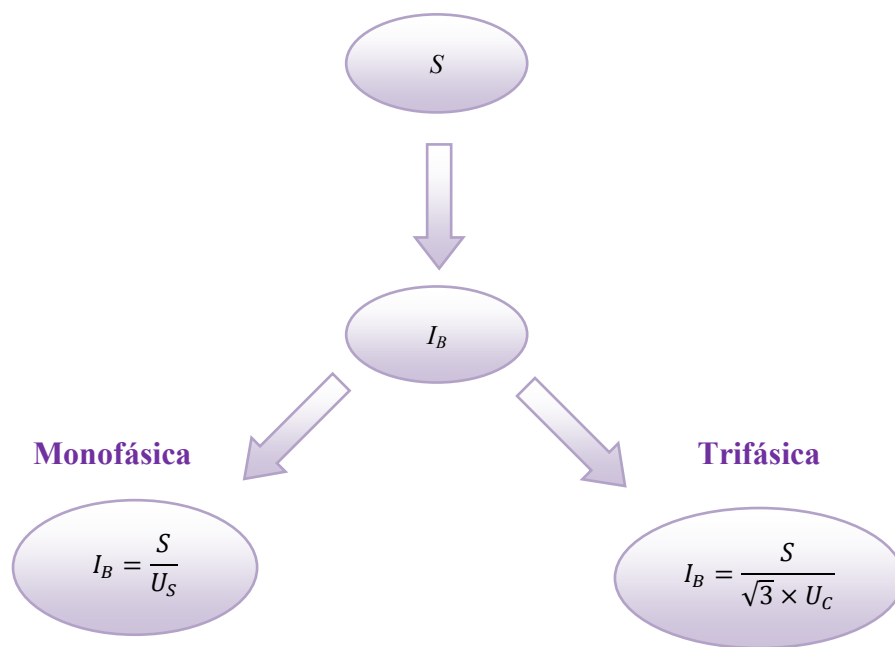


Fig. 3.5. Expressões para o cálculo da corrente de serviço de uma carga.

Nas expressões mostradas na Fig. 3.5, para o cálculo da corrente de serviço de uma carga, tem-se:

- S – Potência a alimentar (VA)
- I_B – Corrente de serviço (A)
- U_S – Tensão simples (V)
- U_C – Tensão composta (V)

- Na prática, calculando o produto do valor da potência por 1,44, obtém-se sempre aproximadamente a corrente por fase.

Após conhecer o valor de I_B , deve-se consultar a parte 5 das RTIEBT, ou o anexo I deste relatório, para definir qual o modo de instalação do cabo e correspondente método de referência.

Para calcular a corrente de serviço de um circuito de alimentação de um motor, deve-se ter em consideração a situação de arranque. Para isso, calcula-se o I_B , com base na expressão:

$$I_B = I_n + \frac{I_a}{3} \quad (3.2)$$

No entanto, é necessário ter em consideração o tipo de arranque, de acordo com a Tabela 3.5 [20].

Tabela 3.5. Correntes no arranque de motores.

Correntes de arranque de motores	
Tipos de arranque	Correntes de arranque típicas (I_a)
Arranque direto	$6 \times I_n$
Arranque por arrancador estrela-triângulo	$3 \times I_n$
Arranque por resistência em série no rotor	$2,2 \times I_n$

3.8.3 Cálculo da corrente admissível nos condutores e nos cabos

A intensidade de corrente admissível nos condutores e nos cabos, em regime permanente, numa canalização, é o valor da intensidade de corrente que provoca, no estado de equilíbrio térmico, o aquecimento das almas condutoras dos cabos, até ao valor máximo permitido.

A corrente admissível num condutor ou num cabo pode ser calculada, de acordo com as RTIEBT, pela expressão [10]:

$$I = A \times s^m - B \times s^n \quad (3.3)$$

em que:

s – Secção nominal do condutor, em mm^2

A e B – Coeficientes dependentes do cabo e dos métodos de instalação (indicados na tabela 52-C0, das RTIEBT)

m e n – Expoentes dependentes do cabo e dos métodos de instalação (indicados na tabela 52-C0, das RTIEBT)

Os coeficientes A e B , e m e n são indicados no quadro 52-C0 das RTIEBT, para condutores de cobre e alumínio, que foram utilizados para o cálculo das correntes admissíveis em função do método de referência indicadas nos quadros 52-C1 a 52-C14 e no quadro 52-C30 das RTIEBT. Na prática, as variações que se verificam na fabricação dos cabos e as suas tolerâncias conduzem a uma gama de dimensões possíveis para cada dimensão nominal. A expressão (3.3) foi estabelecida de forma a acomodar estas variações com segurança, sendo os valores obtidos a partir de uma curva regular ajustada à dispersão dos valores existentes para a secção nominal dos condutores.

A intensidade de corrente máxima admissível numa canalização depende, para além das características dimensionais, elétricas e térmicas dos cabos, das condições de instalação dos mesmos e do local onde se encontra colocada a canalização, dado que estes fatores condicionam diretamente a dissipação das perdas térmicas geradas nos cabos.

As correntes admissíveis para condutores e cabos em função do tipo de isolamento, da alma, do número de condutores carregados e da secção, para uma dada temperatura ambiente de referência (30° C) são indicados na regulamentação de segurança e/ou nos catálogos dos fornecedores [12]. No entanto o valor de I_Z é, eventualmente, afetado por um ou mais fatores de correção, para a situação de montagem e condições locais. Assim, a determinação das correntes admissíveis reais na instalação, I_Z , deverá ter em conta que os valores de referência, I_{Zm} , deverão ser multiplicados pelos fatores de correção em causa.

3.8.4 Fatores de correção

Como já foi referido anteriormente, se as condições de instalação de uma canalização forem diferentes das que presidiram à elaboração de uma tabela de correntes máximas admissíveis em uso, é necessário corrigir estas correntes. Assim, o valor I_Z calcula-se através da expressão:

$$I_Z = I_{Zm} \times k_1 \times k_2 \times k_3 \times \dots \times k_i \quad (3.4)$$

onde

I_Z – Intensidade de corrente corrigida

I_{Zm} – Intensidade de corrente retirada da tabela

k_i – Fatores de correção, com $i = 1, 2, 3, \dots$

Todos os fatores são multiplicativos, tomando o valor 1,0 para a situação de referência. É de salientar que o valor de I_Z a considerar nos cálculos do dimensionamento da secção e da proteção é o que se obtém depois de aplicados todos os fatores. Usualmente, os fatores de correção que se devem considerar, de acordo com a canalização em causa, são os seguintes [18]:

- Temperatura ambiente (só para canalizações ao ar),
- Temperatura do solo (só para canalizações enterradas),
- Profundidade de enterramento (só para canalizações enterradas),
- Resistividade térmica do solo (só para canalizações enterradas),
- Agrupamento de canalizações,

- Cabos entubados,
- Outras situações particulares de instalação.

3.8.5 Queda de tensão

Após se ter determinado a secção a utilizar numa determinada instalação, deve-se proceder ao cálculo da queda de tensão. Para canalizações em que a secção do condutor de fase seja igual à do condutor de neutro, a queda de tensão, u , pode ser determinada a partir da expressão completa, representada por [10]:

$$u = b \times \left(\rho \times \frac{\ell}{s} \times \cos \varphi + \lambda \times \ell \times \sin \varphi \right) \times I_B \quad (3.5)$$

em que:

- u – queda de tensão (V)
- b – coeficiente igual a 1 para os circuitos trifásicos e a 2 para os circuitos monofásicos
- ρ – resistividade dos condutores à temperatura em serviço normal ($\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$)
- ℓ – comprimento simples da canalização (m)
- s – secção dos condutores (mm^2)
- $\cos \varphi$ – fator de potência (na falta de elementos mais precisos, pode ser usado o valor $\cos \varphi = 0,8$ e, conseqüentemente, $\sin \varphi = 0,6$)
- λ – reactância linear dos condutores (na falta de outras indicações, pode ser usado o valor $0,08 \text{ m}\Omega/\text{m} = 0,00008 \Omega/\text{m}$)
- I_B – corrente de serviço (A)

Para o cálculo da resistividade óhmica de um condutor à temperatura em serviço normal, de acordo com a norma NFC 15-100 deve-se considerar 1,25 vezes a resistividade do metal condutor a 20°C. Assim, para os metais condutores mais utilizados em instalações elétricas, nomeadamente o cobre e o alumínio, deve-se considerar os seguintes valores para resistividade:

$$\rho_{\text{cobre}} = 1,25 \times 0,0172 = 0,0215 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{\text{alumínio}} = 1,25 \times 0,0280 = 0,0350 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$$

A queda de tensão relativa, em percentagem, calcula-se através da equação seguinte:

$$\Delta u = 100 \times \frac{u}{U_S} \quad (3.6)$$

Podem admitir-se quedas de tensão superiores para os casos de motores durante o período de arranque e para os de outros equipamentos com correntes elevadas desde que esteja garantido que as variações de tensão permaneçam dentro dos limites especificados pela respetiva norma desses equipamentos.

A expressão (3.5), pode ser substituída por uma mais simples, representada na Tabela 3.6, de acordo com o tipo de sistema, já que os valores de λ , do $\cos \varphi$ e $\sin \varphi$, se podem desprezar no processo de cálculo, sem comprometer significativamente os resultados obtidos [21].

Tabela 3.6. Expressão para cálculo da queda de tensão.

Sistemas monofásicos ou trifásicos desequilibrados	Sistemas trifásicos
$u = 2 \times \frac{\rho \times L}{S} \times I_B \quad (3.7)$	$u = \frac{\rho \times L}{S} \times I_B \quad (3.8)$

Na equação (3.7), a multiplicação por dois, permite calcular o valor da queda de tensão nos dois condutores do circuito.

Nos sistemas trifásicos admite-se, sempre que nas instalações de utilização é dada a potência aparente, que não há desfasamento, sendo a corrente no neutro zero e o sistema equilibrado.

Na empresa EXSEPI, quando se pretende determinar uma queda de tensão, recorre-se sempre à fórmula simplificada, para os sistemas trifásicos. A queda de tensão das canalizações depende da impedância dos cabos, e no caso das redes de BT, para uma frequência de 50 Hz, a reactância indutiva dos cabos apresenta um valor pouco significativo face ao valor da resistência, pelo que a queda de tensão, em percentagem, pode ser calculada pela aplicação das expressões simplificadas (3.7) e (3.8).

A condição (3.9) está associada à condição de queda de tensão, significando que a queda de tensão mais elevada que pode ocorrer na instalação não pode, em qualquer caso, ultrapassar um limite máximo estabelecido, como uma percentagem da tensão nominal simples.

$$\Delta u \leq \varepsilon . u_{ns} \quad (3.9)$$

O valor de ε a usar depende das exigências da qualidade de serviço. A queda de tensão entre a origem da instalação e qualquer ponto de utilização, expressa em função da tensão nominal da instalação, não deve ser superior aos valores indicados na Tabela 3.7, de acordo com a secção 525 das RTIEBT [10], [21]. Sempre que possível, as quedas de tensão nos circuitos finais não devem exceder os valores indicados para a situação Tipo-A. As quedas de tensão devem ser determinadas a partir das potências absorvidas pelos aparelhos de utilização com os fatores de simultaneidade respetivos ou, na falta destes, das correntes de serviço de cada circuito [10].

Tabela 3.7. Quedas de tensão máximas admissíveis.

Utilização	Iluminação	Outros usos
Tipo A - Instalações alimentadas diretamente a partir de uma rede de distribuição (pública) em baixa tensão	3%	5%
Tipo B - Instalações alimentadas a partir de um posto de transformação MT/BT	6%	8%

As RTIEBT definem que, para as instalações coletivas e entradas, as secções dos condutores usados nos diferentes troços das instalações coletivas e entradas devem ser tais que não sejam excedidos os valores de queda de tensão seguintes:

- a) 1,5 %, para o troço da instalação entre os ligadores da saída da portinhola e a origem da instalação elétrica (de utilização), no caso das instalações individuais,
- b) 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,
- c) 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 atrás, para a coluna e entradas, podem ser ultrapassados, desde que, no seu conjunto (coluna mais entrada), não seja ultrapassado o valor de 1,5%.

3.8.6 Proteção contra sobreintensidades

A previsão de situações de defeito, devido à ocorrência de um curto-circuito, ou de utilização excessiva dos circuitos, que conduza a uma situação de sobrecarga, leva à

necessidade da proteção contra sobreintensidades, através da instalação de fusíveis ou disjuntores [9].

Proteção contra sobrecargas

Devem ser previstos dispositivos de proteção que interrompam as correntes de sobrecarga dos condutores dos circuitos antes que estas possam provocar aquecimentos prejudiciais ao isolamento, às ligações, às extremidades ou aos elementos colocados nas proximidades das canalizações [9].

As características de funcionamento dos dispositivos de proteção das canalizações contra as sobrecargas devem satisfazer, simultaneamente, as seguintes condições [10]:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (3.10)$$

$$I_2 \leq 1,45 I_Z \quad (3.11)$$

O esquema representado na Fig. 3.6, sintetiza de uma forma simplificada e sequencial, as etapas a seguir para o correto dimensionamento de uma canalização [21].

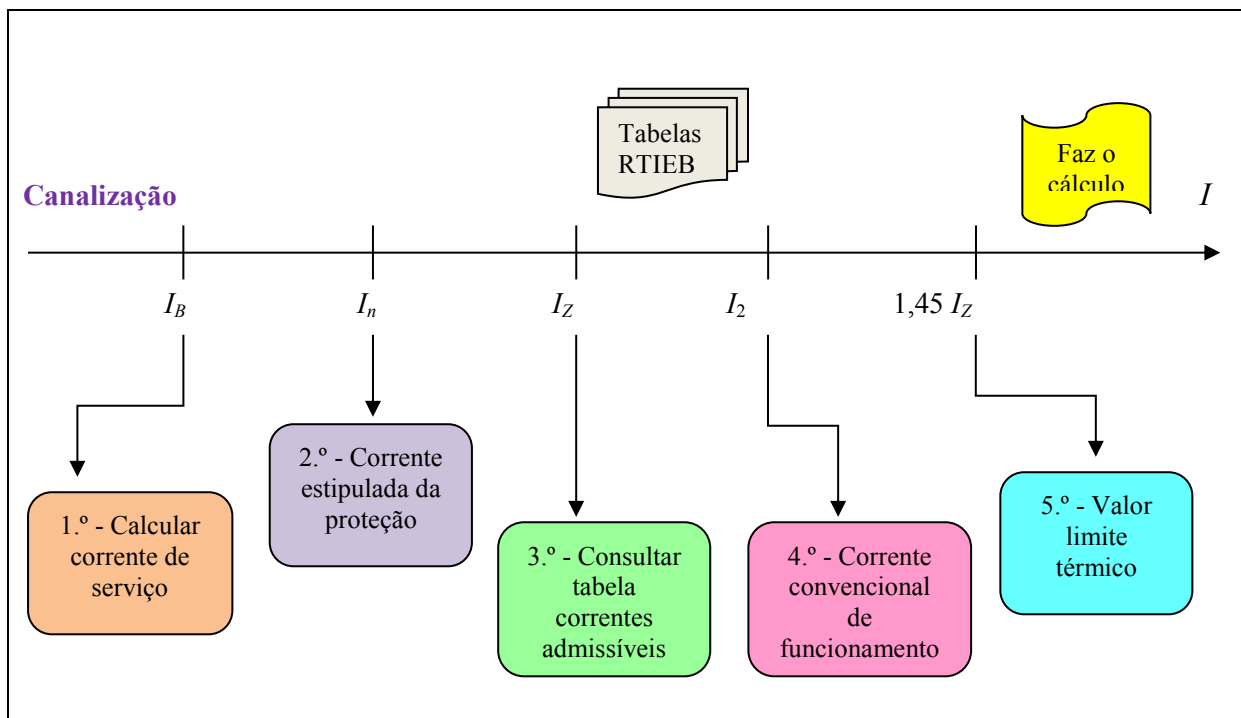


Fig. 3.6. Cronograma a cumprir para o correto dimensionamento de uma canalização.

Como já foi referido anteriormente e como se pode verificar no esquema apresentado na Fig. 3.6, no caso de cargas gerais, como tomadas e iluminação, a corrente nominal de proteção (I_n) deve ser superior à corrente de serviço (I_B). Esta situação verifica-se, porque no caso de se ter um ou dois circuitos de iluminação, normalmente coloca-se um disjuntor de 10 A, o que não implica que a iluminação vá consumir este valor. Neste caso, encontra-se um disjuntor com valor nominal superior ao I_B e o dimensionamento da canalização, faz-se tendo em consideração o valor do disjuntor e não o valor da corrente de consumo da carga, isto é, do valor de I_B .

No caso de cargas, como os motores em que os disjuntores são regulados, para a corrente nominal da carga, que é o I_B , para o cálculo da canalização, normalmente não se utiliza a corrente de regulação, mas sim, a corrente máxima do disjuntor. Por exemplo, no caso de um disjuntor de 400 A, regulado a 300 A, que é a corrente nominal do motor para proteção, a canalização é calculada para os 400 A, que é o valor de I_n . Após o cálculo dos fatores de correção, encontra-se uma corrente máxima admissível, I_Z , correspondente.

Este procedimento evita a ocorrência de problemas com eventuais adulterações de valores. Se um disjuntor for regulado para 300 A e, se por algum motivo for alterado, por exemplo, para 400 A, nesse caso, pelo menos, não queima a canalização, nem provoca incêndios, embora possa eventualmente destruir a carga ou o motor. Única e exclusivamente, nos casos em que as situações económicas e condições técnicas o obriguem é que se costuma utilizar a corrente de regulação, como sendo a corrente nominal da canalização. Neste caso, encontra-se o I_Z para a corrente de regulação, pois utiliza-se esta, como sendo o valor da intensidade de corrente I_n .

Para um transformador de 1000 kVA, regulado para 1440 A, deve-se utilizar um disjuntor de 1600 A. Nestes casos, a EXSEPI utiliza selos próprios que indicam se existiu ou não adulteração de valores.

Na Tabela 3.8, mostram-se as relações entre as correntes estipuladas e as correntes de funcionamento para os fusíveis.

Tabela 3.8. Correntes convencionais de funcionamento nos fusíveis.

Correntes convencionais de funcionamento - Fusíveis	
Correntes estipuladas (A)	Correntes convencionais de funcionamento
$I_n \leq 4$	$I_2 = 2,1 I_n$
$4 < I_n < 16$	$I_2 = 1,9 I_n$
$I_n \geq 16$	$I_2 = 1,6 I_n$

A corrente convencional de funcionamento de um disjuntor, isto é, corrente de efetivo funcionamento do disjuntor está relacionada com a corrente estipulada ou de regulação.

Na Tabela 3.9 mostram-se as relações entre as correntes estipuladas e as correntes de funcionamento para os disjuntores.

Tabela 3.9. Correntes convencionais de funcionamento nos disjuntores.

Correntes convencionais de funcionamento - Disjuntores	
Correntes estipuladas	Correntes convencionais de funcionamento
Pequenos disjuntores	$I_2 = 1,45 I_n$
Outros disjuntores	$I_2 = 1,30 I_n$

As características técnicas dos disjuntores são estabelecidas genericamente nas seguintes publicações e normas:

- CEI 60947-1: 2000 – Regras gerais, CEI 60947-2: 1998 – Disjuntores,
- CEI 60898-2: 2000 – Disjuntores para instalações domésticas ou análogas,
- Normas Europeias: EN 60947-1: 1999, EN 60947-2: 1996, EN 60898: 1991 e EN 61009: 1994 – Disjuntores diferenciais com proteção incorporada contra sobreintensidades,
- Normas Portuguesas: NP EN 60947: 2000.

Proteção contra curto-circuitos

A verificação desta proteção envolve dois aspetos: poder de corte adequado do aparelho que interrompe a corrente e garantia de que o corte é realizado antes da passagem da corrente de curto-circuito provocar danos irreversíveis. O primeiro aspeto envolve o cálculo da corrente de curto-circuito presumida no ponto onde é instalado o aparelho de

corte. No que respeita à prevenção dos efeitos dos curto-circuitos, a corrente mínima de curto-circuito apresenta interesse especial, em particular no caso dos fusíveis, dada a sua sensibilidade reduzida [9].

3.8.7 Determinação da potência previsível

A definição dos equipamentos da instalação é fundamental para se estimar a potência previsível, devendo-se efetuar um inventário dos equipamentos elétricos a alimentar, identificar as suas características relevantes e analisar o tipo de utilização.

A avaliação da potência previsível de uma instalação elétrica reveste-se de grande importância, pela influência decisiva que tem nos custos totais [18]. Uma solução prática consiste num compromisso entre a potência que se pretende instalar, que corresponde à soma das potências de todas as cargas previsíveis, e o regime de exploração previsto, tendo em conta a evolução da instalação, isto é, a instalação a prazo de novos equipamentos. As potências mínimas a considerar no dimensionamento de uma instalação elétrica deverão ser estabelecidas de acordo com as necessidades e condições de exploração previstas para os diferentes locais.

Na avaliação da potência de alimentação de uma instalação elétrica pode-se ter em conta a não simultaneidade de funcionamento dos diversos equipamentos a considerar [18]. No cálculo da potência previsível podem ser considerados os fatores mostrados na Fig. 3.7.

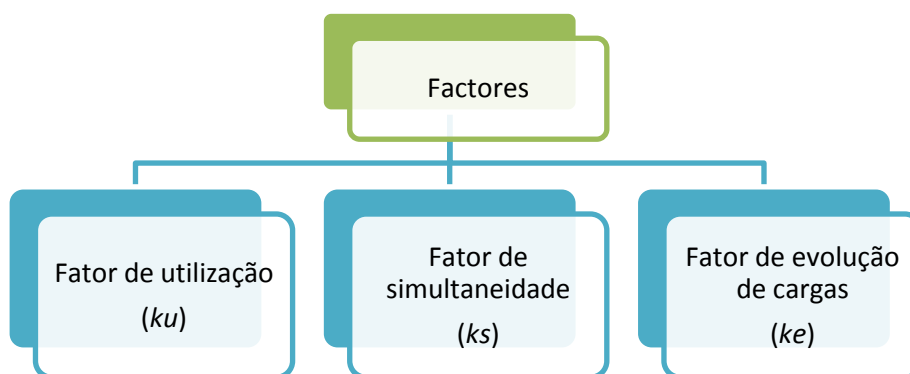


Fig. 3.7. Fatores a ter em consideração no cálculo da potência.

O fator de utilização, k_u , caracteriza o regime de funcionamento de uma carga e traduz a relação entre a potência efetivamente absorvida e a potência estipulada. Na Tabela 3.10, são mostrados os valores estimados dos fatores de utilização, que se podem aplicar na prática, para o tipo de cargas referido. No caso das tomadas, na dúvida, aconselha-se a aplicação de um fator de utilização igual a 1,0 [18].

Tabela 3.10. Fatores de utilização.

Cargas	Fator de utilização, k_u
Iluminação	1,0
Aquecimento	1,0
Motores	0,3 a 0,75
Tomadas	Conforme a utilização

Estes fatores devem ser utilizados para o cálculo da potência total previsível numa instalação ou num quadro elétrico, mas não no dimensionamento da aparelhagem e da canalização de alimentação para uma determinada carga.

O fator de simultaneidade, k_s , caracteriza o regime de funcionamento de uma dada instalação, o que implica o conhecimento pormenorizado da mesma, assim como do modo de exploração. Este fator traduz a relação entre o somatório das potências estipuladas dos equipamentos que vão funcionar simultaneamente e o somatório das potências estipuladas de todos os equipamentos a instalar.

Para instalações coletivas e em função do número de compartimentos de uma habitação, devem-se considerar os fatores de simultaneidade, apresentados na Tabela 3.11 [10], [21]. Estes fatores podem ser usados na determinação das correntes de serviço e na escolha das secções dos condutores e cabos e da aparelhagem.

O fator de evolução de cargas, k_e , caracteriza a margem de crescimento da potência instalada, estabelecida na altura da conceção do projeto, quer pela instalação de novos equipamentos, quer por uma eventual alteração dos fatores de simultaneidade. O valor a estabelecer deverá resultar da avaliação feita para a instalação considerando, entre outros fatores, a evolução de mercados e produtos, a evolução tecnológica e os aspetos tarifários. Na prática, o fator de evolução das cargas considera-se como sendo de 1,2 a 1,3, isto é, estima-se um aumento da potência na ordem dos 20 a 30%, no futuro [18].

Tabela 3.11. Fatores de simultaneidade para locais de habitação.

Número de instalações elétricas (de utilização) situadas a jusante	Fatores de simultaneidade (k_s)
2 a 4	1,00
5 a 9	0,75
10 a 14	0,56
15 a 19	0,48
20 a 24	0,43
25 a 29	0,40
30 a 34	0,38
35 a 39	0,37
40 a 49	0,36
≥ 50	0,34
Outros locais	
Qualquer	1,00

3.9 Conclusões

O projeto de uma instalação elétrica, para qualquer tipo de infraestrutura consiste, essencialmente, em selecionar, dimensionar e localizar, de uma forma técnica e economicamente adequada, os equipamentos e outros componentes necessários ao bom funcionamento da instalação, garantindo a proteção de pessoas e bens e assegurando o cumprimento das normas e regulamentos de segurança em vigor.

O cálculo da secção da alma condutora dos condutores e cabos isolados é fundamental no dimensionamento de uma canalização elétrica, sendo imperativo estabelecer o melhor compromisso possível entre as considerações de ordem técnica e de ordem económica, as condições da instalação e o tempo de execução da canalização. No dimensionamento de uma canalização, é necessário ter em conta o seu funcionamento em termos elétricos, térmicos e, por vezes, mecânicos. É igualmente fundamental conhecer qual o espaço disponível, ao longo do percurso e nas extremidades, bem como eventuais limitações devido ao peso do cabo e ao seu comprimento. Procura-se minimizar o custo total da canalização, tendo em atenção o custo da instalação e os encargos associados à sua exploração.

Neste capítulo, fez-se uma descrição completa de como dimensionar uma canalização elétrica, tendo em consideração as normas e a regulamentação aplicáveis, bem como as boas regras da técnica. Apresentaram-se diversas tabelas, com as características que se devem considerar nos cálculos, quando se pretende dimensionar todos os parâmetros de uma canalização e os fluxogramas correspondentes aos procedimentos descritos, com as etapas que se devem seguir, para o seu correto dimensionamento.

No dimensionamento das canalizações foi tido em conta a intensidade de corrente máxima admissível no cabo, a proteção dos condutores quanto ao aquecimento e a queda de tensão máxima admissível em função do comprimento e utilização dos circuitos. O cálculo das quedas de tensão é fundamental na fase de projeto de instalações elétricas, de modo a garantir que as canalizações definidas cumpram os requisitos regulamentares, assim como o bom funcionamento e a longevidade dos equipamentos e instalações.

4 Aplicação Desenvolvida

4.1 Objetivo do Programa

A grande vantagem da aplicação informática desenvolvida, ao qual se deu o nome de CANEXCALC é permitir a qualquer utilizador, determinar o número de condutores e respetiva secção a instalar numa determinada instalação, de uma forma simples e intuitiva, tendo por base as características principais de qualquer instalação elétrica, sem ter de consultar as RTIEBT e sem ter a preocupação de saber trabalhar com o *software* ECODIAL, que já obriga a uma série de conhecimentos.

É de salientar ainda que a aplicação desenvolvida também permite calcular a queda de tensão e limitar a secção máxima dos condutores a utilizar, realizando assim um cálculo automático do número de condutores em paralelo, com secção igual ou inferior, que cumpra todos os requisitos.

Neste contexto, a EXSEPI tem por norma não utilizar secções superiores a 240 mm², devido por um lado, à excessiva mão-de-obra necessária na aplicação de outras secções e por outro lado, a empresa está limitada às ferramentas de cravação disponíveis.

4.2 Estudo da Legislação em Vigor

Para o desenvolvimento da aplicação informática, foi fundamental um estudo aprofundado e uma análise rigorosa da legislação, pois é necessário realizar uma boa compreensão da lei em vigor, para que desta forma se possa saber quais as necessidades e potencialidades que uma aplicação deste tipo deve apresentar. É igualmente importante o conhecimento do mercado atual para que as soluções apresentadas na aplicação através dos cálculos efetuados, não sejam meramente teóricos mas completamente exequíveis, ou seja, que existam no mercado respostas ao determinado pela aplicação.

4.3 Apresentação do *Software*

A Tabela 4.1, representa a janela principal da aplicação desenvolvida, que após o preenchimento dos vários parâmetros, alguns por seleção e outros por introdução numérica,

permite calcular a secção, o número de condutores e respetiva queda de tensão de uma instalação elétrica.

Tabela 4.1. Aplicação desenvolvida.

CANEXCALC CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DA CANALIZAÇÃO	
Tipo de cabo	
Disposição	
Modo de instalação	
Referência	
Método de referência	
Disposição dos condutores	
Comprimento (metros)	
Tipo de proteção	
Polaridade	
Tipo de Isolamento	
Tipo de bainha	
Tipo de condutor	
Tensão estipulada dos condutores (Volt)	
Número de circuitos extra por canalização	
Número de camadas	
Número de prateleiras na horizontal	
Número de prateleiras na vertical	
Factor (K) do utilizador	
Temperatura ambiente (°C)	
Resistividade térmica do solo (K.m/W)	
Secção MAX do condutor de fase (mm²)	
Corrente da carga Ib (A)	
Corrente da proteção In (A)	
Cos FI da carga	
Queda de tensão a montante (%)	
Queda de tensão máxima na extremidade (%)	
Número de condutores por fase	
Secção do condutor de fase (mm²)	
Descrição da instalação	
Queda de tensão na extremidade da canalização (%)	

CALCULAR

4.4 Funcionamento da Aplicação

Este programa consiste numa simples e fácil utilização folha de Excel, que para funcionar basta ter o programa “*Microsoft Excel*” instalado no computador e abrir este ficheiro. Por conseguinte, tem de se proceder de uma forma semelhante à consulta das RTIEBT, isto é, seleccionar na primeira célula o tipo de cabo; na segunda célula a disposição dos condutores, a qual varia automaticamente com a alteração da primeira; na terceira célula, tem de se escolher o modo de instalação, que de igual forma, depende das células anteriores. Dado isto, o programa devolve automaticamente a referência e o método de referência das RTIEBT, não sendo necessária, nem possível a sua introdução pelo utilizador.

No entanto para completar o cálculo da canalização é necessário ainda, especificar outras características, que passam pela disposição dos condutores, que terá de ser escolhida na sexta célula, o comprimento do cabo para cálculo da queda de tensão, na sétima célula, o tipo de proteção na oitava célula, a polaridade do sistema na nona célula e ainda o tipo de isolamento, bainha, tipo de condutor e respetiva tensão estipulada, nas células décima, décima primeira, décima segunda e décima terceira respetivamente.

Estas últimas características vão alterando conforme as escolhas que são feitas. Entretanto, tem-se ainda de introduzir diversos parâmetros, como, número de circuitos juntos suplementares, número de camadas e número de prateleiras na horizontal e na vertical. O fator de utilizador consiste num parâmetro que se pode introduzir para previsão de reserva da respetiva canalização. A temperatura ambiente, terá de ser seleccionada em tabela fixa, dado que o programa funciona com base nas RTIEBT, as quais possuem valores de temperatura igualmente discretos. A resistividade térmica do solo serve exclusivamente para determinação do fator de correção correspondente, no caso das canalizações enterradas.

Posteriormente, tem de se seleccionar a secção máxima pretendida para os condutores. Nas células seguintes, deve-se introduzir o valor da corrente de serviço, que servirá somente para o cálculo da queda de tensão e a corrente nominal ou regulada da proteção, a qual é utilizada para obter a secção da canalização. Tem-se ainda de introduzir o fator de potência da carga em causa, para um cálculo mais exato da queda de tensão.

Em seguida, tem de se introduzir a queda de tensão a montante e a queda de tensão máxima na extremidade, ou seja, na carga, caso se pretenda que o programa recalcule automaticamente as secções que cumpram os requisitos em causa. Por último, e em qualquer cálculo ou alteração, é obrigatório ativar o botão calcular, por forma a certificar-se que os valores apresentados são os corretos. Qualquer introdução de valores fora da gama permitida é bloqueada ou apresenta-se a cor vermelha.

O programa computacional devolve automaticamente o número de condutores em paralelo por cada fase, caso existam e a correspondente secção de cada condutor. É de salientar que este programa devolve também uma descrição sucinta do método de referência e características da canalização em causa.

4.5 Análise Prática

Durante o estágio na EXSEPI, a estagiária determinou algumas secções de canalizações a instalar em diversas obras industriais realizadas pela mesma. Passa-se a salientar apenas três destes casos, apresentando o cálculo analítico, com recurso às RTIEBT, o cálculo utilizando o *software* Ecodial e finalmente o mesmo cálculo utilizando o *software* por mim desenvolvido, durante o estágio, que tem como principal objetivo, o cálculo de uma canalização elétrica e respetiva queda de tensão.

4.5.1 Primeiro Caso de Estudo

Numa instalação elétrica industrial, surge com bastante frequência o seguinte caso.

Perante um circuito trifásico de quadros de tomadas com distâncias na ordem dos 70 m, protegido por um disjuntor de 32 A, representado na Fig. 4.1, pretende-se verificar o seguinte:

- Qual a secção mínima de um cabo multicondutor de cobre isolado a PVC.
- A queda de tensão máxima no último quadro de tomadas.

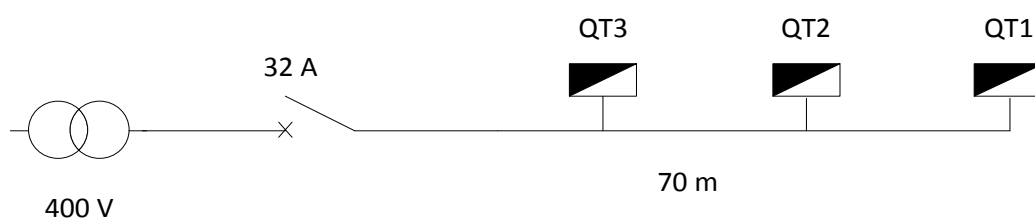


Fig. 4.1. Esquema unifilar do caso de estudo n.º1.

Para tal tem-se as seguintes características:

- Temperatura ambiente de 40°C
- Cabo instalado em caminhos perfurados horizontais sem afastamento

a) Cálculo Analítico

Inicialmente começou-se por considerar que a corrente de serviço (I_B) é igual à corrente nominal do disjuntor (I_n), que é de 32 A.

De seguida foi-se saber qual o modo de instalação desta canalização e consequentemente o seu método de referência.

Por consulta do quadro 52H das RTIEBT, verificou-se que para cabos multicondutores em caminhos de cabos perfurados, a referência é 13 e sendo o cabo multicondutor o método de referência é o E.

Para uma temperatura ao ar de 40°C e isolamento PVC e por consulta do quadro 52-D1 das RTIEBT, o fator de correção a aplicar é 0,87.

Dividindo o valor da corrente nominal pelo fator de correção, obtém-se,

$$I_{nr} = \frac{I_n}{k} = \frac{32}{0,87} = 36,8 \text{ A}$$

Por consulta do quadro 52-C9 das RTIEBT, que é o quadro correspondente para método de referência E, para canalizações em cobre com isolamento em PVC, obteve-se uma corrente máxima admissível (I_{zm}) de 43 A, em que se verificou que a secção necessária para esta canalização será um cabo de 6 mm².

Multiplicando o valor desta corrente pelo fator de correção, obtém-se,

$$I_z = I_{zm} \times k = 43 \times 0,87 = 37,4 \text{ A}$$

Para o cálculo da corrente convencional de funcionamento (I_2) deve-se ter em consideração a natureza do dispositivo de proteção (k_2) e multiplicar este fator pela corrente nominal. Neste caso, $k_2 = 1,45$, como referido anteriormente na Tabela 3.9.

$$I_2 = k_2 \times I_n = 1,45 \times 32 = 46,4 \text{ A}$$

Representando graficamente, obtém-se o diagrama da Fig. 4.2, que verifica todas as condições.

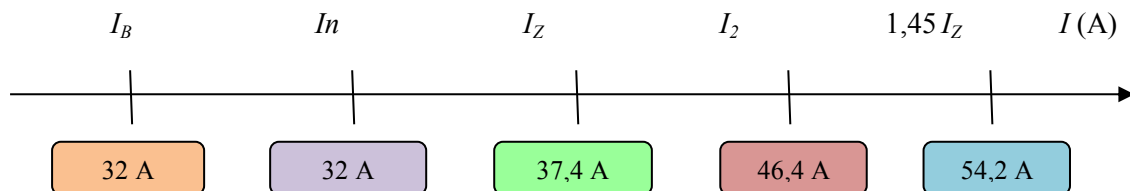


Fig. 4.2. Diagrama das correntes do caso de estudo n.º1.

Para determinar a queda de tensão utiliza-se a expressão (3.6), em que o coeficiente b , para circuitos trifásicos é igual a 1.

Para a resistividade óhmica de um condutor, de acordo com a norma NFC 15-100 considera-se 1,25 vezes a resistividade do metal condutor a 20°C.

Assim, para o condutor em cobre, a resistividade a considerar é de:

$$\rho = 1,25 \times 0,0172 = 0,0215 \text{ mm}^2/\text{m}$$

Quando não é dito nada em contrário e como já foi referido no capítulo 3, considera-se a reatância linear dos condutores 0,08 mΩ/m e o fator de potência 0,85.

$$\lambda = 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m} = 0,00008 \text{ }\Omega/\text{m}$$

$$\cos \varphi = 0,85 \Rightarrow \varphi = 31,8^\circ \Rightarrow \sin \varphi = 0,53$$

Substituindo na expressão (3.6) e (3.7), respetivamente, obtém-se,

$$u = b \times \left(\rho \times \frac{l}{s} \times \cos \varphi + \lambda \times l \times \sin \varphi \right) \times I_B = \left(0,0215 \times \frac{70}{6} \times 0,85 + 0,00008 \times 70 \times 0,53 \right) \times 32 = 6,92 \text{ V}$$

$$\Delta u = 100 \times \frac{u}{U_S} = 100 \times \frac{6,92}{230} = 3,01\%$$

uma tensão de 6,92 V, com uma respetiva queda de tensão de 3,01 %.

b) Cálculo Utilizando o Software Ecodial

Circuito :

A montante :
A jusante :
Tensão :

Circuito - Calculado

Quadro
Quadro de tomadas
400 V

Disjuntor :

Designação : iDPN.N-10.0 kA Calibre nominal : 40 A
Calibre da protecção (In) : 32.00 A Disparador : C
Número de pólos : 4P3d
Selectividade : T
Pdc reforçado por filiação : -
Protecção diferencial : Sim
Designação da protecção diferencial : Vigi iDPN si
Sensibilidade : 30.00 mA
Nível da temporização : Inst ms
Selectividade diferencial : Sim

Regulações :

Sobrecarga : Ir = 32.0 A
Magnética : Im(Isd) = -

Cabo :

Comprimento : C7
70.0 m
Modo de instalação : E-circuitos sem afastamento
cabos multicondutores em caminhos de cabos horizontal perfurados
Tipo de cabo : Multicondutor N.º de camadas : 1
Isolamento : PVC N.º de circuitos agrupados suplementares : 0
Disposição dos condutores : Triângulo
Temperatura ambiente : 40 °C Nível de TDHI: 0 %

Corrente admissível no cabo (Iz):

Iz nas condições normais de utilização: 43.4 A
Iz x factores de correcção (condições reais de utilização): 37.8 A

Limitação de dimensionamento : sobrecargas

Factores de correcção :
Temperatura : 0.87 (52-D1)
x Resistividade térmica do solo : 1.00 (52-E6)
x Neutro carregado : 1.00 (D.52-1 (IEC60364))
x Cabos agrupados : 1.00 (52-E4)
x N.º Camadas : 1.00 (52-E2)
x Utilizador : 1.00
/ Protecção) : 1.00 (§433.1)

0.87

Secções (mm²)	teóricas	escolhidas	designação	metal
Por fase	1 x 4.2	1 x 6.0		Cobre
Neutro	1 x 4.2	1 x 6.0		Cobre
PE	1 x 0.0	1 x 6.0		Cobre

Quedas de tensão	a montante	circuito	a jusante
ΔU (%)	1.06	3.0930	4.15

Verificação da limitação térmica: Energia recebida pelo condutor de fase : 51600 A²s e limitação admissível : 476100 A²s

Resultados dos cálculos :

	Icc a montante	Ik3máx	Ik2máx	Ik1máx	Ik2mín	Ik1mín	I defeito
(kA)	6.6873	1.0875	0.9418	0.5573	0.7179	0.4227	0.0112
R (mOhm)	14.6000	230.5500	461.1001	453.2930	549.7533	541.9462	546.7614
X (mOhm)	35.1631	40.7631	81.5263	57.2036	81.5263	57.2036	56.7536
Z (mOhm)	38.0737	234.1259	468.2519	456.8882	555.7654	544.9568	549.6990

Resultados de cálculo em conformidade com o guia UTE C15-500 (documento CENELEC R064-003).

Certificado técnico UTE 15L-602.

Hipóteses e escolha da aparelhagem são da responsabilidade do utilizador.

Carga

I : 32.00 A Polaridade do circuito : Tri + N
P : 18.84 kW Esquema das ligações à terra : TT
cosφ : 0.85 Repartição : -
Ku : 1.0
Número de circuitos idênticos 1

c) Cálculo Utilizando a Aplicação Desenvolvida

Após introduzir os dados do enunciado do problema do caso de estudo n.º1, apresenta-se o resultado obtido na Tabela 4.2.

d) Conclusão

Após o cálculo da secção e respetiva queda de tensão para o caso de estudo n.º1, através das três metodologias enunciadas anteriormente, verifica-se que a secção necessária para esta canalização é igual nas três situações, o que leva à conclusão de que a aplicação desenvolvida está a fazer o cálculo desta grandeza corretamente.

Relativamente ao valor da queda de tensão máxima admissível, Δu verifica-se que o resultado obtido cumpre o estipulado nas RTIEBT. Estes valores são mostrados na Tabela 3.7.

4.5.2 Caso de Estudo n.º2

Na indústria Felmica, S.A, foi instalado um motor com potência nominal 450 kW, de tração do moinho de bolas 1. Este circuito, representado na Fig. 4.3, deverá possuir proteção através de disjuntor.

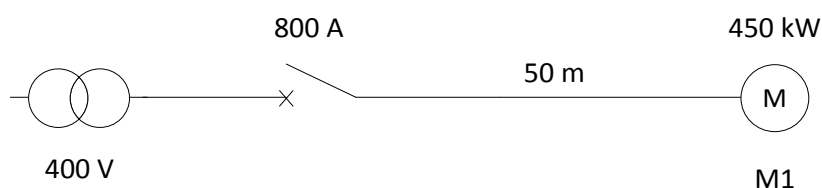


Fig. 4.3. Esquema unifilar do caso de estudo n.º2.

Dados:

- $U = 400 \text{ V}$ (3F)
- Cabos monocondutores com alma de cobre e isolamento XLPE, instalados em caminhos de cabos perfurados
- Disposição dos condutores em esteira
- Temperatura ambiente de 40°C
- Um circuito de alimentação do quadro de comando, agrupado no mesmo caminho de cabos
- Comprimento do circuito de 50 m
- $\Delta u_{\text{máx}} (\%) = 8,0 \%$ (carga geral alimentada por um posto de transformação)
- Fator de potência de 0,85

Tabela 4.2. Resultado de cálculo do caso de estudo nº1.

CANEXCALC	
CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DA CANALIZAÇÃO	
Tipo de Cabo	Cabos multicondutores
Disposição	em caminhos de cabos horizontal perfurados
Modo de Instalação	circuitos sem afastamento
Referência	13
Método de Referência	E
Disposição dos Condutores	
Comprimento (m)	70
Tipo de Proteção	Disjuntor
Polaridade	Trifásico
Tipo de Isolamento	PVC
Tipo de Bainha	PVC
Tipo de Condutor	Cobre
Tensão Estipulada dos Condutores (Volt)	500
Número de circuitos extra por canalização	0
Número de camadas	1
Número de prateleiras na horizontal	1
Número de prateleiras na vertical	1
Factor (K) do utilizador	1
Temperatura ambiente (°C)	40
Resistividade térmica do solo (K.m/W)	1
Secção MAX do condutor de fase (mm²)	240
Corrente da carga Ib (A)	32
Corrente da protecção In (A)	32
Cos FI da carga	0,85
Queda de tensão a montante (%)	0,00%
Queda de tensão máxima na extremidade (%)	5,00%
Número de condutores por fase	1
Secção do condutor de fase (mm²)	6
Descrição da instalação:	E - Cabos multicondutores em caminhos de cabos horizontal perfurados circuitos sem afastamento
Queda de tensão na extremidade da canalização (%)	3,01%

Pretende-se dimensionar todos os condutores deste circuito, bem como os dispositivos de proteção e verificar se a queda de tensão está dentro dos parâmetros legais. Caso contrário, calcule nova secção.

a) Cálculo Analítico

Inicialmente começou-se por determinar a potência aparente (kVA) do motor,

$$S = \frac{P}{\cos\varphi} = \frac{450}{0,85} = 529,4 \text{ kVA}$$

em que P é a potência ativa (kW) e $\cos\varphi$ é o fator de potência.

De seguida calculou-se a corrente nominal (A) do motor,

$$I_B = \frac{S}{\sqrt{3} \times U} = \frac{529,4}{\sqrt{3} \times 400} = \frac{529,4}{692,8} = 0,764 \text{ kA} = 764 \text{ A}$$

em que S é a potência aparente (kVA) e U a tensão composta (V).

Para determinar a corrente nominal da proteção, encontrou-se o disjuntor de valor superior mais próximo da corrente nominal do motor, que é de 800 A.

Após o cálculo dos valores fundamentais para qualquer canalização elétrica, foi-se saber qual o modo de instalação desta canalização e consequentemente o seu método de referência.

Por consulta do quadro 52H das RTIEBT, verificou-se que para cabos monocondutores em caminhos de cabos perfurados, a referência é 13 e como o método de instalação é em esteira sem afastamento, o método de referência correspondente é o F.

Para uma temperatura ao ar de 40°C e isolamento XLPE e por consulta do quadro 52-D1 das RTIEBT, o fator de correção a aplicar é 0,91.

Para dois circuitos (um suplementar e o da própria canalização) e por consulta do quadro 52-E5 das RTIEBT, o fator de correção a aplicar é 0,91.

Assim, o fator de correção total é,

$$k = k_1 \times k_2 = 0,91 \times 0,91 = 0,828$$

em que k_1 e k_2 são os fatores de correção a aplicar.

Dividindo o valor da corrente nominal pelo fator de correção total, obtém-se,

$$I_{nr} = \frac{I_n}{k} = \frac{800}{0,828} = 966,2 \text{ A}$$

Por consulta do quadro 52-C11 das RTIEBT, que é o quadro correspondente para método de referência F, para canalizações em cobre com isolamento em XLPE, obteve-se uma corrente máxima admissível (I_{Zm}) de 998 A, em que se verificou que a secção necessária para esta canalização será um cabo de 500 mm².

No entanto, visto a EXSEPI ter uma secção máxima de instalação de 240 mm², teve de se calcular todos os parâmetros novamente e encontrar uma secção equivalente dentro destes limites.

Visto serem dois cabos em paralelo, ou seja, um total de três circuitos no mesmo caminho de cabos, foi-se novamente ao quadro 52-E5 das RTIEBT ver o valor correspondente. Após a consulta deste quadro, verificou-se que o novo fator de correção a aplicar é 0,87.

Assim, o novo fator de correção total é,

$$k = k_1 \times k_2 = 0,91 \times 0,87 = 0,792$$

Dividindo o valor da corrente nominal pelo fator de correção total, obtém-se,

$$I_{nr} = \frac{I_n}{k} = \frac{800}{0,792} = 1010,1 \text{ A}$$

Dividindo a corrente nominal real por dois circuitos, obtém-se,

$$I_{nrnovo} = \frac{I_{nr}}{2} = \frac{1010,1}{2} = 505,1 \text{ A}$$

Assim, consultou-se novamente o quadro 52-C11 das RTIEBT e chegou-se à conclusão que para esta canalização e tendo como limite a secção referida anteriormente, são necessários dois cabos com secção de 185 mm², com uma corrente máxima admissível de 533A por cada cabo.

Multiplicando o valor desta corrente pelo número de circuitos e pelo fator de correção, obtém-se,

$$I_Z = I_{Zm} \times n \times k = 533 \times 2 \times 0,792 = 844,3 \text{ A}$$

Para o cálculo da corrente convencional de funcionamento (I_2) deve-se ter em consideração a natureza do dispositivo de proteção (k_2) e multiplicar este fator pela corrente nominal. Neste caso e de acordo com Tabela 3.9, $k_2 = 1,3$.

$$I_2 = k_2 \times I_n = 1,3 \times 800 = 1040 \text{ A}$$

Representando graficamente, obtém-se o diagrama da Fig. 4.4, que verifica todas as condições.

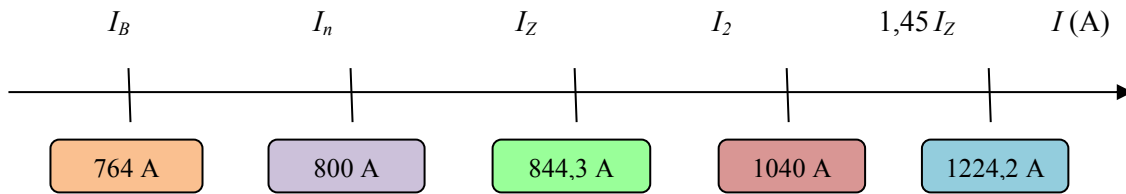


Fig. 4.4. Diagrama das correntes do caso de estudo n.º2.

Para determinar a queda de tensão utiliza-se a expressão (3.6), em que o coeficiente b, para circuitos trifásicos é igual a 1.

Para a resistividade óhmica de um condutor, de acordo com a norma NFC 15-100 considera-se 1,25 vezes a resistividade do metal condutor a 20°C. Assim, para o condutor em cobre, a resistividade a considerar é de:

$$\rho = 1,25 \times 0,0172 = 0,0215 \Omega \text{mm}^2/\text{m}$$

Quando não é dito nada em contrário e como já foi referido no capítulo 3, considera-se a reatância linear dos condutores 0,08 mΩ/m e o fator de potência 0,85.

$$\lambda = 0,08 \text{ m}\Omega/\text{m} = 0,00008 \Omega/\text{m}$$

$$\cos \varphi = 0,85 \Rightarrow \varphi = 31,8^\circ \Rightarrow \sin \varphi = 0,53$$

Substituindo na expressão (3.6) e (3.7), respetivamente, obtém-se,

$$u = \left(0,0215 \times \frac{50}{2 \times 185} \times 0,85 + \frac{0,00008}{2} \times 50 \times 0,53 \right) \times 800 = 2,82 \text{ V}$$

$$\Delta u = 100 \times \frac{u}{U_s} = 100 \times \frac{2,82}{230} = 1,23\%$$

b) Cálculo Utilizando o Software Ecodial

Circuito :

A montante :

A jusante :

Tensão :

Circuito3 (Q3-C3-M3) - Calculado

Quadro2

400 V

Disjuntor :

Q3

Designação :

NS1000L-150.0 kA

Calibre nominal : 1000 A

Calibre da protecção (In) :

1000.00 A

Disparador :

Micrologic 5.0

Número de pólos :

3P3d

Selectividade :

T

Pdc reforçado por filiação :

-

Protecção diferencial :

Não

Designação da protecção diferencial :

-

Sensibilidade :

-

Nível da temporização :-

Selectividade diferencial :

-

Regulações :

Sobrecarga :

$I_r = 0.80 I_n = 800.00 \text{ A}$

Magnética :

$I_m(I_{sd}) = 10.0 \times I_r = 8000.00 \text{ A}$

Cabo :

C3

Comprimento :

50.0 m

Modo de instalação :

F-sem afastamento em esteira
cabos monocondutores em caminhos de cabos horizontal perfurados

Tipo de cabo :

Monocondutor

N.º de camadas :

1

Isolamento :

XLPE/EPR

N.º de circuitos agrupados suplementares:

1

Disposição dos condutores :

Lado a lado sem afastamento

Temperatura ambiente :

40 °C

Nível de TDHI:

-

Corrente admissível no cabo (Iz):

Iz nas condições normais de utilização:

1066.6 A

Iz x factores de correcção (condições reais de utilização):

842.6 A

Limitação de dimensionamento : sobrecargas

Factores de correcção :

Temperatura

: 0.91

(52-D1)

x Resistividade térmica do solo

: 1.00

(52-E6)

x Neutro carregado

: 1.00

(D.52-1 (IEC60364))

x Cabos agrupados

: 0.87

(52-E5)

x N.º Camadas

: 1.00

(52-E2)

x Utilizador

: 1.00

/ Protecção)

: 1.00

(§433.1)

0.79

Secções (mm²)	teóricas	escolhidas	designação	metal
Por fase	2 x 157.9	2 x 185.0		Cobre
Neutro	-	-	-	-
PE	1 x 0.0	1 x 16.0		Cobre

Quedas de tensão	a montante	circuito	a jusante
ΔU (%)	0.14	1.2938	1.43

Queda de tensão no arranque do motor : 3.45

Verificação da limitação térmica: Energia recebida pelo condutor de fase : 4352269 A²s e limitação admissível : 699867025 A²s

Resultados dos cálculos :

	Icc a montante	Ik3máx	Ik2máx	Ik1máx	Ik2mín	Ik1mín	I defeito
(kA)	28.4242	21.2323	18.3877		16.1754		0.0115
R (mOhm)	2.7850	5.2864	10.5727		12.0435		80.7180
X (mOhm)	8.5136	10.7636	21.5272		21.5272		17.2761
Z (mOhm)	8.9575	11.9917	23.9834		24.6671		82.5461

Resultados de cálculo em conformidade com o guia UTE C15-500 (documento CENELEC R064-003).

Certificado técnico UTE 15L-602.

Hipóteses e escolha da aparelhagem são da responsabilidade do utilizador.

Carga

I :

764.79 A

Polaridade do circuito :

Tri

P :

450.38 kW

Esquema das ligações à terra :

TT

cosφ :

0.85

Repartição :

-

Número de circuitos idênticos

1

1.0

c) Cálculo Utilizando a Aplicação Desenvolvida

Após introduzir os dados do enunciado do problema do caso de estudo n.º2, apresenta-se o resultado obtido na Tabela 4.3.

d) Conclusão

Após o cálculo da secção e respetiva queda de tensão para o caso de estudo n.º2, através das três metodologias enunciadas anteriormente, verifica-se que a secção necessária para esta canalização é igual nas três situações, o que leva à conclusão de que a aplicação desenvolvida está a fazer o cálculo desta grandeza corretamente.

Relativamente ao valor da queda de tensão máxima admissível, Δu verifica-se que o resultado obtido cumpre o estipulado nas RTIEBT. Estes valores são mostrados na Tabela 3.7.

4.5.3 Caso de Estudo n.º3

Considere um edifício com 8 andares, sendo um, o rés-do-chão com 3 estabelecimentos comerciais e cada um dos restantes andares composto por duas habitações T4, alimentado por um quadro de colunas QC₁.

O quadro de colunas QC₂ alimenta um outro edifício constituído por 3 pisos, em que cada um é composto por uma habitação T4 e duas habitações T3.

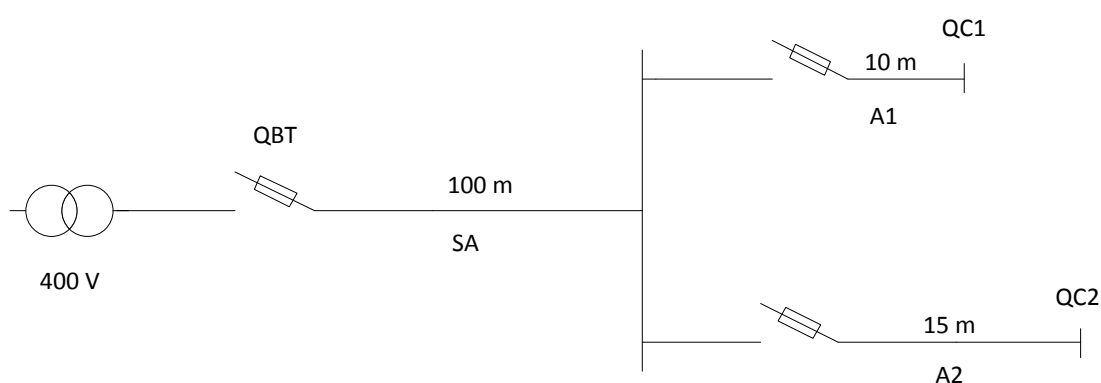


Fig. 4.5. Esquema unifilar do caso de estudo n.º3.

Tabela 4.3. Resultado de cálculo do caso de estudo nº2.

CANEXCALC CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DA CANALIZAÇÃO	
Tipo de cabo	Cabos monocondutores
Disposição	em caminhos de cabos horizontal perfurados
Modo de instalação	sem afastamento em esteira
Referência	13
Método de referência	F
Disposição dos condutores	Em esteira sem afastamento horizontal
Comprimento (metros)	50
Polaridade	Trifásico
Tipo de Isolamento	XLPE/EPR
Tipo de bainha	PVC
Tipo de condutor	Cobre
Tensão estipulada dos condutores (Volt)	500
Número de circuitos extra por canalização	1
Número de camadas	1
Número de prateleiras na horizontal	1
Número de prateleiras na vertical	1
Factor (K) do utilizador	1
Temperatura ambiente (°C)	40
Resistividade térmica do solo (K.m/W)	1
Secção MAX do condutor de fase (mm²)	240
Corrente da carga Ib (A)	800
Corrente da protecção In (A)	800
Cos FI da carga	0,85
Queda de tensão a montante (%)	0,00%
Queda de tensão máxima na extremidade (%)	8,00%
Número de condutores por fase	2
Secção do condutor de fase (mm²)	185
Descrição da instalação:	F - Cabos monocondutores em caminhos de cabos horizontal perfurados sem afastamento em esteira
Queda de tensão na extremidade da canalização (%)	1,23%

Considere a potência de cada habitação T3 e T4, 13,2 kVA, dos estabelecimentos comerciais 9,9 kVA e dos serviços comuns, também 9,9 kVA.

O cabo a utilizar na canalização S_A é LXS (cabo torçada em alumínio) e nos ramais A₁ e A₂ utiliza-se o cabo XS (cabo torçada em cobre) sendo os cabos multicondutores suspensos por fiadores. Considere a temperatura ao ar de 35°C e isolamento XLPE.

Pretende-se dimensionar todos os condutores deste circuito, bem como os dispositivos de proteção e verificar se a queda de tensão está dentro dos parâmetros legais. Caso contrário, calcule nova secção.

a) Cálculo Analítico

Inicialmente começou-se por consultar a **Erro! A origem da referência não foi encontrada.**, para saber qual o valor a utilizar, em função do número de instalações de toda a canalização.

Assim, obtiveram-se os seguintes valores:

Para 17 instalações $\Rightarrow k_s = 0,48$

Para 9 instalações $\Rightarrow k_s = 0,75$

Para 28 instalações $\Rightarrow k_s = 0,40$

De seguida, calculou-se a potência aparente, inicialmente em separado para cada quadro de colunas e posteriormente a potência total.

$$S_{Qc1} = n_{habit} \times P \times k_s + P_{SC} = (2 \times 7 \times 13,2 + 3 \times 9,9) \times 0,48 + 9,9 = 112,86 \text{ kVA}$$

$$S_{Qc2} = n_{habit} \times P \times k_s + P_{SC} = (3 \times 13,2 + 3 \times 2 \times 13,2) \times 0,75 + 9,9 = 99 \text{ kVA}$$

$$S_A = [(14 + 9) \times 13,2 + 5 \times 9,9] \times 0,40 = 141,2 \text{ kVA}$$

De seguida calculou-se a corrente de serviço de cada quadro.

Ramal A₁

$$I_B = \frac{S_{Qc1}}{\sqrt{3} \times U_c} = \frac{112860}{\sqrt{3} \times 400} = 162,9 \text{ A}$$

Ramal A₂

$$I_B = \frac{S_{Qc2}}{\sqrt{3} \times U_c} = \frac{99000}{\sqrt{3} \times 400} = 142,9 \text{ A}$$

Canalização S_A

$$I_B = \frac{S_A}{\sqrt{3} \times U_c} = \frac{141200}{\sqrt{3} \times 400} = 203,8 \text{ A}$$

Para determinar o I_n , corrente nominal da proteção, encontraram-se os disjuntores de valor superior mais próximo do I_B , sendo 200 A e 160 A, para o primeiro e segundo quadro de colunas, respetivamente. Para a canalização, considerou-se um disjuntor de 250 A.

Após o cálculo dos valores fundamentais para qualquer canalização elétrica, foi-se saber qual o modo de instalação desta canalização e consequentemente o seu método de referência.

Por consulta do quadro 52H das RTIEBT, verificou-se que para cabos multicondutores suspensos por fiadores, o método de referência correspondente é o E.

Para uma temperatura ao ar de 35°C e isolamento XLPE e por consulta do quadro 52-D1 das RTIEBT, o fator de correção a aplicar é 0,96.

Dividindo os valores da corrente nominal pelo fator de correção total, obtém-se:

Ramal A₁

$$I_{nr} = \frac{I_n}{k} = \frac{200}{0,96} = 208,3 \text{ A}$$

Ramal A₂

$$I_{nr} = \frac{I_n}{k} = \frac{160}{0,96} = 166,7 \text{ A}$$

Canalização S_A

$$I_{nr} = \frac{I_n}{k} = \frac{250}{0,96} = 260,4 \text{ A}$$

De seguida consultou-se o quadro 52-C11 das RTIEBT, que é o quadro correspondente para método de referência E, para canalizações em cobre com isolamento em XLPE.

Por consulta deste quadro verificou-se que para os ramais A₁ e A₂, são necessários, um cabo com secção de 70 mm² e um cabo com secção de 50 mm², para uma corrente máxima admissível (I_{Zm}) de 246 A e 192 A, respetivamente.

Por consulta do quadro 52-C12 das RTIEBT, que é o quadro correspondente para método de referência E, para canalizações em alumínio com isolamento em XLPE, chegou-se à conclusão que para a canalização S_A é necessário um cabo com secção de 120 mm², com uma corrente máxima admissível de 263 A.

Multiplicando o valor das correntes máximas admissíveis referidas anteriormente pelo fator de correção, obtém-se:

Ramal A₁

$$I_Z = I_{Zm} \times k = 246 \times 0,96 = 236,2 \text{ A}$$

Ramal A₂

$$I_Z = I_{Zm} \times k = 192 \times 0,96 = 184,3 \text{ A}$$

Canalização S_A

$$I_Z = I_{Zm} \times k = 263 \times 0,96 = 252,5 \text{ A}$$

No entanto tem de se verificar simultaneamente as condições para os dispositivos de proteção, que garantam a proteção de uma canalização contra sobrecargas, que já foram descritas anteriormente:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \qquad I_2 \leq 1,45 I_Z$$

Verificando a 1ª condição, obtém-se:

Ramal A₁

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \Leftrightarrow 162,9 \text{ A} \leq 200 \text{ A} \leq 236,2 \text{ A}$$

Ramal A₂

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \Leftrightarrow 142,9 \text{ A} \leq 160 \text{ A} \leq 184,3 \text{ A}$$

Canalização S_A

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \Leftrightarrow 203,8 \text{ A} \leq 250 \text{ A} \leq 252,5 \text{ A}$$

As três condições verificadas anteriormente são verdadeiras, no entanto tem de se verificar a 2ª condição.

Para fusíveis e para correntes nominais superiores a 16 A, utiliza-se o fator $k_2 = 1,6$ (k_2 é a relação entre o valor da corrente I_2 que garante o funcionamento do dispositivo de proteção e a sua corrente estipulada I_n).

Assim, multiplicando as correntes nominais pelo fator k_2 , obtém-se:

Ramal A₁

$$k_2 \times I_n \leq 1,45I_Z \Leftrightarrow 1,6 \times 200 \text{ A} \leq 1,45 \times 236,2 \text{ A} \Leftrightarrow 320 \text{ A} \leq 342,5 \text{ A}$$

Ramal A₂

$$k_2 \times I_n \leq 1,45I_Z \Leftrightarrow 1,6 \times 160 \text{ A} \leq 1,45 \times 184,3 \text{ A} \Leftrightarrow 256 \text{ A} \leq 267,2 \text{ A}$$

Canalização S_A

$$k_2 \times I_n \leq 1,45I_Z \Leftrightarrow 1,6 \times 250 \text{ A} \geq 1,45 \times 252,5 \text{ A} \Leftrightarrow 400 \text{ A} \geq 366,1 \text{ A}$$

Como já foi referido anteriormente, a 1ª condição, $I_B \leq I_n \leq I_Z$ verifica-se nas três situações, no entanto a 2ª condição, $I_2 \leq 1,45 I_Z$ apenas se verifica nas duas primeiras situações.

Para a canalização S_A, a 2ª condição não se verifica, logo vai ter de se aumentar a secção, ou seja, é necessário um cabo de 150 mm^2 , para uma corrente máxima admissível de 304 A.

$$I_Z = I_{Zm} \times k = 304 \times 0,96 = 291,8 \text{ A}$$

Assim, considerando a nova secção, vai-se verificar a segunda condição novamente:

$$k_2 \times I_n \leq 1,45I_Z \Leftrightarrow 1,6 \times 250 \text{ A} \leq 1,45 \times 291,8 \text{ A} \Leftrightarrow 400 \text{ A} \leq 423,2 \text{ A}$$

Representando graficamente, obtêm-se os diagramas da Fig. 4.6, Fig. 4.7 e Fig. 4.8, para o ramal A₁, ramal A₂ e canalização S_A, respectivamente.

Ramal A₁

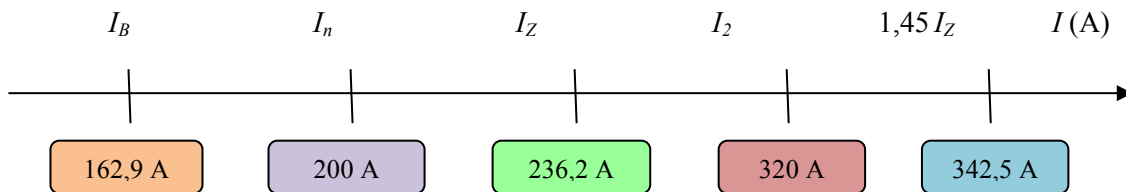


Fig. 4.6. Diagrama das correntes do caso de estudo n.º3 para o ramal A₁.

Ramal A₂

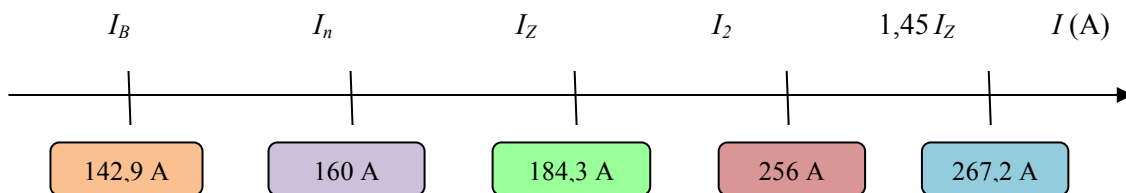


Fig. 4.7. Diagrama das correntes do caso de estudo n.º3 para o ramal A₂.

Canalização S_A

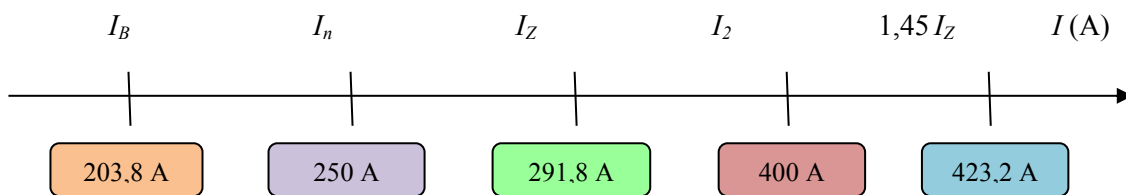


Fig. 4.8. Diagrama das correntes do caso de estudo n.º3 para a canalização S_A.

Para a resistividade ôhmica de um condutor e de acordo com o estipulado nas RTIEBT, considera-se 1,25 vezes a resistividade do metal condutor a 20°C. Assim, para os condutores em cobre e alumínio, deve-se considerar respectivamente, a resistividade de:

$$\rho_{\text{cobre}} = 0,0215 \, \Omega \text{mm}^2/\text{m}$$

$$\rho_{\text{alumínio}} = 0,035 \, \Omega \text{mm}^2/\text{m}$$

Neste caso considera-se o fator de potência 1,

$$\cos \varphi = 1 \Rightarrow \varphi = 0^\circ \Rightarrow \sin \varphi = 0$$

Como os dois ramais, A₁ e A₂ são alimentados pela canalização S_A, calculou-se inicialmente a queda de tensão na canalização S_A, para posteriormente somar aos valores da queda de tensão nos ramais respectivos.

Canalização S_A

$$\begin{aligned} u &= b \times \left(\rho \times \frac{l}{s} \times \cos \varphi + \frac{\lambda}{n^\circ \text{ cond}} \times l \times \sin \varphi \right) \times I_B \\ &= \left(0,035 \times \frac{100}{150} \times 1 + \frac{0,00008}{1} \times 100 \times 0 \right) \times 203,8 = 4,76 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\Delta u = \frac{u}{U_s} \times 100 = \frac{4,76}{230} \times 100 = 2,1 \%$$

Ramal A₁

$$\begin{aligned} u &= b \times \left(\rho \times \frac{l}{s} \times \cos \varphi + \frac{\lambda}{n^\circ \text{ cond}} \times l \times \sin \varphi \right) \times I_B \\ &= \left(0,0215 \times \frac{10}{70} \times 1 + \frac{0,00008}{1} \times 10 \times 0 \right) \times 162,9 = 0,5 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\Delta u = \frac{u}{U_s} \times 100 = \frac{0,5}{230} \times 100 = 0,22 \%$$

$$\Delta u_{total} = \Delta u_{Canalização SA} + \Delta u_{Ramal A1} = 2,1 + 0,22 = 2,32 \%$$

Ramal A₂

$$\begin{aligned} u &= b \times \left(\rho \times \frac{l}{s} \times \cos \varphi + \frac{\lambda}{n^\circ \text{ cond}} \times l \times \sin \varphi \right) \times I_B \\ &= \left(0,0215 \times \frac{15}{50} \times 1 + \frac{0,00008}{1} \times 15 \times 0 \right) \times 142,9 = 0,92 \text{ V} \end{aligned}$$

$$\Delta u = \frac{u}{U_s} \times 100 = \frac{0,92}{230} \times 100 = 0,4 \%$$

$$\Delta u_{total} = \Delta u_{Canalização SA} + \Delta u_{Ramal A2} = 2,1 + 0,4 = 2,5 \%$$

b) Cálculo Utilizando o Software Ecodial

Ramal A₁

Circuito :

A montante :
A jusante :
Tensão :

Circuito5 (Q5-C5) - Calculado

A
QC1
400 V

Fusível :

Referência do combinado-fusível :
Tipo do combinado-fusível :
Número de pólos :
Modelo do fusível :
calibre do fusível :
Tipo de fusível (Norma) :
Selectividade :
Protecção diferencial :

Q5

INFD250
Interruptor-seccionador
4P3F
gG
200.00 A
DIN (NH)

calibre do combinado-fusível : 250.0 A

Calibre do fusível do neutro 200.0 A
Dimensões do fusível :

NH0

Designação da protecção diferencial : -
Sensibilidade : -
Nível de temporização : -
Selectividade diferencial : -

Cabo :

Comprimento :
Modo de instalação :

C5

10.0 m
E
cabos multicondutores autosuportados ou suspensos por fiadores

Tipo de cabo :

Isolamento :

Disposição dos condutores :

Temperatura ambiente :

Multicondutor

XLPE/EPR

Triângulo

35 °C

N.º de camadas : 1

N.º de circuitos agrupados suplementares: 0

Nível de TDHI: 0 %

Corrente admissível no cabo (I_z):

I_z nas condições normais de utilização: 245.6 A

I_z x factores de correcção (condições reais de utilização): 213.7 A

Limitação de dimensionamento : sobrecargas

Factores de correcção :
Temperatura : 0.96 (52-D1)
x Resistividade térmica do solo : 1.00 (52-E6)
x Neutro carregado : 1.00 (D.52-1 (IEC60364))
x Cabos agrupados : 1.00 (52-E4)
x N.º Camadas : 1.00 (52-E2)
x Utilizador : 1.00
/ Protecção) : 1.10 (§433.1)

0.87

Secções (mm ²)	teóricas	escolhidas	designação	metal
Por fase	1 x 57.9	1 x 70.0		Cobre
Neutro	1 x 57.9	1 x 70.0		Cobre
PE	1 x 0.2	1 x 35.0		Cobre

Quedas de tensão	a montante	circuito	a jusante
ΔU (%)	2.41	0.2389	2.65

Resultados dos cálculos :

	I _{cc} a montante	I _{k3} máx	I _{k2} máx	I _{k1} máx	I _{k2} mín	I _{k1} mín	I defeito
(kA)	6.6180	6.1831	5.3547	3.8793	4.1885	2.9233	0.0228
R (mOhm)	33.6862	36.3305	72.6610	59.0817	87.0140	73.4347	105.7470
X (mOhm)	18.5845	19.3845	38.7689	28.5845	38.7689	28.5845	28.1845
Z (mOhm)	38.4726	41.1784	82.3568	65.6332	95.2600	78.8018	109.4385

Resultados de cálculo em conformidade com o guia UTE C15-500 (documento CENELEC R064-003).

Certificado técnico UTE 15L-602.

Hipóteses e escolha da aparelhagem são da responsabilidade do utilizador.

Carga	I :	162.97 A	Polaridade do circuito :	Tri + N
	P :	112.91 kW	Esquema das ligações à terra :	TT
	cosp :	1.00	Repartição :	-
	Número de circuitos idênticos		Ku :	1.0

Ramal A₂

Circuito :

A montante :	A
A jusante :	QC2
Tensão :	400 V

Circuito6 (Q6-C6) - Calculado

Fusível :

Referência do combinado-fusível :	INFD160	calibre do combinado-fusível :	160.0 A
Tipo do combinado-fusível :	Interruptor-seccionador		
Número de pólos :	4P3F		
Modelo do fusível :	gG		
calibre do fusível :	160.00 A	Calibre do fusível do neutro	160.00 A
Tipo de fusível (Norma) :	DIN (NH)	Dimensões do fusível :	NH00
Selectividade :	T		
Protecção diferencial :	Não		
Designação da protecção diferencial :	-		
Sensibilidade :	-		
Nível de temporização :	-		
Selectividade diferencial :	-		

Cabo :

Comprimento :	15.0 m		
Modo de instalação :	E		
	cabos multicondutores autosuportados ou suspensos por fiadores		
Tipo de cabo :	Multicondutor	N.º de camadas :	1
Isolamento :	XLPE/EPR	N.º de circuitos agrupados suplementares:	0
Disposição dos condutores :	Triângulo		
Temperatura ambiente :	35 °C	Nível de TDHI:	0 %

Corrente admissível no cabo (I_z):

I _z nas condições normais de utilização:	198.2 A
I _z x factores de correcção (condições reais de utilização):	172.4 A

Limitação de dimensionamento : sobrecargas

Factores de correcção :	Temperatura	: 0.96	(52-D1)
	x Resistividade térmica do solo	: 1.00	(52-E6)
	x Neutro carregado	: 1.00	(D.52-1 (IEC60364))
	x Cabos agrupados	: 1.00	(52-E4)
	x N.º Camadas	: 1.00	(52-E2)
	x Utilizador	: 1.00	
	/ Protecção)	: 1.10	(§433.1)

0.87

Secções (mm²)	Teóricas	escolhidas	designação	metal
Por fase	1 x 40.8	1 x 50.0		Cobre
Neutro	1 x 40.8	1 x 50.0		Cobre
PE	1 x 0.2	1 x 25.0		Cobre

Quedas de tensão	a montante	circuito	a jusante
ΔU (%)	2.41	0.4405	2.85

Resultados dos cálculos :

	I _{cc} a montante	I _{k3} máx	I _{k2} máx	I _{k1} máx	I _{k2} mín	I _{k1} mín	I defeito
(kA)	6.6180	5.7939	5.0177	3.5739	3.8317	2.6236	0.0228
R (mOhm)	33.6862	39.2392	78.4784	64.8992	96.3219	82.7426	119.7088
X (mOhm)	18.5845	19.7845	39.5689	29.3845	39.5689	29.3845	28.9845
Z (mOhm)	38.4726	43.9448	87.8895	71.2415	104.1326	87.8054	123.1678

Resultados de cálculo em conformidade com o guia UTE C15-500 (documento CENELEC R064-003).

Certificado técnico UTE 15L-602.

Hipóteses e escolha da aparelhagem são da responsabilidade do utilizador.

Carga	I :	142.90 A	Polaridade do circuito :	Tri + N
	P :	99.00 kW	Esquema das ligações à terra :	TT
	cosφ :	1.00	Repartição :	-
			Ku :	1.0
	Número de circuitos idênticos			1

Canalização S_A

Circuito : Circuito3 (Q3-C3) - Calculado

A montante :	Q.BT
A jusante :	A
Tensão :	400 V

Fusível :	Q3		
Referência do combinado-fusível :	INFD250	calibre do combinado-fusível :	250.0 A
Tipo do combinado-fusível :	Interruptor-seccionador		
Número de pólos :	4P3F		
Modelo do fusível :	gG		
calibre do fusível :	250.00 A	Calibre do fusível do neutro	250.00 A
Tipo de fusível (Norma) :	DIN (NH)	Dimensões do fusível :	NH0
Selectividade :			
Protecção diferencial :	Não		
Designação da protecção diferencial :	-		
Sensibilidade :	-		
Nível de temporização :-	-		
Selectividade diferencial :	-		

Cabo :	C3		
Comprimento :	100.0 m		
Modo de instalação :	E		
	cabos multicondutores autosuportados ou suspensos por fiadores		
Tipo de cabo :	Multicondutor	N.º de camadas :	1
Isolamento :	XLPE/EPR	N.º de circuitos agrupados suplementares:	0
Disposição dos condutores :	Triângulo		
Temperatura ambiente :	35 °C	Nível de TDHI:	0 %

Corrente admissível no cabo (I_z):

I _z nas condições normais de utilização:	303.5 A
I _z x factores de correcção (condições reais de utilização):	264.0 A

Limitação de dimensionamento : sobrecargas

Factores de correcção :	Temperatura	: 0.96	(52-D1)
	x Resistividade térmica do solo	: 1.00	(52-E6)
	x Neutro carregado	: 1.00	(D.52-1 (IEC60364))
	x Cabos agrupados	: 1.00	(52-E4)
	x N.º Camadas	: 1.00	(52-E2)
	x Utilizador	: 1.00	
	/ Protecção)	: 1.10	(§433.1)

0.87

Secções (mm²)	teóricas	escolhidas	designação	metal
Por fase	1 x 126.3	1 x 150.0		Alumínio
Neutro	1 x 126.3	1 x 150.0		Alumínio
PE	1 x 0.2	1 x 70.0		Alumínio

Quedas de tensão	a montante	circuito	a jusante
ΔU (%)	0.08	2.3306	2.41

Resultados dos cálculos :

	I _{cc} a montante	I _{k3} máx	I _{k2} máx	I _{k1} máx	I _{k2} mín	I _{k1} mín	I defeito
(kA)	14.4548	6.6180	5.7313	4.2307	4.0552	2.8064	0.0228
R (mOhm)	14.0795	33.6862	67.3724	53.7932	91.1005	77.5213	112.7731
X (mOhm)	10.5845	18.5845	37.1689	26.9845	37.1689	26.9845	26.5845
Z (mOhm)	17.6143	38.4726	76.9452	60.1820	98.3912	82.0836	115.8642

Resultados de cálculo em conformidade com o guia UTE C15-500 (documento CENELEC R064-003).

Certificado técnico UTE 15L-602.

Hipóteses e escolha da aparelhagem são da responsabilidade do utilizador.

Carga	I :	214.11 A	Polaridade do circuito :	Tri + N
	P :	148.33 kW	Esquema das ligações à terra :	TT
	cosφ :	1.00	Repartição :	-
			Ku :	1.0
	Número de circuitos idênticos			1

c) Cálculo Utilizando a Aplicação Desenvolvida

Após introduzir os dados do enunciado do problema do caso de estudo n.º3, apresenta-se os resultados obtidos na Tabela 4.4, Tabela 4.5 e Tabela 4.6, para o ramal A₁, ramal A₂ e canalização S_A, respetivamente.

Após o cálculo realizado pelos diferentes métodos apresentados anteriormente, chegou-se à conclusão de que a aplicação desenvolvida está a fazer o cálculo de secção e respetiva queda de tensão corretamente.

d) Conclusão

Após o cálculo da secção e respetiva queda de tensão para o caso de estudo n.º3, através das três metodologias enunciadas anteriormente, verifica-se que a secção necessária para esta canalização é igual nas três situações, o que leva à conclusão de que a aplicação desenvolvida está a fazer o cálculo desta grandeza corretamente.

Relativamente ao valor da queda de tensão máxima admissível, Δu verifica-se que o resultado obtido cumpre o estipulado nas RTIEBT. Estes valores são mostrados na Tabela 3.7.

Tabela 4.4. Resultado de cálculo do ramal A₁ para o caso de estudo nº3.

CANEXCALC CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DA CANALIZAÇÃO	
Tipo de cabo	Cabos multicondutores
Disposição	autosuportados ou suspensos por fiadores
Modo de instalação	
Referência:	17
Método de referência:	E
Disposição dos condutores	
Comprimento (metros)	10
Tipo de protecção	Fusível gL
Polaridade	Trifásico
Tipo de Isolamento	XLPE/EPR
Tipo de bainha	PVC
Tipo de condutor	Cobre
Tensão estipulada dos condutores (Volt)	500
Número de circuitos extra por canalização	0
Número de camadas	1
Número de prateleiras na horizontal	1
Número de prateleiras na vertical	1
Factor (K) do utilizador	1
Temperatura ambiente (°C)	35
Resistividade térmica do solo (K.m/W)	1
Secção MAX do condutor de fase (mm²)	240
Corrente da carga Ib (A)	163
Corrente da protecção In (A)	200
Cos FI da carga	1
Queda de tensão a montante (%)	2,20%
Queda de tensão máxima na extremidade (%)	5,00%
Número de condutores por fase	1
Secção do condutor de fase (mm²)	70
Descrição da instalação:	E - Cabos multicondutores autosuportados ou suspensos por fiadores
Queda de tensão na extremidade da canalização (%)	2,42%

Tabela 4.5. Resultado de cálculo do ramal A₂ para o caso de estudo nº3.

CANEXCALC CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DA CANALIZAÇÃO	
Tipo de cabo	Cabos multicondutores
Disposição	autosuportados ou suspensos por fiadores
Modo de instalação	
Referência:	17
Método de referência:	E
Disposição dos condutores	
Comprimento (metros)	15
Tipo de protecção	Fusível gL
Polaridade	Trifásico
Tipo de Isolamento	XLPE/EPR
Tipo de bainha	PVC
Tipo de condutor	Cobre
Tensão estipulada dos condutores (Volt)	500
Número de circuitos extra por canalização	0
Número de camadas	1
Número de prateleiras na horizontal	1
Número de prateleiras na vertical	1
Factor (K) do utilizador	1
Temperatura ambiente (°C)	35
Resistividade térmica do solo (K.m/W)	1
Secção MAX do condutor de fase (mm²)	240
Corrente da carga Ib (A)	143
Corrente da protecção In (A)	160
Cos FI da carga	1
Queda de tensão a montante (%)	2,20%
Queda de tensão máxima na extremidade (%)	5,00%
Número de condutores por fase	1
Secção do condutor de fase (mm²)	50
Descrição da instalação:	E - Cabos multicondutores autosuportados ou suspensos por fiadores
Queda de tensão na extremidade da canalização (%)	2,60%

Tabela 4.6. Resultado de cálculo da canalização S_A para o caso de estudo nº3.

CANEXCALC CARACTERÍSTICAS PRINCIPAIS DA CANALIZAÇÃO	
Tipo de cabo	Cabos multicondutores
Disposição	autosuportados ou suspensos por fiadores
Modo de instalação	
Referência:	17
Método de referência:	E
Disposição dos condutores	
Comprimento (metros)	100
Tipo de proteção	Fusível gL
Polaridade	Trifásico
Tipo de Isolamento	XLPE/EPR
Tipo de bainha	PVC
Tipo de condutor	Aluminio
Tensão estipulada dos condutores (Volt)	500
Número de circuitos extra por canalização	0
Número de camadas	1
Número de prateleiras na horizontal	1
Número de prateleiras na vertical	1
Factor (K) do utilizador	1
Temperatura ambiente (°C)	35
Resistividade térmica do solo (K.m/W)	1
Secção MAX do condutor de fase (mm²)	240
Corrente da carga Ib (A)	215
Corrente da protecção In (A)	250
Cos FI da carga	1
Queda de tensão a montante (%)	0,00%
Queda de tensão máxima na extremidade (%)	5,00%
Número de condutores por fase	1
Secção do condutor de fase (mm²)	150
Descrição da instalação:	E - Cabos multicondutores autosuportados ou suspensos por fiadores
Queda de tensão na extremidade da canalização (%)	2,20%

4.6 Conclusões

Neste capítulo foi apresentada a aplicação informática desenvolvida, CANEXCALC, que tem como principal vantagem, permitir a qualquer utilizador determinar o número de condutores e respetiva secção a instalar numa determinada instalação, de uma forma simples e intuitiva, tendo por base as características principais de qualquer instalação elétrica, sem ter de consultar as RTIEBT e sem ter que utilizar o *software* Ecodial, que já obriga a um conjunto de conhecimentos mais aprofundados. Os resultados obtidos deverão ser confirmados posteriormente por um técnico sénior aquando da integração no projeto final.

A aplicação CANEXCALC também permite calcular a queda de tensão e limitar a secção máxima dos condutores a utilizar, realizando assim um cálculo automático do número de condutores em paralelo, com secção igual ou inferior, que cumpra todos os requisitos.

Ainda neste capítulo, foram apresentados três casos de estudo reais, em que se calcularam as secções e respetivas quedas de tensão a utilizar nas diversas canalizações, através das três metodologias enunciadas anteriormente: analiticamente, utilizando o *software* Ecodial e finalmente utilizando o CANEXCALC. Para cada caso foi efetuado um estudo comparativo e de análise dos resultados obtidos. Resumidamente, e após terem sido analisados os três casos de estudo através das metodologias enunciadas, verifica-se que a secção dos cabos a utilizar é igual nas três situações, o que leva à conclusão de que o CANEXCALC está a realizar os cálculos relativos a esta grandeza de forma correta.

Relativamente ao valor da queda de tensão máxima admissível, Δu verifica-se que os resultados obtidos cumprem o estipulado nas RTIEBT. Estes valores são apresentados na Tabela 3.7.

5 Conclusão

Com o término das duas componentes constituintes do mestrado, curso de especialização e componente de Estágio, este último realizado em contexto laboral, ambas foram essenciais para a ampliação, tanto quantitativa como qualitativa, dos conhecimentos da estagiária nesta área. A fase de integração nos processos da empresa e na ação do cálculo de canalizações elétricas em diversas obras, foi fundamental para o desempenho desta função, com a profundidade e rigor desejados. Tratou-se de um processo evolutivo e multidisciplinar, que possibilitou a execução de inúmeras tarefas, onde se conjugaram a componente teórica e a prática adquirida.

Durante o estágio e com o aparecimento de diversas dúvidas, sobre variadas matérias, foi gratificante contar com o apoio prestado pelos sócios, funcionários e colaboradores da empresa EXSEPI, sem os quais o presente estágio teria sido bem menos interessante e certamente menos produtivo. Desta forma, é possível afirmar que os objetivos inicialmente propostos foram atingidos, graças ao apoio prestado pela instituição de ensino e a empresa de acolhimento do estágio.

A escolha do desenvolvimento de uma aplicação informática, simples e intuitiva, para o cálculo de uma canalização elétrica, revelou-se uma experiência extremamente gratificante e compensadora, apesar de todo o esforço exigido, pela abrangência que esta área possui.

Resumindo, o estágio na EXSEPI foi extremamente importante por possibilitar o contacto entre a estagiária e o envolvimento mais aprofundado do meio profissional, apresentando diversas áreas de atuação, após a licenciatura em engenharia eletrotécnica, principalmente no que diz respeito ao cálculo de secções de cabos e respetivas quedas de tensão.

5.1 Perspetivas de Desenvolvimento Futuro

Nesta fase da formação da estagiária com um determinado grau de conhecimentos adquiridos, a mudança é constante e permanente, pelo que a formação, a aquisição e a atualização dos conhecimentos deverá fazer sempre parte do quotidiano profissional.

Com este relatório de estágio concluiu-se mais uma etapa, no entanto, não se trata de um trabalho final, uma vez que durante o estágio foi desenvolvida uma aplicação informática, que

permite desenvolvimentos futuros em vários domínios, com melhoramentos significativos. Procurar-se-á aprofundar o cálculo para o correto dimensionamento de uma canalização elétrica, introduzindo no programa desenvolvido mais algumas grandezas elétricas que se considerem pertinentes, por forma a calcular mais do que uma solução possível, pois atualmente não se deve estar limitado a uma única solução, nomeadamente ao nível económico.

As perspetivas de trabalho futuro são o aperfeiçoamento do CANEXCALC por forma a conseguir um interface visual mais agradável ao utilizador e a evolução da mesma ferramenta para maiores níveis de tensão, MT e AT.

5.2 Contribuição dos Conhecimentos Adquiridos na Formação Académica para o Estágio

O presente relatório de estágio foi uma forma de solidificar os conhecimentos adquiridos, durante a vida académica, no decorrer da licenciatura em engenharia eletrotécnica, nomeadamente nas unidades curriculares de Instalações Elétricas e Projeto de Instalações Elétricas. Neste contexto, e após os conhecimentos adquiridos no decurso da formação académica, a estagiária considera que faltava esta importante experiência profissional, para melhor estabelecer a relação entre o ensino e o desempenho de um cargo dentro da área.

A estagiária considera ainda que durante o percurso académico, após ter participado em vários diálogos entre professores e alunos que já desempenhavam tarefas na área de canalizações elétricas, nada poderia ter maior valor acrescentado do que verificar, no terreno, o cumprimento das regras técnicas, a adoção de procedimentos e medidas de controlo interno, bem como os métodos utilizados de forma a melhor e a rentabilizar os recursos.

Referências

- [1] R. J. Martins de Carvalho Jesus, Projeto de Instalação Elétrica de Baixa Tensão de um Lar de Idosos, Escola de Engenharia, Universidade do Minho, Junho de 2010.
- [2] L. M. Vilela Pinto, HabitatPro, Schneider Electric, 2006
- [3] L. Ricardo de Matos, *Softwares* para Engenharia Civil, Universidade Anhembi Morumbi, São Paulo, Brasil, 2009.
- [4] EXSEPI, Estudos e Projetos Industriais, Disponível em: <http://www.exsepi.com> (consultado em 16 de novembro de 2011).
- [5] Caneco BT, Cálculo, análise e esquemas de instalações eléctricas baixa tensão, Disponível em: http://www.mundisoft.pt/caneco_bt.htm, (consultado em 20 de junho de 2011).
- [6] Schneider Electric, Ecodial – Programa de cálculo de instalações eléctricas, Disponível em: <http://www.engineering.schneider-electric.pt>, (consultado em 20 de junho de 2011).
- [7] Certiel, Condutores e Cabos, Ficha Técnica n.º 3 da Infocertiel – Março de 2003, Disponível em: <http://www.certiel.pt/web/certiel/fichas-tecnicas>, (consultado em 23 de setembro de 2011).
- [8] J. P. Tomé Saraiva, Dimensionamento e Proteção de Canalizações Elétricas em Baixa Tensão, Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, Setembro de 2000.
- [9] M. A. Matos, Noções de Dimensionamento de Canalizações Elétricas, Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 1996.
- [10] RTIEBT, Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão, 1.ª Edição Anotada, Direção Geral de Geologia e Energia, Dezembro 2006.
- [11] Guia Técnico da Solidal, Especificações Gerais dos Condutores e Cabos Elétricos, 11.ª Edição, Disponível em: <http://www.solidal.pt>.
- [12] Certiel, Condutores e Cabos, Ficha Técnica n.º 4 da Infocertiel – Junho de 2003, Disponível em: <http://www.certiel.pt/web/certiel/fichas-tecnicas>, (consultado em 23 de setembro de 2011).
- [13] J. Neves dos Santos, Cabos de energia, Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [14] Legrand, Sizing conductors and selecting protection devices, Power Guide, Book 04, 2009.
- [15] L. P. Araújo, Condutores e Cabos Elétricos, Disponível em: <http://www.prof2000.pt/users/lpa>, (consultado em 12 de setembro de 2011).
- [16] ERSE, Entidade Reguladora dos Serviços Energéticos, Qualidade de Serviço, Disponível em: <http://www.erse.pt/pt/electricidade/qualidadedeservico/Paginas/default.aspx> (consultado em 9 de novembro de 2011).
- [17] H. Ribeiro da Silva, A. Araújo Gomes, Projecto de instalações eléctricas secção técnica vs, secção económica de canalizações eléctricas, Neutro à terra, Revista Técnico-Científica, ISEP, Abril 2009.

- [18] A. Teixeira, Conceção de Instalações Eléctricas, Departamento de Engenharia Eletrotécnica e de Computadores, Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2007.
- [19] Cabelte, Manual de Cabos Eléctricos de Baixa Tensão, 2008, Disponível em: <http://www.cabelte.pt>.
- [20] L. M. Vilela Pinto, Técnicas e Tecnologias em Instalações Elétricas, 2.^a Edição, Porto 2003.
- [21] H. Dias Nogueira, ABC das Regras Técnicas, editora Publinústria, Fevereiro 2011.

ANEXO I

Parte 5 das R.T.I.E.B.T.

QUADRO 52G
Instalação das canalizações

Situação	Modos de instalação							
	Sem fixação	Fixação directa	Condutas circulares (tubos)	Calhas	Condutas não circulares	Caminhos de cabos, escadas e consolas	Sobre isoladores	Cabos auto-suportados
Ocos de construção	21,25, 73,74	0	22,73, 74	-	23	12,13,14, 15,16	-	-
Caleiras	43	43	41,42	31,32	4,24	12,13,14, 15,16	-	-
Enterradas	62,63	0	61	-	61	0	-	-
Embebidas	52,53	51	1,2,5	33	24	0	-	-
À vista	-	11	3	31,32, 71,72	4	12,13,14, 15,16	18	-
Linhas aéreas	-	-	0	34	-	12,13,14, 15,16	18	17
Imersas	81	81	0	-	0	0	-	-

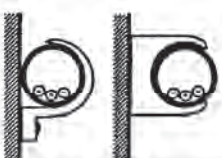
- - Interdito

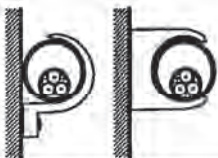
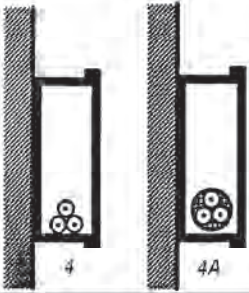
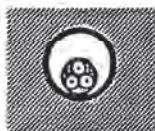
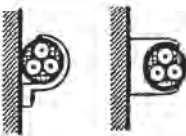
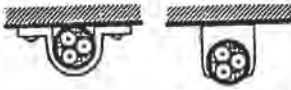
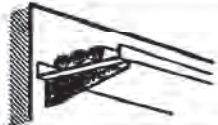
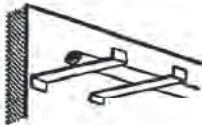
0 - Não aplicável ou não utilizado na prática

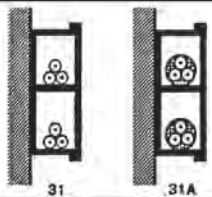
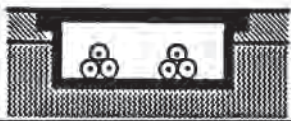
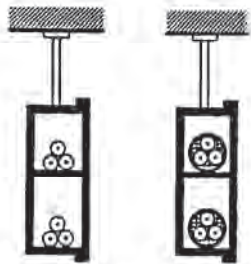
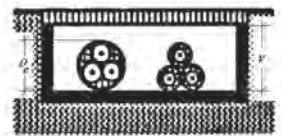
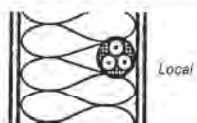
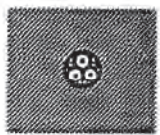
A indicação de um (ou de vários) número(s) corresponde ao da referência do modo de instalação caracterizado no quadro 52H

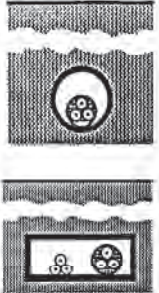
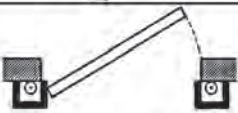
521.3 — No quadro 52H são indicados exemplos de modos de instalação de canalizações.

QUADRO 52H
Exemplos de modos de instalação

Exemplo	Designação	Ref. ^a	Método de ref. ⁽¹⁾
1	2	3	4
 Local	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) embebidas em elementos da construção, termicamente isolantes	1	A
 Local	Cabos multicondutores em condutas circulares (tubos) embebidas em elementos da construção, termicamente isolantes	2	A2
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) montadas à vista	3	B

Exemplo	Designação	Ref.	Método de ref. ⁽¹⁾
1	2	3	4
	Cabos mono ou multicondutores em condutas circulares (tubos) montadas à vista	3A	(em estudo)
	Condutores isolados em condutas não circulares montadas à vista	4	B2
	Cabos mono ou multicondutores em condutas não circulares montadas à vista	4A	(em estudo)
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) embebidas nos elementos da construção, em alvenaria	5	B
	Cabos mono ou multicondutores em condutas circulares (tubos) embebidas nos elementos da construção, em alvenaria	5A	(em estudo)
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) fixados às paredes	11	C
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) fixados aos tectos	11A	C [3]
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) em caminhos de cabos não perfurados	12	C [2] ⁽³⁾
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) em caminhos de cabos perfurados	13	E ou F [4] ⁽³⁾
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) em consolas	14	E ou F [4] ou [5] ⁽²⁾⁽³⁾ G
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) fixados por braçadeiras e afastados dos elementos da construção	15	E ou F [4] ou [5] ⁽²⁾⁽³⁾ G

Exemplo	Designação	Ref ^a	Método de ref ⁽¹⁾
1	2	3	4
 31 31A	Condutores isolados ou cabos mono ou multicondutores em calhas fixadas a elementos da construção em percursos horizontais	31	B ⁽⁵⁾⁽⁸⁾
 32 32A	Condutores isolados ou cabos mono ou multicondutores em calhas fixadas a elementos da construção em percursos verticais	32	B ⁽⁵⁾⁽⁸⁾
	Condutores isolados em calhas embebidas nos pavimentos e nas paredes	33	B ⁽⁵⁾
	Cabos mono ou multicondutores em calhas embebidas nos pavimentos e nas paredes	33A	B2
 34 34A	Condutores isolados em calhas suspensas	34	B ⁽⁵⁾
	Cabos mono ou multicondutores em calhas suspensas	34A	B2
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) ou cabos multicondutores em caleiras fechadas, em percursos horizontais ou verticais	41	B2 para: $1,5D_e \leq V < 20D_e$ B para: $20D_e \leq V < 50D_e$ (4)
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) em caleiras ventiladas	42	B ⁽⁶⁾⁽⁸⁾
	Cabos mono ou multicondutores em caleiras abertas ou ventiladas	43	B ⁽⁶⁾
 Local	Cabos multicondutores embebidos directamente em elementos da construção, termicamente isolantes	51	A
	Cabos mono ou multicondutores embebidos directamente em elementos da construção, sem protecção mecânica complementar	52	C

Exemplo	Designação	Ref ^a	Método de ref ⁽¹⁾
1	2	3	4
	Cabos mono ou multicondutores embebidos directamente em elementos da construção, com protecção mecânica complementar	53	C [*]
	Cabos mono ou multicondutores, em condutas enterradas	61	D ⁽⁷⁾
	Cabos mono ou multicondutores enterrados, sem protecção mecânica complementar	62	D ⁽⁷⁾
	Cabos mono ou multicondutores enterrados, com protecção mecânica complementar	63	D ⁽⁷⁾
	Condutores isolados em calhas de rodapé	71	A ⁽⁹⁾
	Condutores isolados ou cabos mono ou multicondutores em calhas de rodapé dotadas de separadores <i>(* - compartimento para cabos de comunicações e de transmissão de dados)</i>	72	B ⁽⁸⁾
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) ou cabos mono ou multicondutores, protegidos pelos aros das portas	73	A ⁽⁹⁾
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) ou cabos mono ou multicondutores, protegidos pelos aros das janelas	74	A ⁽⁹⁾

O algarismo indicado dentro de [] corresponde ao da referência do quadro 52E1 (factores de correcção).

V - é a menor dimensão ou o diâmetro do oco ou a dimensão vertical do bloco alveolar do oco do pavimento ou do tecto.

D_e - é o diâmetro exterior dos cabos multicondutores ou o diâmetro equivalente dos cabos monocondutores ou o diâmetro exterior da conduta ou do bloco alveolar; quando os cabos monocondutores forem colocados em triângulo $D_e = 2,2d$ e quando forem colocados em linha $D_e = 3d$ (d - é o diâmetro exterior de um cabo monocondutor);

(1) - Veja-se o Anexo III.

(2) - Para certas aplicações, pode ser mais adequado utilizar factores de correcção específicos, como por exemplo, os indicados nos quadros 52E4 e 52E5.

(3) - Os valores das correntes admissíveis podem também ser usados para os percursos verticais; quando as condições de ventilação forem limitadas a temperatura na parte superior do percurso vertical pode tornar-se muito elevada.

(4) - Para $V > 50D_e$ devem ser usados os métodos de referência C, E ou F.

QUADRO 54B

Valores de k para condutores de protecção isolados e não incorporados em cabos e para condutores de protecção nus em contacto com a bainha exterior dos cabos

	Natureza do isolamento dos condutores de protecção ou da bainha exterior dos cabos		
	Policloreto de vinilo (PVC)	Poliétileno reticulado (XLPE) ou etileno-propileno (EPR)	Borracha butílica
	160	250	220
Temperatura final (°C) ⇒			
Material do condutor ↓	Valores de k		
Cobre	143	176	166
Alumínio	95	116	110
Aço	52	64	60

QUADRO 54C

Valores de k para condutores de protecção constituintes de um cabo multicondutor

	Natureza do isolamento dos condutores de protecção ou da bainha exterior dos cabos		
	Policloreto de vinilo (PVC)	Poliétileno reticulado (XLPE) ou etileno-propileno (EPR)	Borracha butílica
	70	90	85
Temperatura inicial (°C) ⇒			
Temperatura final (°C) ⇒	160	250	220
Material do condutor ↓	Valores de k		
Cobre	115	143	134
Alumínio	76	94	89

QUADRO 54 D

Valores de k para condutores de protecção constituídos pelas armaduras ou pelas bainhas metálicas ⁽¹⁾

	Natureza do isolamento dos condutores de protecção ou da bainha exterior dos cabos								
	Policloreto de vinilo (PVC)			Poliétileno reticulado (XLPE) etileno-propileno (EPR)			Borracha butílica		
	65			85			80		
Temperatura inicial (°C) ⇒									
Temperatura final (°C) ⁽²⁾ ⇒	160	170	200	160	170	200	160	170	200
Material do condutor ↓	Valores de k								
Aço	43	45	50	37	39	45	39	41	45
Cobre	118	124	138	104	110	125	107	113	128
Alumínio	78	82	91	68	72	83	71	75	85
Chumbo	21	23	26	19	20	22	19	20	23

(1) - Os valores relativos a este quadro encontram-se em estudo a nível da IEC e do CENELEC. Os valores indicados no quadro serão actualizados em conformidade com o que vier a ser publicado.

(2) - Temperatura final das bainhas metálicas ou dos ecrãs:

- PVC: 200 °C;
- ecrãs colados à bainha exterior: 160 °C;
- chumbo (sem ser em liga): 170 °C;
- liga especial de chumbo: 200 °C;
- ligação da bainha de chumbo soldada a estanho: 160 °C.

QUADRO 54E

Valores de k para condutores nus em que não haja risco de danificar os materiais colocados na vizinhança pelas temperaturas atingidas

Condições de instalação ⇒ ↓ Material do condutor	Visíveis e colocados em compartimentos reservados ⁽¹⁾	Condições normais	Locais com risco de incêndio
Cobre	500	200	150
Valores de k	228	159	138

Condições de instalação ⇒ ↓ Material do condutor		Visíveis e colocados em compartimentos reservados ⁽¹⁾	Condições normais	Locais com risco de incêndio
Alumínio	Temperatura máxima (°C)	300	200	150
	Valores de k	125	105	91
Aço	Temperatura máxima (°C)	500	200	150
	Valores de k	82	58	50

(1) - Os valores de temperatura indicados são válidos desde que não comprometam a qualidade das ligações.

543.1.2 — A secção dos condutores de protecção não deve ser inferior aos valores indicados no Quadro 54F, não sendo, neste caso, necessário verificar as condições indicadas na secção 543.1.1. Quando, pela aplicação das condições indicadas no Quadro 54F, os valores obtidos não corresponderem a valores normalizados, devem ser usados os valores normalizados mais próximos, por excesso.

Os valores indicados no Quadro 54F só são válidos para condutores de protecção do mesmo metal que o dos condutores activos. Caso contrário, os condutores de protecção devem ter secção que possua uma condutibilidade equivalente à que resultaria da aplicação do referido quadro.

QUADRO 54F

Secções mínimas dos condutores de protecção

Secção dos condutores de fase da instalação S_F (mm ²)	Secção mínima dos condutores de protecção S_{PE} (mm ²)
$S_F \leq 16$	$S_{PE} = S_F$
$16 < S_F \leq 35$	$S_{PE} = 16$
$S_F > 35$	$S_{PE} = S_F/2$

543.1.3 — Em qualquer caso, os condutores de protecção que não façam parte da canalização de alimentação devem ter uma secção não inferior a:

- a) 2,5 mm², se de cobre, no caso de condutores com protecção mecânica;
- b) 4 mm², se de cobre, no caso contrário.

543.1.4 — Quando o condutor de protecção for comum a mais do que um circuito, a sua secção deve ser dimensionada para a maior das secções dos condutores de fase.

543.2 — Tipos de condutores de protecção.

543.2.1 — Podem ser usados como condutores de protecção:

- a) Condutores pertencentes a cabos multicondutores;
- b) Condutores isolados ou nus que tenham o mesmo invólucro (conduta, calha, etc.) que os condutores activos;
- c) Condutores separados, nus ou isolados;
- d) Revestimentos metálicos (armaduras, écrans, bainhas, etc.) de alguns cabos;
- e) Condutas metálicas ou outros invólucros metálicos para os condutores;
- f) Certos elementos condutores (veja-se 543.2.4).

543.2.2 — Quando a instalação tiver conjuntos de invólucros montados em fábrica ou canalizações pré-fabricadas,

com invólucros metálicos, estes invólucros podem ser usados como condutores de protecção se forem satisfeitas, simultaneamente, as condições seguintes:

- a) Tiverem continuidade eléctrica realizada por forma a estar protegida contra as deteriorações mecânicas, químicas e electroquímicas;
- b) Tiverem condutibilidade não inferior à que resultaria da aplicação das condições indicadas na secção 543.1;
- c) Tiverem possibilidade de ligação de outros condutores de protecção em pontos de derivação pré-determinados.

543.2.3 — As bainhas metálicas (nuas ou isoladas) de certas canalizações, nomeadamente, as bainhas exteriores dos cabos com isolamento mineral, e certas condutas ou calhas, metálicas (de tipos em estudo), podem ser usadas como condutores de protecção dos circuitos correspondentes se satisfizerem, simultaneamente, às condições indicadas nas alíneas a) e b) da secção 543.2.2. As restantes condutas não podem ser usadas como condutores de protecção.

543.2.4 — Podem ser usados como condutores de protecção os elementos condutores que satisfaçam, simultaneamente, às condições seguintes:

- a) Terem continuidade eléctrica (garantida por construção ou por ligações apropriadas), por forma a estarem protegidos contra as deteriorações mecânicas, químicas e electroquímicas;
- b) Terem condutibilidade não inferior à que resultaria da aplicação das condições indicadas na secção 543.1;
- c) Serem desmontáveis apenas se estiverem previstas medidas que compensem esse facto;
- d) Serem estudados e, se necessário, adaptados a esse fim.

Não podem ser usados como condutores de protecção as condutas de gás.

543.2.5 — Os elementos condutores não devem ser usados como condutores PEN.

543.3 — Conservação e continuidade eléctrica dos condutores de protecção.

543.3.1 — Os condutores de protecção devem ser convenientemente protegidos contra as deteriorações mecânicas e químicas e contra os esforços electrodinâmicos.

543.3.2 — As ligações, com excepção das realizadas em caixas cheias com materiais de enchimento ou em uniões moldadas, devem ser acessíveis para efeitos de verificação e de ensaio.

543.3.3 — Nos condutores de protecção não devem ser inseridos quaisquer aparelhos, podendo, para a realização de ensaios, serem utilizadas ligações desmontáveis por meio de ferramentas.

QUADRO 52-C1

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência A, B e C
(de acordo com o quadro 52H)

Condutores isolados a policloreto de vinilo (PVC), para:

- Dois condutores carregados
- Cobre ou alumínio
- Temperatura da alma condutora: 70°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Método de referência		
	A	B	C ^(*)
<i>Condutores de cobre</i>			
1,5	14,5	17,5	19,5
2,5	19,5	24	27
4	26	32	36
6	34	41	46
10	46	57	63
16	61	76	85
25	80	101	112
35	99	125	138
50	119	151	168
70	151	192	213
95	182	232	258
120	210	269	299
150	240	—	344
185	273	—	392
240	320	—	461
300	367	—	530
<i>Condutores de alumínio</i>			
2,5	15,0	18,5	21
4	20	25	26
6	26	32	36
10	36	44	49
16	48	60	66
25	63	79	83
35	77	97	103
50	93	118	125
70	118	150	160
95	142	181	195
120	164	210	226
150	189	—	261
185	215	—	298
240	252	—	352
300	289	—	406

(*) - Para $S \leq 16 \text{ mm}^2$, admitiu-se que os condutores eram de secção circular e para $S > 16 \text{ mm}^2$, de secção sectorial (aplicável também a condutores de secção circular).

QUADRO 52-C2

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência A, B e C
(de acordo com o quadro 52H)

Condutores isolados a polietileno reticulado (XLPE) ou etileno-propileno (EPR), para:

- Dois condutores carregados
- Cobre ou alumínio

- Temperatura da alma condutora: 90°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Método de referência		
	A	B	C(*)
<i>Condutores de cobre</i>			
1,5	19,0	23	24
2,5	26	31	33
4	35	42	45
6	45	54	58
10	61	75	80
16	81	100	107
25	106	133	138
35	131	164	171
50	158	198	209
70	200	253	269
95	241	306	328
120	278	354	382
150	318	-	441
185	362	-	506
240	424	-	599
300	486	-	693
<i>Condutores de alumínio</i>			
2,5	20	25	26
4	27	33	35
6	35	43	45
10	48	59	62
16	64	79	84
25	84	105	101
35	103	130	126
50	125	157	154
70	158	200	198
95	191	242	241
120	220	281	280
150	253	-	324
185	288	-	371
240	338	-	439
300	387	-	508

(*) - Para $S \leq 16 \text{ mm}^2$, admite-se que os condutores eram de secção circular e para $S > 16 \text{ mm}^2$, de secção sectorial (aplicável também a condutores de secção circular).

QUADRO 52-C3

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência A, B e C
(de acordo com o quadro 52H)

Condutores isolados a policloreto de vinilo (PVC), para:

- Três condutores carregados
- Cobre ou alumínio
- Temperatura da alma condutora: 70°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Método de referência		
	A	B	C(*)
<i>Condutores de cobre</i>			
1,5	13,5	15,5	17,5

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Método de referência		
	A	B	C(*)
<i>Condutores de cobre</i>			
2,5	18,0	21	24
4	24	28	32
6	31	36	41
10	42	50	57
16	56	68	76
25	73	89	96
35	89	110	119
50	108	134	144
70	136	171	184
95	164	207	223
120	188	239	259
150	216	-	299
185	245	-	341
240	286	-	403
300	328	-	464
<i>Condutores de alumínio</i>			
2,5	14,0	16,5	18,5
4	18,5	22	25
6	24	28	32
10	32	39	44
16	43	53	59
25	57	70	73
35	70	86	90
50	84	104	110
70	107	133	140
95	129	161	170
120	149	186	197
150	170	-	227
185	194	-	259
240	227	-	305
300	261	-	351

(*) - Para $S \leq 16 \text{ mm}^2$, admitiu-se que os condutores eram de secção circular e para $S > 16 \text{ mm}^2$, de secção sectorial (aplicável também a condutores de secção circular).

QUADRO 52-C4

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência A, B e C
(de acordo com o quadro 52H)

Condutores isolados a polietileno reticulado (XLPE) ou etileno-propileno (EPR), para:

- Três condutores carregados
- Cobre ou alumínio
- Temperatura da alma condutora: 90°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Método de referência		
	A	B	C(*)
<i>Condutores de cobre</i>			
1,5	17,0	20,0	22
2,5	23	28	30
4	31	37	40
6	40	48	52

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Método de referência		
	A	B	C(*)
<i>Condutores de cobre</i>			
10	54	66	71
16	73	88	96
25	95	117	119
35	117	144	147
50	141	175	179
70	179	222	229
95	216	269	278
120	249	312	322
150	285	-	371
185	324	-	424
240	380	-	500
300	435	-	576
<i>Condutores de alumínio</i>			
2,5	19,0	22	24
4	25	29	32
6	32	38	41
10	44	52	57
16	58	71	76
25	76	93	90
35	94	116	112
50	113	140	136
70	142	179	174
95	171	217	211
120	197	251	245
150	226	-	283
185	256	-	323
240	300	-	382
300	344	-	440

(*) - Para $S \leq 16 \text{ mm}^2$, admitiu-se que os condutores eram de secção circular e para $S > 16 \text{ mm}^2$, de secção sectorial (aplicável também a condutores de secção circular).

QUADRO 52-C5

Correntes admissíveis, em amperes, para o método de referência C

(de acordo com o quadro 52H)

Condutores com isolamento mineral, para:

- Condutores e bainha em cobre
- Bainha em PVC ou cabo nu e acessível (1)
- Temperatura da bainha: 70°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	NÚMERO E DISPOSIÇÃO DOS CONDUTORES		
	Um cabo de dois condutores ou dois cabos monocondutores carregados ⁽²⁾	Três condutores carregados	
		Um cabo multicondutor ou três cabos monocondutores em triângulo ⁽²⁾	Três cabos monocondutores em esteira horizontal ⁽²⁾
Coluna ⇒	1	2	3
<i>tensão estipulada do cabo: 500 V</i>			
1,5	23	19	21
2,5	31	26	29
4	40	35	38
<i>tensão estipulada do cabo: 750 V</i>			
1,5	25	21	23

Secção nominal dos condutores (mm ²)	NÚMERO E DISPOSIÇÃO DOS CONDUTORES		
	Um cabo de dois condutores ou dois cabos monocondutores carregados ⁽²⁾	Três condutores carregados	
		Um cabo multicondutor ou três cabos monocondutores em triângulo ⁽²⁾	Três cabos monocondutores em esteira horizontal ⁽²⁾
Coluna ⇒	1	2	3
2,5	34	28	31
4	45	37	41
6	57	48	52
10	77	65	70
16	102	86	92
25	133	112	120
35	163	137	147
50	202	169	181
70	247	207	221
95	296	249	264
120	340	286	303
150	388	327	346
185	440	371	392
240	514	434	457

(1) - Para os cabos nu e acessíveis, os valores indicados devem ser multiplicados por 0,9.

(2) - Para os cabos monocondutores, as bainhas dos cabos de um mesmo circuito, devem ser ligadas em conjunto nas duas extremidades.

QUADRO 52-C6

Correntes admissíveis, em amperes, para o método de referência C

(de acordo com o quadro 52H)

Condutores com isolamento mineral, para:

- Condutores e bainha em cobre
- Cabo nu e inacessível (1)
- Temperatura da bainha: 105°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	NÚMERO E DISPOSIÇÃO DOS CONDUTORES		
	Um cabo de dois condutores ou dois cabos monocondutores carregados ⁽²⁾	Três condutores carregados	
		Um cabo multicondutor ou três cabos monocondutores em triângulo ⁽²⁾	Três cabos monocondutores em esteira horizontal ⁽²⁾
Coluna ⇒	1	2	3
<i>tensão estipulada do cabo: 500 V</i>			
1,5	28	24	27
2,5	38	33	36
4	51	44	47
<i>tensão estipulada do cabo: 750 V</i>			
1,5	31	26	30
2,5	42	35	41
4	55	47	53
6	70	59	67
10	96	81	91
16	127	107	119
25	166	140	154
35	203	171	187
50	251	212	230
70	307	260	280
95	369	312	334
120	424	359	383

Secção nominal dos condutores (mm ²)	NÚMERO E DISPOSIÇÃO DOS CONDUTORES		
	Um cabo de dois condutores ou dois cabos monocondutores carregados ⁽²⁾	Três condutores carregados	
		Um cabo multicondutor ou três cabos monocondutores em triângulo ⁽²⁾	Três cabos monocondutores em esteira horizontal ⁽²⁾
Coluna ⇒	1	2	3
<i>tensão estipulada do cabo: 750 V</i>			
150	485	410	435
185	550	465	492
240	643	544	572

(1) - Para os cabos nus inacessíveis não é necessário, em caso de agrupamento, aplicar factores de correcção.

(2) - Para os cabos monocondutores, as bainhas dos cabos de um mesmo circuito devem ser ligadas em conjunto nas duas extremidades.

QUADRO 52-C7

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência E, F e G

(de acordo com o quadro 52H)

Condutores com isolamento mineral, para:

- Condutores e bainha em cobre
- Bainha em PVC ou cabo nu e acessível (1)
- Temperatura da bainha: 70°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	NÚMERO E DISPOSIÇÃO DOS CONDUTORES				
	Um cabo de dois condutores ou dois cabos monocondutores carregados ⁽²⁾	Três condutores carregados			
		Um cabo multicondutor ou três cabos monocondutores em triângulo ⁽²⁾	Cabos monocondutores agrupados sem afastamento (na horizontal ou na vertical) ⁽²⁾⁽³⁾	Cabos monocondutores agrupados com afastamento (na vertical) ⁽²⁾⁽³⁾	Cabos monocondutores agrupados com afastamento (na horizontal) ⁽²⁾⁽³⁾
Mét. ref. ⇒	E ou F	E ou F	F	G	G
Coluna ⇒	1	2	3	4	5
<i>tensão estipulada do cabo: 500 V</i>					
1,5	25	21	23	26	29
2,5	33	28	31	34	39
4	44	37	41	45	51
<i>tensão estipulada do cabo: 750 V</i>					
1,5	26	22	26	28	32
2,5	36	30	34	37	43
4	47	40	45	49	56
6	60	51	57	62	71
10	82	69	77	84	95
16	109	92	102	110	125
25	142	120	132	142	162
35	174	147	161	173	197
50	215	182	198	213	242
70	264	223	241	259	294
95	317	267	289	309	351
120	364	308	331	353	402
150	416	352	377	400	454
185	462	399	426	448	507
240	552	466	496	497	565

(1) - Para os cabos nus acessíveis, os valores indicados devem ser multiplicados por 0,9.

(2) - Para os cabos monocondutores, as bainhas dos cabos de um mesmo circuito devem ser ligadas em conjunto nas duas extremidades.

(3) - Afastamento não inferior ao diâmetro exterior do cabo monocondutor (De).

QUADRO 52-C8

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência E, F e G

(de acordo com o quadro 52H)

Condutores com isolamento mineral, para:

- Condutores e bainha em cobre
- Cabo nu e inacessível (1)

- Temperatura da bainha: 105°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	NÚMERO E DISPOSIÇÃO DOS CONDUTORES				
	Um cabo de dois condutores ou dois cabos monocondutores carregados ⁽²⁾	Três condutores carregados			
		Um cabo multicondutor ou três cabos monocondutores em triângulo ⁽²⁾	Cabos monocondutores agrupados sem afastamento (na horizontal ou na vertical) ^{(2)/(3)}	Cabos monocondutores agrupados com afastamento (na vertical) ^{(2)/(3)}	Cabos monocondutores agrupados com afastamento (na horizontal) ^{(2)/(3)}
Mét. ref. ⇒	E ou F	E ou F	F	G	G
Coluna ⇒	1	2	3	4	5
<i>tensão estipulada do cabo: 300 V</i>					
1,5	25	21	23	26	29
2,5	33	28	31	34	39
4	44	37	41	45	51
<i>tensão estipulada do cabo: 750 V</i>					
1,5	26	22	26	28	32
2,5	36	30	34	37	43
4	47	40	45	49	56
6	60	51	57	62	71
10	82	69	77	84	95
16	109	92	102	110	125
25	142	120	132	142	162
35	174	147	161	173	197
50	215	182	198	213	242
70	264	223	241	259	294
95	317	267	289	309	351
120	364	308	331	353	402
150	416	352	377	400	454
185	462	399	426	448	507
240	552	466	496	497	565

(1) - Para os cabos não acessíveis, os valores indicados devem ser multiplicados por 0,9.

(2) - Para os cabos monocondutores, as bainhas dos cabos de um mesmo circuito devem ser ligadas em conjunto nas duas extremidades.

(3) - Afastamento não inferior ao diâmetro exterior do cabo monocondutor (30).

QUADRO 52-C9

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência E, F e G

(de acordo com o quadro 52H)

Condutores isolados a policloreto de vinilo (PVC), para:

- Cobre
- Temperatura da alma condutora: 70°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Cabos multicondutores		Cabos monocondutores				
	Dois condutores carregados ⁽¹⁾	Três condutores carregados ⁽¹⁾	Dois condutores carregados	Três condutores carregados em triângulo	Três condutores carregados em esteira		
					Sem Afastamento ⁽²⁾	Com afastamento ⁽²⁾	Horizontal Vertical
Mét. ref. ⇒	E	E	F	F	F	G	G
Coluna ⇒	1	2	3	4	5	6	7
1,5	22	18,5	-	-	-	-	-
2,5	30	25	-	-	-	-	-
4	40	34	-	-	-	-	-
6	51	43	-	-	-	-	-
10	70	60	-	-	-	-	-
16	94	80	-	-	-	-	-
25	119	101	131	110	114	146	130

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Cabos multicabos		Cabos monocabos				
	Dois condutores carregados ⁽¹⁾	Três condutores carregados ⁽¹⁾	Dois condutores carregados	Três condutores carregados em triângulo	Três condutores carregados em esteira		
					Sem afastamento ⁽²⁾	Com afastamento ⁽²⁾	
Mét. ref. ⇒	E	E	F	F	F	G	G
Coluna ⇒	1	2	3	4	5	6	7
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	-	-	754	656	689	852	795
500	-	-	868	749	789	982	920
630	-	-	1 005	855	905	1 138	1 070

(1) - Para $S \leq 16 \text{ mm}^2$, admitiu-se que os condutores eram de secção circular e para $S > 16 \text{ mm}^2$, de secção sectorial (aplicável também a condutores de secção circular).

(2) - Afastamento não inferior ao diâmetro exterior do cabo monocabos (De).

QUADRO 52-C10

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência E, F e G
(de acordo com o quadro 52H)

Condutores isolados a policloreto de vinilo (PVC), para:

- Alumínio
- Temperatura da alma condutora: 70°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Cabos multicabos		Cabos monocabos				
	Dois condutores carregados ⁽¹⁾	Três condutores carregados ⁽¹⁾	Dois condutores carregados	Três condutores carregados em triângulo	Três condutores carregados em esteira		
					Sem afastamento ⁽²⁾	Com afastamento ⁽²⁾	
Mét. ref. ⇒	E	E	F	F	F	G	G
Coluna ⇒	1	2	3	4	5	6	7
2,5	23	19,5	-	-	-	-	-
4	31	26	-	-	-	-	-
6	39	33	-	-	-	-	-
10	54	46	-	-	-	-	-
16	73	61	-	-	-	-	-
25	89	78	98	84	87	112	99
35	111	96	122	105	109	139	124
50	135	117	149	128	133	169	152
70	173	150	192	166	173	217	196
95	210	182	235	203	212	265	241
120	244	212	273	237	247	308	282
150	282	245	316	274	287	356	327
185	322	280	363	315	330	407	376
240	380	330	430	375	392	482	447
300	439	381	497	434	455	557	519
400	-	-	600	526	552	671	629
500	-	-	694	610	640	775	730
630	-	-	808	711	746	900	852

(1) - Para $S \leq 16 \text{ mm}^2$, admitiu-se que os condutores eram de secção circular e para $S > 16 \text{ mm}^2$, de secção sectorial (aplicável também a condutores de secção circular).

(2) - Afastamento não inferior ao diâmetro exterior do cabo monocabos (De).

QUADRO 52-C11

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência E, F e G
(de acordo com o quadro 52H)

Condutores isolados a polietileno reticulado (XLPE) ou etileno-propileno (EPR), para:

- Cobre
- Temperatura da alma condutora: 90°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Cabos multicondutores		Cabos monocondutores				
	Dois condutores carregados ⁽¹⁾	Três condutores carregados ⁽¹⁾	Dois condutores carregados	Três condutores carregados em triângulo	Três condutores carregados em esteira		
					Sem afastamento ⁽²⁾	Com afastamento ⁽²⁾	
Mét. ref. ⇒	E	E	F	F	F	G	G
Coluna ⇒	1	2	3	4	5	6	7
1,5	26	23	-	-	-	-	-
2,5	36	32	-	-	-	-	-
4	49	42	-	-	-	-	-
6	63	54	-	-	-	-	-
10	86	75	-	-	-	-	-
16	115	100	-	-	-	-	-
25	149	127	161	135	141	182	161
35	185	158	200	169	176	226	201
50	225	192	242	207	216	275	246
70	289	246	310	268	279	353	318
95	352	298	377	328	342	430	389
120	410	346	437	383	400	500	454
150	473	399	504	444	464	577	527
185	542	456	575	510	533	661	605
240	641	538	679	607	634	781	719
300	741	621	783	703	736	902	833
400	-	-	940	823	868	1 085	1 008
500	-	-	1 083	946	998	1 253	1 169
630	-	-	1 254	1 088	1 151	1 454	1 362

(1) - Para $S \leq 16 \text{ mm}^2$, admitiu-se que os condutores eram de secção circular e para $S > 16 \text{ mm}^2$, de secção sectorial (aplicável também a condutores de secção circular).

(2) - Afastamento não inferior ao diâmetro exterior do cabo monocondutor (3c).

QUADRO 52-C12

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência E, F e G
(de acordo com o quadro 52H)

Condutores isolados a polietileno reticulado (XLPE) ou etileno-propileno (EPR), para:

- Alumínio
- Temperatura da alma condutora: 90°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Cabos multicondutores		Cabos monocondutores				
	Dois condutores carregados ⁽¹⁾	Três condutores carregados ⁽¹⁾	Dois condutores carregados	Três condutores carregados em triângulo	Três condutores carregados em esteira		
					Sem afastamento ⁽²⁾	Com afastamento ⁽²⁾	
Mét. ref. ⇒	E	E	F	F	F	G	G
Coluna ⇒	1	2	3	4	5	6	7
2,5	28	24	-	-	-	-	-
4	38	32	-	-	-	-	-
6	49	42	-	-	-	-	-
10	67	58	-	-	-	-	-

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Cabos multicondutores		Cabos monocondutores				
	Dois condutores carregados ⁽¹⁾	Três condutores carregados ⁽¹⁾	Dois condutores carregados	Três condutores carregados em triângulo	Três condutores carregados em esteira		
					Sem afastamento ⁽²⁾	Com afastamento ⁽²⁾	
						Horizontal	Vertical
Mét. ref.⇒	E	E	F	F	F	G	G
Coluna⇒	1	2	3	4	5	6	7
16	91	77	-	-	-	-	-
25	108	97	121	103	107	138	122
35	135	120	150	129	135	172	153
50	164	146	184	159	165	210	188
70	211	187	237	206	215	271	244
95	257	227	289	253	264	332	300
120	300	263	337	296	308	387	351
150	346	304	389	343	358	448	408
185	397	347	447	395	413	515	470
240	470	407	530	471	492	611	561
300	543	471	613	547	571	708	652
400	-	-	740	663	694	856	792
500	-	-	856	770	806	991	921
630	-	-	996	899	942	1 154	1 077

(1) - Para $S \leq 16 \text{ mm}^2$, admite-se que os condutores eram de secção circular e para $S > 16 \text{ mm}^2$, de secção sectorial (aplicável também a condutores de secção circular).

(2) - Afastamento não inferior ao diâmetro exterior do cabo monocondutor (De).

QUADRO 52-C13

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência A2 e B2

(de acordo com o quadro 52H)

Condutores isolados a policloreto de vinilo (PVC), para:

- Dois ou três condutores carregados
- Cobre ou alumínio
- Temperatura da alma condutora: 70°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Dois condutores carregados		Três condutores carregados	
	A2	B2	A2	B2
Mét. ref.⇒				
Coluna⇒	2	3	4	5
<i>Condutores de cobre</i>				
1,5	14	16,5	13	15
2,5	18,5	23	17,5	20
4	25	30	23	27
6	32	38	29	34
10	43	52	39	46
16	57	69	52	62
25	75	90	68	80
35	92	111	83	99
50	110	133	99	118
70	139	168	125	149
95	167	201	150	179
120	192	232	172	206
150	219	-	196	-
185	248	-	223	-
240	291	-	261	-
300	334	-	298	-

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Dois condutores carregados		Três condutores carregados	
Mét. ref. ⇒	A2	B2	A2	B2
Coluna ⇒	2	3	4	5
<i>Condutores de alumínio</i>				
2,5	14,5	17,5	13,5	13,5
4	19,5	24	17,5	21
6	25	30	23	27
10	33	41	31	36
16	44	54	41	48
25	58	71	53	62
35	71	86	65	77
50	86	104	78	92
70	108	131	98	116
95	130	157	118	139
120	150	181	135	160
150	172	-	155	-
185	195	-	176	-
240	229	-	207	-
300	263	-	237	-

QUADRO 52-C14

Correntes admissíveis, em amperes, para os métodos de referência A2 e B2

(de acordo com o quadro 52H)

Condutores isolados a polietileno reticulado (XLPE) ou etileno-propileno (EPR), para:

- Dois ou três condutores carregados
- Cobre ou alumínio
- Temperatura da alma condutora: 90°C
- Temperatura ambiente: 30°C

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Dois condutores carregados		Três condutores carregados	
Mét. ref. ⇒	A2	B2	A2	B2
Coluna ⇒	2	3	4	5
<i>Condutores de cobre</i>				
1,5	18,5	22	16,5	19,5
2,5	25	30	22	26
4	33	40	30	35
6	42	51	38	44
10	57	69	51	60
16	76	91	68	80
25	99	119	89	105
35	121	146	109	128
50	145	175	130	154
70	183	221	164	194
95	220	265	197	233
120	253	305	227	268
150	290	-	259	-
185	329	-	295	-
240	386	-	346	-
300	442	-	396	-
<i>Condutores de alumínio</i>				
2,5	19,5	23	18	21
4	26	31	24	28

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Dois condutores carregados		Três condutores carregados	
	A2	B2	A2	B2
	2	3	4	5
<i>Condutores de alumínio</i>				
6	33	40	31	35
10	45	54	41	48
16	60	72	55	64
25	78	94	71	84
35	96	115	87	103
50	115	138	104	124
70	145	175	131	156
95	175	210	157	188
120	201	242	180	216
150	230	-	206	-
185	262	-	233	-
240	307	-	273	-
300	352	-	313	-

QUADRO 52-C30

Correntes admissíveis, em amperes, para o método de referência D
(de acordo com o quadro 52H)

Canalizações enterradas

Secção nominal dos condutores (mm ²)	Número de condutores carregados e natureza do isolamento			
	3 PVC	2 PVC	3 XLPE	2 XLPE
<i>Condutores de cobre</i>				
1,5	26	32	31	37
2,5	34	42	41	48
4	44	54	53	63
6	56	67	66	80
10	74	90	87	104
16	96	116	113	136
25	123	148	144	173
35	147	178	174	208
50	174	211	206	247
70	216	261	254	304
95	256	308	301	360
120	290	351	343	410
150	328	397	387	463
185	367	445	434	518
240	424	514	501	598
300	480	581	565	677
<i>Condutores de alumínio</i>				
10	57	68	67	80
16	74	88	87	104
25	94	114	111	133
35	114	137	134	160
50	134	161	160	188
70	167	200	197	233
95	197	237	234	275
120	224	270	266	314
150	254	304	300	359
185	285	343	337	398
240	328	396	388	458
300	371	447	400	520

Para cabos enterrados e colocados dentro de tubos ou de travessias, os valores indicados no quadro devem ser multiplicados por 0,80. Atendendo a que as correntes admissíveis foram calculadas para uma resistividade térmica do solo igual a 1K.m/W, é necessário considerar os factores de correcção.

10 — Factores de correcção.

10.1 — Factores de correcção com a temperatura ambiente.

QUADRO 52-D1

Factores de correcção em função das temperaturas ambientes para canalizações instaladas ao ar
(a aplicar aos valores das correntes indicadas nos Quadros 52-C1 a 52-C14)

Temperatura ambiente (°C)	Isolamento			
	PVC	XLPE/EPR	Mineral ^(*)	
			(a)	(b)
10	1,22	1,15	1,26	1,14
15	1,17	1,12	1,20	1,11
20	1,12	1,08	1,14	1,07
25	1,06	1,04	1,07	1,04
30	1,00	1,00	1,00	1,00
35	0,94	0,96	0,93	0,96
40	0,87	0,91	0,85	0,92
45	0,79	0,87	0,76	0,88
50	0,71	0,82	0,67	0,84
55	0,61	0,76	0,57	0,80
60	0,50	0,71	0,45	0,75
65	-	0,65	-	0,70
70	-	0,58	-	0,65
75	-	0,50	-	0,60
80	-	0,41	-	0,54
85	-	-	-	0,47
90	-	-	-	0,40
95	-	-	-	0,32

(*) Para temperaturas ambientes superiores, consultar os fabricantes.

(a) - Cabos com bainha em PVC ou cabos nus e acessíveis (70 °C).

(b) - Cabos nus e inacessíveis (105 °C).

QUADRO 52-D2

Factores de correcção em função da temperatura do solo

(a aplicar aos valores das correntes indicadas no quadro 52-C30)

Temperatura do solo (°C)	Isolamento	
	PVC	XLPE/EPR
10	1,10	1,07
15	1,05	1,04
20	1,00	1,00
25	0,95	0,96
30	0,89	0,93
35	0,84	0,89
40	0,77	0,85
45	0,71	0,80
50	0,63	0,76
55	0,55	0,71
60	0,45	0,65
65	-	0,60
70	-	0,53
75	-	0,46
80	-	0,38

10.2 — Factores de correcção para agrupamentos de condutores ou de cabos.

QUADRO 52-E1

Factores de correcção para agrupamento de cabos de diversos circuitos ou de vários cabos multicondutores, instalados ao ar, lado a lado, em camada simples

(a aplicar aos valores dos quadros 52-C1 a 52-C14)

Ref.º	Disposição dos cabos	Factor de correcção												Quadros e métodos de referência.
		N.º de circuitos ou de cabos multicondutores												
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	12	16	20	
1	Encastrados ou embebidos em elementos da construção	1,00	0,80	0,70	0,65	0,60	0,57	0,54	0,52	0,50	0,45	0,41	0,38	52-C1 a 52-C14 A a F
2	Sobre as paredes ou pisos ou sobre caminhos de cabos não perfurados	1,00	0,85	0,79	0,75	0,73	0,72	0,72	0,71	0,70	O factor de correcção não diminui a partir de 9 cabos			52-C1 a 52-C6 C
3	Nos tectos	0,95	0,81	0,72	0,68	0,66	0,64	0,63	0,62	0,61				52-C7 a 52-C12 E, F
4	Em canalizações sobre caminhos de cabos, horizontais perfurados ou verticais	1,00	0,88	0,82	0,77	0,75	0,73	0,73	0,72	0,72				
5	Sobre escadas (para cabos), consola, etc.	1,00	0,87	0,82	0,80	0,80	0,79	0,79	0,78	0,78				

QUADRO 52-E2

Factores de correcção para agrupamentos de cabos enterrados em esteira horizontal, distanciados de, pelo menos, 0,20 m

Número de cabos ou de canalizações	Factor de correcção
1	1,00
2	0,85
3	0,78
4	0,72
6	0,62
≥ 9	0,55

QUADRO 52-E3

Factores de correcção para agrupamento de condutas com condutores, instaladas ao ar, enterradas ou embebidas no betão, em função da sua disposição (horizontal e vertical)

Número de condutas colocadas verticalmente	Número de condutas colocadas horizontalmente					
	1	2	3	4	5	6
<i>Canalizações instaladas ao ar</i>						
1	1,00	0,94	0,91	0,88	0,87	0,86
2	0,92	0,87	0,84	0,81	0,80	0,79
3	0,85	0,81	0,78	0,76	0,75	0,74
4	0,82	0,78	0,74	0,73	0,72	0,72
5	0,80	0,76	0,72	0,71	0,70	0,70
6	0,79	0,75	0,71	0,70	0,69	0,68
<i>Canalizações enterradas ou embebidas no betão</i>						
1	1,00	0,87	0,77	0,72	0,68	0,65
2	0,87	0,71	0,62	0,57	0,53	0,50
3	0,77	0,62	0,53	0,48	0,45	0,42
4	0,72	0,57	0,48	0,44	0,40	0,38
5	0,68	0,53	0,45	0,40	0,37	0,35
6	0,65	0,50	0,42	0,38	0,35	0,32

QUADRO 52-E4

Factores de correcção para agrupamento de diversos circuitos de cabos multicondutores, instalados ao ar, lado a lado, em camadas simples, para o método de referência E

(a aplicar aos valores dos quadros 52-C7 a 52-C12)

Modo de instalação (veja-se o quadro 52H)			N.º de cabos						
			N.º de caminhos de cabos	1	2	3	4	6	9
Caminhos de cabos perfurados horizontais	13	Cabos sem afastamento entre si e afastados dos elementos da construção de $d \geq 20$ mm	1	1,00	0,88	0,82	0,79	0,76	0,73
			2	1,00	0,87	0,80	0,77	0,73	0,68
			3	1,00	0,86	0,79	0,76	0,71	0,66
		Cabos com afastamento entre si $\geq De$ e afastados dos elementos da construção de $d \geq 20$ mm	1	1,00	1,00	0,98	0,95	0,91	-
			2	1,00	0,99	0,96	0,92	0,87	-
			3	1,00	0,98	0,95	0,91	0,85	-
Caminhos de cabos perfurados verticais	13	Cabos encostados	1	1,00	0,88	0,82	0,78	0,73	0,72
			2	1,00	0,88	0,81	0,76	0,71	0,70
		Cabos com afastamento entre si $\geq De$	1	1,00	0,91	0,89	0,88	0,87	-
			2	1,00	0,91	0,88	0,87	0,85	-
Escadas (para cabos), consolas, etc.	14	Cabos sem afastamento entre si e afastados dos elementos da construção de $d \geq 20$ mm	1	1,00	0,87	0,82	0,80	0,79	0,78
			2	1,00	0,86	0,80	0,78	0,76	0,73
			3	1,00	0,85	0,79	0,86	0,73	0,70
	16	Cabos com afastamento entre si $\geq De$ e afastados dos elementos da construção de $d \geq 20$ mm	1	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	-
			2	1,00	0,99	0,98	0,97	0,96	-
			3	1,00	0,98	0,97	0,96	0,93	-

QUADRO 52-E5

Factores de correcção para agrupamento de diversos circuitos de cabos monocondutores, instalados ao ar, lado a lado, em camada simples, para o método de referência F

(a aplicar aos valores dos quadros 52-C7 a 52-C12)

Modo de instalação (veja-se o quadro 52H)			N.º de circuitos trifásicos ⁽¹⁾			
			N.º de caminhos de cabos	1	2	3
Caminhos de cabos perfurados horizontais	13	Cabos sem afastamento entre si e afastados dos elementos da construção de $d \geq 20$ mm ⁽²⁾	1	0,98	0,91	0,87
			2	0,96	0,87	0,81
			3	0,95	0,85	0,78
Caminhos de cabos perfurados verticais	13	Cabos encostados ⁽³⁾	1	0,96	0,86	-
			2	0,95	0,84	-
Escadas (para cabos), consolas, etc.	14	Cabos sem afastamento entre si e afastados dos elementos da construção de $d \geq 20$ mm ⁽²⁾	1	1,00	0,97	0,96
	15		2	0,98	0,93	0,89
	16		3	0,97	0,90	0,86
Caminhos de cabos perfurados horizontais	13	Cabos com afastamento entre si $\geq De$ e afastados dos elementos da construção de $d \geq 20$ mm ⁽⁴⁾	1	1,00	0,98	0,96
			2	0,97	0,93	0,89
			3	0,96	0,92	0,86
Caminhos de cabos perfurados verticais	13	Cabos com afastamento entre si $\geq De$ ⁽⁴⁾	1	1,00	0,91	0,89
			2	1,00	0,90	0,86
Escadas (para cabos), consolas, etc.	14	Cabos com afastamento entre si $\geq De$ e afastados dos elementos da construção de $d \geq 20$ mm ⁽⁴⁾	1	1,00	1,00	1,00
	15		2	0,97	0,95	0,93
	16		3	0,96	0,94	0,90

(1) - Para os circuitos constituídos por vários cabos em paralelo por fase cada grupo de três condutores deve ser considerado com um único circuito para a determinação do número de circuitos trifásicos.

(2) - Cada circuito é constituído por três cabos monocondutores em esteira horizontal.

(3) - Cada circuito é constituído por três cabos monocondutores em esteira vertical.

(4) - Cada circuito é constituído por três cabos monocondutores em triângulo.

d - é a distância dos cabos aos elementos da construção.

De - é o diâmetro exterior dos cabos.

10.3 — Factores de correcção com a resistividade térmica do solo.

QUADRO 52-E6

Factores de correcção aplicáveis a cabos enterrados em função da resistividade térmica do solo

Resistividade térmica do terreno (K.m/W)	Factor de correcção	Observações	
		Humidade	Natureza do terreno
0,40	1,25	Cabo imerso	Lodo
0,50	1,21	Terreno muito húmido	Areia
0,70	1,13	Terreno húmido	Argila e Calcário
0,85	1,05	Terreno normal	
1,00	1,00	Terreno seco	
1,20	0,94	Terreno muito seco	
1,50	0,86		
2,00	0,76		
2,50	0,70		
3,00	0,65		
			Cinzas

ANEXO IV

Eléctrodos de terra

1 — Generalidades.

A resistência de contacto de um eléctrodo de terra depende das suas dimensões, da sua forma e da resistividade do terreno no qual ele for implantado. Essa resistividade, que pode variar superficialmente (de um ponto para outro) ou em profundidade, é expressa em ohms x metros (refira-se que a resistividade do terreno é numericamente igual à resistência, em ohms, de um cilindro de terreno com 1 m² de secção e 1 m de comprimento).

O aspecto superficial do solo e da sua vegetação podem dar indicações sobre o carácter mais ou menos favorável do terreno para a instalação de eléctrodos de terra, constituindo as medições em eléctrodos de terra realizadas em terrenos análogos um meio mais exacto para fazer essa avaliação.

A resistividade de um terreno depende do seu teor de humidade e da temperatura, as quais variam sazonalmente, sendo o teor de humidade influenciado pelas dimensões dos grãos do terreno e pela sua porosidade. Pode dizer-se que, na prática, a resistividade aumenta quando o teor de humidade diminui.

Os eléctrodos de terra não devem, em caso algum, ser constituídos por uma peça metálica simplesmente mergulhada na água nem devem ser estabelecidos em poças de água ou em rios. Esta proibição justifica-se não apenas pela medíocre condutibilidade da água mas principalmente pelo risco de secagem e pelo perigo a que poderiam ficar sujeitas as pessoas que entrassem em contacto com a água no momento em que se produzisse um defeito.

As camadas do subsolo percorridas por cursos de água subterrâneos, como é o caso das proximidades dos rios, só raramente devem ser usadas para instalação de eléctrodos de terra pois são, em regra, formadas por terrenos pedregosos, muito permeáveis, lavados por uma água purificada pela filtragem natural, apresentando elevados valores de resistividade. Para tal, seria necessário atravessá-los por meio de vareias profundas para encontrar, em camadas mais profundas terrenos, melhor condutores, caso existam.

O gelo aumenta consideravelmente a resistividade dos terrenos, que pode atingir vários milhares de ohms x metros na camada gelada, podendo essa camada, em certas regiões atingir 1 m de profundidade.

A secagem do terreno aumenta igualmente a sua resistividade, podendo os seus efeitos fazerem-se sentir, em certos casos, até a uma profundidade superior de 2 m (os valores da resistividade, nesses casos, são da ordem de grandeza dos encontrados para o gelo).

2 — Resistividade dos terrenos.

No Quadro I são indicados, a título informativo, valores da resistividade para um certo número de terrenos, de onde se pode observar que, para um mesmo tipo de terreno, a resistividade pode variar entre limites muito grandes.

QUADRO I

Resistividade dos terrenos de acordo com a sua natureza

Natureza dos terrenos	Resistividade (Ω x m)
Terreno pantanoso	1 a 30
Lama	20 a 100
Húmus	10 a 150
Turfa húmida	5 a 100
Argila plástica	50
Mármore e argilas compactas	100 a 200
Mármore do Jurássico	30 a 40
Areia argilosa	50 a 200
Areia silicosa	200 a 3 000
Solo pedregoso nu	1 500 a 3 000
Solo pedregoso recoberto de relva ou erva curta	300 a 500
Calcários macios	100 a 300
Calcários compactos	1 000 a 5 000
Calcários fissurados	500 a 1 000
Xistos	50 a 300
Micaxistos	800
Granito e gres, consoante a alteração geológica	1 500 a 10 000
Granito muito alterado	100 a 600
Betão com 1 de cimento e 3 de inertes	150
Betão com 1 de cimento e 5 de inertes	400
Betão com 1 de cimento e 7 de inertes	500

Numa primeira aproximação grosseira, o cálculo da resistência de um eléctrodo de terra pode ser feito recorrendo aos valores médios indicados no quadro II.