

FACULDADE DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE DO PORTO

Dimensionamento de Cabos BT/ Caminho de Cabos

Afonso Miguel da Silva Pereira

U. PORTO

FEUP FACULDADE DE ENGENHARIA
UNIVERSIDADE DO PORTO

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica e Computadores

Orientador: José Eduardo Neves dos Santos

24 de julho de 2024

Resumo

O desenvolvimento tecnológico do Homem traz consigo uma maior necessidade energética, acarretando com isto a necessidade de esta ocorrer de forma segura. Estabelece-se, por isso, uma elevada importância no dimensionamento das instalações elétricas das infraestruturas, sendo fundamental assegurar a qualidade da sua distribuição com o menor custo possível.

Este processo apresenta muitos passos e desafios, estando múltiplos fatores minuciosos em ação, o que aumenta a possibilidade de erros e falhas por parte do ser humano. Posto isto, o desenvolvimento de uma ferramenta computacional com a capacidade de interpretar a informação dada pelo utilizador e realizar os cálculos necessários, tendo em conta as normas em prática atualmente, aponta ser a solução mais viável de garantir a fiabilidade e segurança requerida.

A partir das informações básicas recolhidas sobre as cargas a alimentar e os métodos de instalação dos cabos elétricos do local, a ferramenta em Microsoft Excel iria possibilitar averiguar os componentes necessários para a construção de uma infraestrutura com instalações elétricas seguras e capazes de responder às necessidades. Desta forma, o processo iria ficar simplificado, ajudando os engenheiros a executar o dimensionamento dos projetos de instalações elétricas.

Ao longo da dissertação serão abordadas as características principais dos cabos, o dimensionamento de cabos de baixa tensão seguindo as normas internacionais, o processo de seleção dos caminhos de cabos e as principais funcionalidades do software desenvolvido.

Palavras-chave

Cabos de baixa tensão

Caminhos de cabos

Dimensionamento de Instalações Elétricas

Abstract

With the increasing consumption of electrical energy across all sectors, not only but also with the aim of reducing the ecological footprint, it is essential to ensure the quality of its distribution. The technological development of humankind brings with it a greater energy demand, and it is crucial to meet this need safely. Therefore, the proper sizing of electrical installations in infrastructures is of high importance.

Since this process involves many steps and challenges, there is a high possibility of errors and failures by humans, presenting many meticulous factors in action. Thus, the best way to ensure the required reliability and safety is through the automation of the procedure. Developing a computational tool capable of interpreting the information provided by the user and performing the necessary calculations, taking into account current standards, proves to be the most viable solution in this situation.

The development of a tool in Microsoft Excel where it will be possible, with the basic information gathered about the loads to be fed and the methods of installation of electrical cables in the location, to establish the necessary components for constructing an infrastructure with safe electrical installations capable of meeting needs. In this way, the tool will simplify and assist engineers in executing the sizing of electrical installation projects.

Throughout the dissertation, the main characteristics of the cables, the sizing of low voltage cables according to international standards, the process of selecting cable pathways, and the main functionalities of the developed software will be addressed.

Keywords

Low voltage cables

Cable pathways

Sizing of Electrical Installations

Objetivos de Desenvolvimento Sustentável das Nações Unidas

Os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Organização das Nações Unidas (ONU) são um conjunto de 17 metas globais estabelecidas para promover um futuro sustentável para todos. Estes objetivos abrangem uma variedade de áreas, desde a erradicação da pobreza até a ação climática, passando por energia acessível e limpa, entre outros. O alinhamento de projetos de engenharia com os ODS não só maximiza o impacto positivo das inovações tecnológicas, mas também garante que os projetos contribuam para um futuro mais sustentável e equitativo.

Integrar os ODS no processo de desenvolvimento e implementação de projetos de engenharia, como o dimensionamento de cabos BT, não só promove a sustentabilidade, mas também destaca o papel crucial dos engenheiros como agentes de mudança. A abordagem sistemática e automatizada para o dimensionamento de cabos exemplifica como a inovação técnica pode alinhar-se com os objetivos globais de desenvolvimento sustentável, proporcionando benefícios tangíveis para a sociedade e o meio ambiente.

ODS	Meta	Contribuição do Projeto	Indicadores de Desempenho
7	7.1	Garantir acesso confiável e moderno a serviços de energia através do dimensionamento eficiente de cabos.	Eficiência energética dos sistemas, número de falhas elétricas reduzidas, tempo de interrupção minimizado.
9	9.4	Modernização da infraestrutura com ferramentas automatizadas para maior eficiência e precisão.	Redução no tempo de planejamento, aumento na precisão dos cálculos, redução no consumo de materiais.
11	11.6	Redução do impacto ambiental através de instalações elétricas eficientes e sustentáveis.	Emissões de CO ₂ , quantidade de material desperdiçado em manutenção.

Tabela 1: Contribuições para os ODS

Agradecimentos

Gostaria de expressar a minha profunda gratidão à minha família que sempre teve paciência, aos meus irmãos que nunca me falham, aos meus pais que sempre me proporcionaram a melhor educação e me encaminharam neste percurso acadêmico e ao meu cão Max.

À minha namorada, pelo apoio incondicional e paciência, obrigado também por teres tornado este caminho mais fácil.

Um grande grande obrigado a todas as pessoas que fizeram parte deste percurso acadêmico e se cruzaram comigo. Foi único e mostraram-se sempre presentes nas alturas mais difíceis.

Gostaria de agradecer à SISINT por me ter proporcionado uma experiência em ambiente empresarial e ao Eng. Marco Cunha pela eterna paciência e ajuda. Ao Prof. José Eduardo Neves dos Santos por me ter dado o gosto pelo tema e disponibilidade na realização da dissertação.

Afonso Miguel da Silva Pereira

“It's not the Destination, It's the Journey.”

Ralph Waldo Emerson

Conteúdo

1	Introdução	1
1.1	Contextualização do tema	1
1.2	Objetivos da Dissertação	2
1.3	Estrutura da Dissertação	2
2	Especificações gerais dos cabos de baixa tensão e métodos de instalação	3
2.1	Cabos de baixa tensão	3
2.1.1	Alma condutora	3
2.1.2	Condutor	4
2.1.3	Camada Isolante	5
2.1.4	Cabos	6
2.1.5	Designação	7
2.2	Canalizações Elétricas	7
2.2.1	Modos de Instalação dos Cabos	9
2.2.2	Métodos de Referência	10
3	Dimensionamento	11
3.1	Introdução	11
3.2	Corrente de Serviço	12
3.3	Dispositivo de Proteção do Circuito	12
3.4	Corrente máxima admissível	13
3.4.1	Fator de correção em função da temperatura	14
3.4.2	Fator de correção para agrupamento de cabos	16
3.4.3	Fator de correção em função da resistividade térmica do solo	16
3.5	Condição de aquecimento	18
3.6	Condição de queda de tensão	18
3.6.1	Cálculo da Queda de Tensão	19
3.7	Proteção contra sobrecargas	23
3.8	Proteção contra curto-circuito	26
3.8.1	Tempo de fadiga térmica da canalização	27
3.8.2	Tempo de proteção	29
3.9	Caminhos de Cabos	30
4	Ferramenta Computacional em Excel	35
4.1	Plataforma e Linguagem de Programação	35
4.2	Arquitetura da ferramenta computacional	35
4.3	Características da Rede e Dados Gerais da Instalação	38
4.4	Dimensionamento dos cabos	39

4.4.1	Botões e "semáforo" Quedas de Tensão/ Curto-Circuito	39
4.4.2	Dados do circuito	40
4.4.3	Tipo, potência e fatores importantes	40
4.4.4	Potência aparente, Proteção do circuito e Corrente de serviço	40
4.4.5	Informações do cabo	41
4.4.6	Caminhos/ Cabos paralelos e cálculo de distâncias	42
4.4.7	Cálculo da Secção e Corrente máxima admissível	42
4.4.8	Definições de neutro e terra	43
4.4.9	Fatores de Correção e Corrente máxima admissível corrigida	43
4.4.10	Verificação da condição de aquecimento e Proteção contra sobrecargas	44
4.5	Quedas de Tensão e Curtos-Circuitos	44
4.5.1	Botão de atualização	44
4.5.2	Dados do circuito	44
4.5.3	Resistência linear e Reactância	45
4.5.4	Cálculo da queda de tensão	45
4.5.5	Cálculo das correntes de curto-circuito	45
4.5.6	Fadiga térmica, Proteção e verificação do curto-circuito	45
4.6	Dimensionamento dos Caminhos de Cabos	46
4.7	Lista final de cabos	47
4.8	Lista DGEG	48
5	Exemplo de dimensionamento	49
5.1	Características da rede, ambientais e dos condutores	49
5.2	Características da instalação elétrica a dimensionar	49
5.3	Dimensionamento dos cabos	50
5.4	Verificação das quedas de tensão e curtos-circuitos	53
5.5	Dimensionamento do caminho de cabos	55
5.6	Lista final de cabos no caso prático	55
5.7	Lista DGEG caso prático	56
6	Conclusões e Trabalho Futuro	57
6.1	Satisfação dos Objetivos	57
6.2	Trabalho Futuro	58
	Referências	59

Lista de Figuras

1.1	Logotipo SISINT	1
2.1	Esquema de cabo monocondutor [6]	6
2.2	Esquema de cabo multicondutor [6]	6
4.1	Fluxograma da ferramenta computacional	37
4.2	Dados da rede, transformador e ambiente	38
4.3	Dados dos condutores	38
4.4	Botões e Semáforo para o Dimensionamento de Cabos	39
4.5	Formulário para adição de cabos	39
4.6	Formulário para apagar cabos	39
4.7	Campos a preencher com os dados do circuito	40
4.8	Tipo, potência, fator de simultaneidade e fator de potência	40
4.9	Campos da potência aparente, proteção do circuito e corrente de serviço na ferramenta	41
4.10	Parâmetros a preencher sobre o cabo	41
4.11	Campos para caminhos/ cabos paralelos e distâncias	42
4.12	Secção de cálculo das correntes e secção na ferramenta	42
4.13	Formulário para restaurar secção do cabo	43
4.14	Secção para indicação de neutro e terra	43
4.15	Secção dos fatores de correção e corrente máxima admissível corrigida (I'_z)	43
4.16	Secção de cálculos e verificação da condição de aquecimento e proteção contra sobrecargas	44
4.17	Botão para atualizar os cabos da segunda parte	44
4.18	Secção dos dados de cada cabo	44
4.19	Secção de cálculo das resistências lineares a diferentes temperaturas e reactância	45
4.20	Secção de cálculo das quedas de tensão	45
4.21	Secção de cálculo das correntes de curto-circuito máxima e mínima	45
4.22	Secção de cálculo da fadiga térmica, seleção da curva, tempo de proteção e condições de curto-circuito	46
4.23	Taxas de ocupação e botão para dimensionamento dos caminhos de cabos	46
4.24	Secções para o dimensionamento dos caminhos de cabos	46
4.25	Secção para fazer e exportar a lista final de cabos	47
4.26	Secção para fazer e exportar a lista DGEG	48
5.1	Características da rede e ambientais usadas no caso prático	49
5.2	Característica dos condutores no caso prático	50
5.3	Informações dos cabos na ferramenta até o cálculo da potência aparente	50
5.4	Proteção do circuito no caso prático	51

5.5	Características dos cabos no caso prático	51
5.6	Campos para cabos/caminhos em paralelo e distâncias no caso prático	51
5.7	Cálculo de correntes, secção nominal, seleção de neutro e terra, fatores de correção e corrente máxima admissível dos cabos no caso prático	52
5.8	Informações da ferramenta até o cálculo da potência aparente	52
5.9	Dados dos cabos, cálculo das resistências lineares e reactância no caso prático	53
5.10	Quedas de Tensão no caso prático	53
5.11	Resistência máxima e mínima, reactância, impedâncias equivalentes e cálculo de curtos-circuitos no caso prático	53
5.12	Fadiga térmica, tempo de proteção e verificação das condições de curto-circuito no caso prático	54
5.13	Dimensionamento dos caminhos de cabos no caso prático	55
5.14	Exemplo da lista final de cabos	55
5.15	Lista DGEG no caso prático	56

Lista de Tabelas

1	Contribuições para os ODS	v
2.1	Secção Nominal em mm ²	4
2.2	Temperaturas Máximas a Considerar para os Materiais Isolantes, Quadro 3 [4] . .	5
2.3	Secções Reduzidas do Condutor Neutro, Quadro 12 [4]	7
2.4	Situações possíveis para os modos de instalação	9
3.1	Corrente Nominal (I_N)	13
3.2	Fatores de Correção em função das Temperaturas Ambientes para Canalizações Instaladas ao Ar [4]	15
3.3	Fatores de Correção em função da Temperatura do Solo [4]	15
3.4	Tabela de correção de fatores em função da resistência térmica específica do solo	17
3.5	Queda de tensão máxima entre a origem de uma instalação e qualquer ponto de carga (IEC60364-5-52 tabela G.52.1)	18
3.6	Resistência Linear Máxima das Almas Condutoras de Cobre a 20°C, Quadro 8 [4]	20
3.7	Resistência Linear Máx. das Almas Condutoras de Alumínio a 20°C, Quadro 9 [4]	21
3.8	Reatância Linear de Cabos de Cobre e Alumínio, Quadro 10 [4]	22
3.9	Coefficiente de Correção da Resistência com a Temperatura, Quadro 6 [4]	23
3.10	Corrente Estipulada e Corrente Convencional de Funcionamento para Disjuntores, Quadro 23 [4]	24
3.11	Correntes Estipuladas (I_n) de Fusíveis gG (IEC 60269-1), Quadro 22 [4]	25
3.12	Coefficiente K, Quadro 33 [4]	27
3.13	Verificação da Protecção Contra Curto-circuitos por Fusíveis: Tabela de Decisão, Quadro 31 [4]	27
3.14	Verificação da Protecção Contra Curto-circuitos por Disjuntores: Tabela de Decisão, Quadro 32 [4]	28
3.15	Diâmetro do cabo multicondutor de acordo com a secção transversal	31
3.16	Diâmetro do cabo monocondutor de acordo com a secção transversal	32
3.17	Dimensões condutas circulares	32
3.18	Dimensões condutas não circulares	33

Abreviaturas e Símbolos

RTIEBT	Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão
RSIUEE	Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Elétrica
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
NP	Norma Portuguesa
HD	<i>Harmonization Document</i>
VBA	<i>Visual Basic for Applications</i>
BT	Baixa Tensão
CC	Curto-Circuito
MCCB	<i>Molded Case Circuit Breaker</i>
PVC	Policloreto de Vinilo
XLPE	Polietileno Reticulado
EPR	Etileno-propileno
PT	Posto de Transformação
QGBT	Quadro Geral de Baixa Tensão
QCVE	Quadro Carregadores Veículos Elétricos
CVE	Carregador de Veículos Elétricos
DGEG	Direção Geral de Energia e Geologia
I_B	Corrente de serviço (A)
P	Potência ativa (W)
f_s	fator de simultaneidade
U_{ns}	Tensão nominal simples (V)
U_{nc}	Tensão nominal composta (V)
$\cos \varphi$	Fator de potência
I_N	Corrente nominal (A)
I_Z	Corrente máxima admissível (A)
I'_Z	Corrente máxima admissível corrigida (A)
K1	Fator de correção em função da temperatura
K2	Fator de correção em função do agrupamento de cabos
K3	Fator de correção em função da resistividade térmica do solo
ΔU	Queda de tensão (V)
R_F	Resistência linear do condutor fase (Ω/Km)
R_N	Resistência linear do condutor neutro (Ω/Km)
X_F	Reactância linear do condutor fase (Ω/Km)
X_N	Reactância linear do condutor neutro (Ω/Km)
L	Comprimento do cabo (Km)
l	Comprimento do cabo (m)
θ_1	Temperatura inicial ($^{\circ}\text{C}$)
θ_2	Temperatura final ($^{\circ}\text{C}$)
K_{θ}	Fator de correção da resistência com a temperatura

I_f ou I_2	Corrente convencional de funcionamento (A)
t_p	Tempo de proteção (s)
t_{FT}	Tempo de fadiga térmica (s)
K	coeficiente que depende do material da alma condutora e isolamento do cabo ($AS^{\frac{1}{2}}/mm^2$)
I_{cc}	Corrente curto-circuito (A)
c	fator aplicado à tensão
Z_T	Impedância total desde origem (Ω)
S_T	Secção total disponível (mm^2)
d	diâmetro (mm)
p	profundidade (mm)
S_{cabos}	Secção ocupada pelos cabos (mm^2)
S_{til}	Secção disponível para ocupar (mm^2)
t_{occ}	Taxa de ocupação para condutas circulares (%)
t_{ocnc}	Taxa de ocupação para condutas não circulares (%)
N_c	Número de condutas/calhas

Capítulo 1

Introdução

1.1 Contextualização do tema

A demanda por energia elétrica é crescente e as exigências de segurança e eficiência são cada vez mais rigorosas. Desta forma, o dimensionamento de cabos elétricos e a escolha adequada de caminhos para a sua instalação são cruciais na contemporaneidade. Compreender e aplicar corretamente as técnicas e regras envolvidas tornou-se essencial para garantir o funcionamento apropriado dos sistemas elétricos, a segurança das pessoas e um correto dimensionamento dos dispositivos de proteção.

Todo o procedimento para o dimensionamento de cabos elétricos de baixa tensão está dependente de um conjunto de normas impostas pelo CENELEC (Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica Internacional) em harmonia com o IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional), levando à criação das Regras Técnicas de Instalações Elétricas de Baixa Tensão [1], responsáveis por definir as regras de instalação e de segurança das instalações elétricas.

O desenvolvimento de uma ferramenta computacional para este processo irá eliminar erros humanos provenientes de cálculos ou seleção/ leitura errada das tabelas na norma técnica bem como simplificar o trabalho do projetista, economizando tempo e proporcionando maior fiabilidade para a entrega de um projeto de instalações elétricas.

A presente dissertação foi proposta pela SISINT 1.1. Esta é uma empresa multinacional portuguesa de engenharia que desenvolve a sua atividade nas áreas de energia, gestão técnica de edifícios e transporte localizada em Grijó, Vila Nova de Gaia. Devido à crescente procura desta empresa, sobretudo no mercado de exportação, existe uma necessidade de otimizar e sistematizar algumas soluções técnicas usadas recorrentemente.



Figura 1.1: Logotipo SISINT

1.2 Objetivos da Dissertação

O principal objetivo desta dissertação é o desenvolvimento de uma ferramenta em Excel que visa não só a otimização e sistematização de um dos processos internos da empresa, como também a capacidade de oferecer soluções mais competitivas e de alta qualidade aos seus clientes, impulsionando o seu crescimento em mercados de exportação. Assim, considera-se de extrema importância a elaboração do dimensionamento de cabos BT e seus respectivos caminhos de forma automatizada.

A execução de projetos de forma eficiente e padronizada oferece consistência e permite replicar o processo para projetos semelhantes, garantindo conformidade com as normas aplicáveis. A facilidade de uso e intuitividade juntamente com a capacidade de inserção e modificação de dados de maneira simples e direta são os principais objetivos.

1.3 Estrutura da Dissertação

Para além da introdução, esta dissertação contém mais 5 capítulos.

No capítulo 2 é feita uma abordagem teórica dos aspetos construtivos dos cabos de baixa tensão e os métodos de instalação dos cabos seguindo as normas aplicáveis.

No capítulo 3 é descrito o processo de dimensionamento de cabos de baixa tensão seguindo as normas e as condições que garantem a segurança e fiabilidade dos circuitos. Adicionalmente, é explicado o processo de dimensionamento dos caminhos de cabos aplicado na ferramenta.

No capítulo 4 aborda-se a ferramenta computacional em Excel desenvolvida e todas as suas funcionalidades, explicando passo a passo como a utilizar e o propósito de cada botão.

No capítulo 5 é utilizado um exemplo para demonstrar o comportamento da ferramenta numa situação real.

Por último, no capítulo 6, apresentam-se as conclusões finais descrevendo as principais melhorias e objetivos alcançados juntamente com possíveis funcionalidades a acrescentar para tornar a ferramenta ainda melhor.

Capítulo 2

Especificações gerais dos cabos de baixa tensão e métodos de instalação

Durante este capítulo serão abordadas as especificações e características dos cabos de baixa tensão, ou seja, as opções existentes e as diferenças entre si. Paralelamente, indicar-se-ão as normas correspondentes. Num segundo ponto, serão expostos os métodos de instalação considerados.

2.1 Cabos de baixa tensão

Existem vários conceitos importantes a serem considerados ao selecionar qualquer cabo, de forma a que este tenha as características mais adequadas para um determinado propósito. A alma condutora, o condutor e o isolamento são os principais conceitos ponderados.

2.1.1 Alma condutora

A alma condutora (de um condutor isolado ou cabo) é o elemento destinado à condução elétrica, podendo ser constituído por um fio, condutor unifilar ou simplesmente fio, um conjunto de fios devidamente reunidos e não isolados entre si (condutor multifilar) ou perfis adequados como almas condutoras sectoriais maciças. [3]. Para além disso, caracteriza-se principalmente pela natureza do metal condutor, pela secção nominal e pela sua composição, que condicionam a flexibilidade e a resistência óhmica do condutor. [6]

Materiais usados nas almas condutoras:

- Cobre recozido, nu, ou estanhado;
- Alumínio ou ligas de alumínio.

Classificação da flexibilidade dos cabos:

- Classe 1: condutores rígidos
- Classe 2: condutores multifilares

- Classe 5: condutores flexíveis
- Classe 6: condutores mais flexíveis que a classe 5

A seguinte tabela 2.1 indica as secções nominais das almas condutoras, de acordo com o condutor, possíveis de utilizar de acordo com os valores presentes na *RTIEBT* [1] e indicados pela norma *IEC 60364*.

Cobre	Alumínio
1.5	-
2.5	2.5
4	4
6	6
10	10
16	16
25	25
35	35
50	50
70	70
95	95
120	120
150	150
185	185
240	240
300	300
400	400
500	500
630	630

Tabela 2.1: Secção Nominal em mm²

Existem cabos com secções maiores que 630 mm² mas não serão abordados visto que não constam nas tabelas normalizadas. Não obstante, será possível manipular a secção e a corrente máxima admissível em caso de necessidade.

2.1.2 Condutor

O condutor de um cabo de baixa tensão abrange os condutores nus, condutores isolados e os cabos. [3]

Condutor Nu Neste caso não existe isolamento elétrico utilizado;

Condutor Isolado Alma condutora revestida por uma ou mais camadas de material isolante;

Cabos Dois casos a considerar:

- Cabo unipolar ou monopolar ou monocondutor constituído por um condutor isolado com revestimento exterior;
- Cabo multipolar ou multicondutor constituído por um conjunto de condutores isolados devidamente agrupados, providos de um envolvente comum.

As características mencionadas acima encontram-se normalizadas pela norma internacional IEC 60228.

2.1.3 Camada Isolante

A camada isolante é constituída por compostos dieléctricos sólidos, sendo aplicados por extrusão na maioria dos casos. Os diferentes isolantes podem ser agrupados em duas famílias: Materiais Termoplásticos e Elastómetros e Polímeros Reticuláveis. [3]

Os isoladores mais comuns são:

- Policloreto de Vinilo - PVC
- Polietileno Reticulado - XLPE ou PEX
- Etileno Propileno - EPR

Devido à natureza do material de isolamento existem diferentes temperaturas de funcionamento e de curto-circuito como é possível confirmar na tabela 2.2 .

Tipo de Isolamento	Designação	Tmáx de Funcionamento [°C]	Tmáx em Curto-circuito [°C]
Policloreto de Vinilo ($\geq 300\text{mm}^2$)	PVC	70	160
Policloreto de Vinilo ($< 300\text{mm}^2$)		70	140
Polietileno Reticulado	XLPE / PEX	90	250
Etileno-propileno	EPR	90	250
Borracha p/Usos Gerais	-	60	200
Borracha Butílica	-	85	220

Tabela 2.2: Temperaturas Máximas a Considerar para os Materiais Isolantes, Quadro 3 [4]

2.1.4 Cabos

Como referido anteriormente existem dois tipos de cabos a considerar que se encontram nas figuras 2.1 e 2.2.

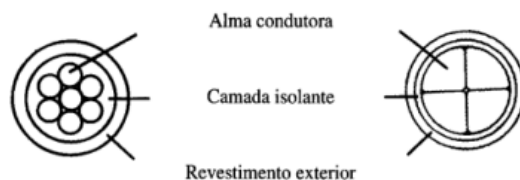


Figura 2.1: Esquema de cabo monocondutor [6]

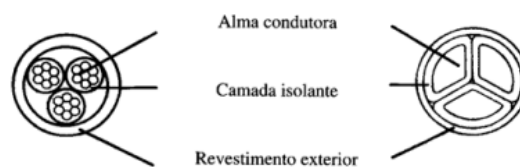


Figura 2.2: Esquema de cabo multicondutor [6]

No caso de cabos multipolares é necessário ter em conta as diferentes funções de cada condutor, nomeadamente condutores ativos e condutores de proteção.

O condutor ativo é aquele que conduz a corrente elétrica. Em corrente alternada, os condutores ativos são os condutores de fase e o condutor neutro. O condutor de proteção é um condutor não ativo que integra as massas da instalação no circuito de proteção. O circuito de proteção inclui os condutores de proteção, eletrodos de terra, dispositivos de proteção e suas ligações. [3]

Posto isto, é necessário dimensionar os condutores ativos dos cabos para que seja capaz de alimentar a carga e seguir todas as regras técnicas impostas para garantir segurança e fiabilidade. A secção do condutor neutro pode ser igual à secção dos condutores de fase ou, caso as seguintes três condições sejam cumpridas, reduzida:

1. a corrente máxima susceptível de percorrer o condutor neutro em serviço normal, incluindo a dos eventuais harmónicos, não for superior à corrente admissível correspondente à da secção reduzida do condutor neutro;
2. o condutor neutro estiver protegido contra sobreintensidades de acordo com as regras indicadas na secção 473.3.2 das *RTIEBT* [1];
3. a secção do condutor neutro não for inferior a 16 mm^2 , se for de cobre, ou a 25 mm^2 , se de alumínio

A tabela 2.3 indica que valores seccionais usar no neutro quando reduzido. A metodologia usada é a secção aproximada por excesso da metade da secção do condutor de fase.

Condutores de Fase (S_F) [mm ²]	Condutores de Fase (S_N) [mm ²]	
	Alma Condutora de Cobre	Alma Condutora de Alumínio
25	16	-
35	16	16
50	25	25
70	35	35
95	50	50
120	70	70
150	70	70
185	95	95
240	120	120
300	150	150

Tabela 2.3: Secções Reduzidas do Condutor Neutro, Quadro 12 [4]

2.1.5 Designação

O sistema de designação dos condutores isolados e cabos elétricos é regido pela Norma NP 2361 /HD 361. Este documento tem por finalidade definir e uniformizar o sistema de designação dos condutores isolados e cabos em todos os países da União Europeia. A designação é constituída por três partes distintas [5]:

1. Correspondência com a norma a que obedece o condutor isolado ou cabo, constando igualmente o valor nominal da tensão;
2. Tipo de construção do condutor isolado ou cabo;
3. Quando é necessário fornecer informações específicas quanto ao número e secção dos condutores.

Relativamente ao software desenvolvido, devido à grande opção de escolha de tipos de cabos no mercado e à necessidade de permitir versatilidade para clientes nacionais e estrangeiros, caberá ao utilizador preencher a designação do cabo que utilizará no projeto de instalações elétricas. Além disso, o código será capaz de analisar o número de condutores carregados, a presença de neutro e/ou terra e a quantidade de cabos necessária, no entanto, no caso de cabos monocondutores será necessário um cabo para cada condutor/proteção existente no circuito.

2.2 Canalizações Elétricas

Na escolha dos condutores isolados ou cabos é muito importante considerar o método de referência de cada circuito pois este fator irá afetar consideravelmente a corrente máxima admissível, sendo assim necessário classificar as canalizações elétricas por modos de instalação.

Uma canalização elétrica refere-se ao conjunto constituído por um ou mais condutores e pelos elementos que asseguram o seu isolamento elétrico, as suas proteções mecânicas, químicas e elétricas, e a sua fixação, devidamente agrupados e com aparelhos de ligação comuns [3]. Cumprindo as regulamentações encontradas no RSIUEE [2], as canalizações podem ser agrupadas da seguinte forma:

1. Canalização Fixa
2. Canalização Amovível
3. Canalização à vista
4. Canalização Oculta

Destacam-se principalmente as canalizações fixas à vista e as canalizações fixas ocultas pois são as mais utilizadas em projetos de instalações elétricas.

As canalizações fixas à vista englobam uma grande variedade dos métodos mais comuns como [3]:

1. Condutores nus rígidos estabelecidos sobre isoladores;
2. Condutores isolados ou cabos, rígidos, protegidos por todos;
3. Cabos rígidos fixados à superfície de apoio por abraçadeiras ou assentes sobre prateleiras ou outro suporte adequado;
4. Condutores isolados ou cabos, protegidos por condutas;
5. Canalizações pré-fabricadas contendo numa conduta ou invólucro os elementos condutores separados e suportados por elementos isolantes

Quanto às canalizações fixas ocultas, estão incluídas:

1. Canalizações embebidas em paredes, tetos ou pavimentos, constituídas por condutores isolados ou cabos protegidos por tubos (anelados ou *tubo VD*);
2. Canalizações estabelecidas em espaços ocultos de construções. Exemplo: caminhos de cabos colocados em tetos falsos;
3. Canalizações em caleiras;
4. Canalizações em galerias inacessíveis dotadas de câmaras de visita para adição ou remoção de cabos;
5. Canalizações enterradas diretamente ou enfiadas em caleiras de betão ou tubos.

2.2.1 Modos de Instalação dos Cabos

Analisando os tipos de canalizações elétricas existentes em congruência com as normas aplicáveis é possível listar os modos de instalação:

- Sem fixação
- Fixação direta
- Conduatas circulares
- Conduatas não circulares
- Calhas
- Caminhos de Cabos
- Sobre isoladores
- Cabos auto-suportados

No entanto, é necessário ir mais longe e especificar com mais detalhe a situação em que se encontra o modo de instalação. A tabela 2.4 indica as opções disponíveis.

	Situação				
Sem fixação	Ocos de construção	Caleiras	Enterradas	Embebidas	Imersas
Fixação direta	Caleiras	Embebidas	À vista	Imersas	
Conduatas circulares	Ocos de construção	Caleiras	Enterradas	Embebidas	À vista
Conduatas não circulares	Ocos de construção	Caleiras	Enterradas	Embebidas	À vista
Calhas	Caleiras	Embebidas	À vista	Linhas aéreas	
Caminhos de cabos	Não perfurados	Perfurados	Consolas	Escadas	
Sobre isoladores	À vista	Linhas aéreas			
Cabos auto-suportados	Linhas aéreas				

Tabela 2.4: Situações possíveis para os modos de instalação

Na presente dissertação não serão abordadas situações com cabos imersos porque não é do interesse da empresa que a propôs explorar essa vertente. Obter estas informações é muito crucial no processo computacional, pois permite sistematicamente calcular o método de referência. Contudo alguns casos, necessitam de informação complementar para chegar ao método de referência exato, logo, existe mais uma especificação denominada configuração.

Para caminhos de cabos com cabos multicondutores, é necessário especificar se estão colocados com ou sem afastamento entre si e se estão dispostos na horizontal ou na vertical.

No caso de cabos monocondutores, existe ainda o detalhe adicional sobre a sua organização que pode ser em triângulo ou em esteira.

2.2.2 Métodos de Referência

Pela norma *IEC 60364 5-32*, através de ensaios ou cálculos, estão estabelecidos os valores máximos de corrente possível de conduzir sem provocar danos no isolamento dos cabos concluindo assim, o método de referência. Os métodos de referência são os seguintes:

- A1: Condutores isolados, em conduta, embutidos na parede com isolante térmico;
- A2: Condutores multipolares, em conduta, embutidos na parede com isolante térmico;
- B1: Condutores monopolares, em conduta, fixados na parede ou teto;
- B2: Condutores multipolares, em conduta, fixados na parede ou teto;
- C: Condutores mono ou multipolares, sem conduta, fixados na parede;
- D1: Condutores multipolares, em condutas, enterrados no solo
- D2: Condutores multipolares, enterrados diretamente no solo;
- E1: Condutores multipolares, ao ar (2 condutores carregados);
- E2: Condutores multipolares, ao ar (3 condutores carregados);
- F1: Condutores monopolares ao ar juntos (2 condutores, horizontal ou vertical, seccção acima de 25mm^2);
- F2: Condutores monopolares ao ar juntos (3 condutores, "Trefoil", seccção acima de 25mm^2);
- F3: Condutores monopolares ao ar juntos (3 condutores, horizontal ou vertical, seccção acima de 25mm^2);
- G1: Condutores monopolares ao ar com espaçamento entre eles horizontal (acima de 25mm^2);
- G2: Condutores monopolares ao ar com espaçamento entre eles vertical (acima de 25mm^2).

Capítulo 3

Dimensionamento

Neste capítulo apresentam-se os cálculos e expressões matemáticas utilizadas no dimensionamento de cabos de baixa tensão incluindo quedas de tensão, curtos-circuitos e todos os aspectos relativos aos dispositivos de proteção.

O processo associado aos caminhos de cabos necessários por percurso de acordo com o tipo de conduta/calha usada também será abordado.

3.1 Introdução

O dimensionamento de cabos de baixa tensão envolve a escolha adequada dos cabos com base em vários parâmetros técnicos e normativos para assegurar que eles atendam às exigências operacionais e de segurança.

Começa com a determinação da corrente que o cabo deve de conduzir, dependendo da carga a ser alimentada e do tipo, trifásica ou monofásica. A escolha do cabo adequado esta dependente de vários fatores como a queda de tensão permitida e a capacidade de suportar sobrecargas e curtos-circuitos.

Durante este processo é necessário aplicar vários fatores de correção que ajustam a capacidade de condução de corrente dos cabos com base em condições específicas de instalação. A lista de fatores a considerar é o fator K1 que representa a junção de dois fatores: um relativo à temperatura ambiente para cabos ao ar e o outro à temperatura do solo para cabos enterrados. O fator K2 relativo ao agrupamento de cabos e o fator K3 relativo à resistividade térmica do solo (aplicado em cabos enterrados).

A aplicação destes fatores permite evitar sobreaquecimentos, uma vez que a dissipação de calor dos cabos é considerada, e garante longevidade e segurança ao sistema elétrico. Usar corretamente estes fatores de correção previne falhas, perdas excessivas de energia e riscos de incêndio.

Durante o dimensionamento de cabos de baixa tensão de um projeto de instalações elétricas é de extrema importância dimensionar adequadamente os caminhos de cabos. Este processo é um aspecto vital para a segurança, eficiência e escalabilidade das instalações elétricas. Um planejamento adequado, levando em consideração a quantidade de cabos, a taxa de ocupação e a mobilidade dos

cabos, garante que a infraestrutura elétrica seja robusta e capaz de atender às demandas presentes e futuras.

3.2 Corrente de Serviço

Entende-se por corrente de serviço a corrente destinada a ser transportada por um circuito em serviço normal, isto é, em regime permanente, é a corrente correspondente à maior potência transportada. Este valor é influenciado pela potência, rendimento dos equipamentos de utilização e pelo fator de simultaneidade [1].

$$I_B = \frac{P \times f_s}{\sqrt{3} \times U_{nc} \times \cos \varphi} \quad (A) \quad (3.1)$$

$$I_B = \frac{P \times f_s}{U_{ns} \times \cos \varphi} \quad (A) \quad (3.2)$$

Em que:

- **P** - potência, em W;
- f_s - fator de simultaneidade;
- U_{nc} - tensão composta, em V;
- U_{ns} - tensão simples, em V;
- $\cos \varphi$ - fator de potência.

O fator de simultaneidade é estimado considerando o facto de que as cargas nunca estão ligadas todas em simultâneo nem à sua máxima potência. A ferramenta computacional assume este fator como unitário para considerar sempre o pior caso possível e desta forma garantir os melhores resultados, contudo, é possível o utilizador alterar este valor. Em circuitos trifásicos é utilizada a equação 3.1, em monofásicos a equação 3.2.

3.3 Dispositivo de Proteção do Circuito

Uma vez calculada a corrente de serviço, é possível dimensionar o dispositivo de proteção. 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.

Os dispositivos de proteção podem ser disjuntores ou fusíveis e devem funcionar para valores de corrente, de tensão e de tempo, adaptados às características dos circuitos e aos perigos susceptíveis de ocorrerem [1].

A tabela 3.1 indica as opções disponíveis de corrente nominal para disjuntores e fusíveis. O valor escolhido é a corrente nominal imediatamente acima da corrente de serviço, para que passe

corrente pelo dispositivo de proteção sem que este atue prematuramente. Apesar desta ser a lista disponível de opções, devido à existência de MCCBs, que permitem regular a corrente nominal para valores à escolha, existe a possibilidade de introduzir um número arbitrário na ferramenta computacional.

Corrente Nominal	
Disjuntor	Fusível
10	2
16	4
20	6
25	8
32	10
40	12
50	16
63	20
80	25
100	32
125	40
160	50
200	63
250	80
315	100
400	125
500	160
630	200
800	250
1000	315
1250	400
1600	500
2000	630
	800
	1000
	1250

Tabela 3.1: Corrente Nominal (I_N)

Este valor será depois utilizado para verificar as condições necessárias para garantir a segurança do sistema elétrico e proteger contra sobrecargas.

3.4 Corrente máxima admissível

A corrente máxima admissível (I_Z) é o valor máximo de corrente suportado por um cabo. A corrente transportada por qualquer condutor continuamente deve ser tal que a sua temperatura não exceda o valor indicado pelo Quadro 52A que consta nas RTIEBT [1]. Os valores da corrente

são determinados por métodos preconizados na Norma *IEC 60287* ou por meio de ensaios ou por cálculos.

Esta variável depende do tipo de cabo escolhido, ou seja, de parâmetros como o material da alma condutora, o tipo de isolamento e o número de condutores carregados. Para além disso, as condições de instalação irão influenciar a dissipação de calor, logo, valores diferentes de corrente máxima admissível serão atingidos.

Tal como referido no capítulo 2, com a recolha de informação sobre o cabo e método de referência, obtem-se o valor desta corrente pela análise das tabelas B.52-2 até B.52-13 da norma *IEC 60364 5-32*. Deste modo, consegue-se o valor da secção do cabo, que por enquanto não será relevante, e o valor de I_Z . Paralelamente ao que foi mencionado na secção 3.1, é necessário aplicar os fatores de correção resultando na corrente máxima admissível corrigida I'_Z .

$$I'_Z = I_Z \times K1 \times K2 \times K3 \quad (A) \quad (3.3)$$

Sendo que:

- I'_Z - corrente máxima admissível corrigida, em A;
- I_Z - corrente máxima admissível, em A;
- K1 - fator de correção em função da temperatura;
- K2 - fator de correção para agrupamento de cabos;
- K3 - fator de correção em função da resistividade térmica do solo.

3.4.1 Fator de correção em função da temperatura

A capacidade de condução de corrente dos cabos é influenciada pela temperatura ambiente. Em temperaturas mais altas, a capacidade de condução diminui, exigindo um cabo de maior secção transversal para conduzir a mesma corrente sem sobreaquecimento, portanto, aplica-se o fator de correção K1. Para canalizações instaladas ao ar será aplicada a tabela B.52-14 da norma *IEC 60364 5-32* representada na tabela 3.2. Para canalizações diretamente enterradas ou enterradas em tubos é aplicado o fator da tabela B.52-15 da norma *IEC 60364 5-32* representado na tabela 3.3. Estes fatores de correção aplicam-se para temperaturas do ar diferentes de 30 °C e para temperaturas do solo diferentes de 20 °C, nesses casos o valor é 1, logo, não altera a capacidade de condução da corrente.

Temperatura ambiente °C	Isolamento	
	PVC	XLPE ou EPR
10	1.22	1.15
15	1.17	1.12
20	1.12	1.08
25	1.06	1.04
30 (Standart)	1	1
35	0.94	0.96
40	0.87	0.91
45	0.79	0.87
50	0.71	0.82
55	0.61	0.76
60	0.5	0.71
65	-	0.65
70	-	0.58
75	-	0.5
80	-	0.41
85	-	-
90	-	-

Tabela 3.2: Fatores de Correção em função das Temperaturas Ambientas para Canalizações Instaladas ao Ar [4]

Temperatura do solo °C	Isolamento	
	PVC	XLPE ou EPR
10	1.1	1.07
15	1.05	1.04
20 (Standart)	1	1
25	0.95	0.96
30	0.89	0.93
35	0.84	0.89
40	0.77	0.85
45	0.71	0.8
50	0.63	0.76
55	0.55	0.71
60	0.45	0.65
65	-	0.6
70	-	0.53
75	-	0.46

Tabela 3.3: Fatores de Correção em função da Temperatura do Solo [4]

3.4.2 Fator de correção para agrupamento de cabos

Este fator é muito importante no dimensionamento de cabos de baixa tensão e é influenciado pelo método de instalação e número de cabos existentes no percurso visto que estes aspetos influenciam o efeito de aquecimento mútuo entre canalizações elétricas. Por estes motivos, é necessário aplicar o fator de correção K2 no qual se deve considerar também os cabos ou canalizações elétricas anteriormente existentes, caso se aplique.

Os valores a aplicar estão presentes nas tabelas B.52-17 à tabela B.52-21 na norma *IEC 60364 5-32*. Através dos dados da canalização elétrica será possível concluir qual das tabelas usar. Quando o cabo for monopolar, para métodos de referência diferentes de F ou G e instalados ao ar, utiliza-se a tabela B.52.17, consideram-se os circuitos presentes no caminho. Por exemplo, quando 6 cabos embutidos monocondutores estão em contacto, são 2 circuitos trifásicos, logo, será o valor correspondente a 2 cabos multicondutores.

Relativamente a canalizações elétricas enterradas, este efeito é desprezável se o espaçamento entre os tubos ou cabos for superior a um metro para cabos entubados e superior a 0.5m para cabos enterrados diretamente. Devido ao elevado custo associado à manipulação do terreno e número superior de valas necessárias, é habitual a disposição de canalizações em esteira horizontal com distâncias entre si de 20 a 25 cm [1]. Nas tabelas utilizadas são consideradas as distâncias: juntos, diâmetro do cabo, 0.125m, 0.25m, 0.5m para cabos enterrados diretamente no chão; juntos, 0.25m, 0.5m, 1m para condutas enterradas no chão. Estes valores são definidos pela norma referida acima.

Quando os números de cabos ou números de caminhos de cabos excedem ou não constam na tabela serão utilizados os valores imediatamente abaixo.

3.4.3 Fator de correção em função da resistividade térmica do solo

O fator de correção K3 é influenciado pelas características do solo como o material que o constitui, a humidade, a temperatura e o seu nível de compactação pois afetam o valor da resistividade térmica do solo. Devido a esta grande variedade de aspetos, acaba por ser algo difícil de avaliar com precisão, no entanto, é necessário fazer a sua análise porque influencia a corrente máxima admissível numa canalização.

Para os locais onde a resistividade térmica do solo for diferente de 2.5 K.m/W, os valores das correntes admissíveis devem ser multiplicados pelos fatores de correção da tabela 3.4 que foram retirados da tabela B.52-16 da norma *IEC 60364 5-32*. No entanto, é aconselhável substituir o terreno original por materiais com características térmicas mais favoráveis se a resistividade térmica do solo for extremamente alta. esta estratégia é principalmente aplicada nas áreas próximas imediatas dos cabos, onde o solo desempenha um papel importante.

Resistência térmica específica do solo [K·m/W]	Fator de correção
0.5	1.28
0.7	1.2
1	1.18
1.5	1.1
2	1.05
2.5 (Standart)	1
3	0.96

Tabela 3.4: Tabela de correção de fatores em função da resistência térmica específica do solo

3.5 Condição de aquecimento

Depois de reunidas todas as informações necessárias expostas anteriormente é necessário garantir que a condição de aquecimento dos condutores é respeitada. Conhecendo a corrente de serviço I_B , é impírico que a corrente máxima admissível I_z seja superior. A necessidade de imposição desta condição resulta de os cabos, tendo em conta os seus aspetos construtivos e problemas térmicos associados, possuírem uma intensidade de corrente máxima que podem veicular em regime permanente sem sofrerem qualquer degradação [8]. Consequentemente, a condução de corrente para valores acima de I_z , ou I'_z caso fatores de correção sejam aplicados, depois de pouco tempo, resultará em consequências como a degradação e sobreaquecimento do cabo.

$$I_B \leq I_z \text{ (A)} \quad (3.4)$$

3.6 Condição de queda de tensão

Nas instalações elétricas é muito importante avaliar a queda de tensão, ΔU , desde a origem da instalação elétrica até ao ponto mais distante do circuito. Esta condição previne os dispositivos como motores, instalações de iluminação e aparelhos eletrónicos de serem alimentados com tensões muito inferiores à de referência, que pode resultar num desempenho reduzido, sobreaquecimento ou, no caso de sistemas de iluminação, luzes fracas ou a piscar.

Deste modo, a condição de queda de tensão tem de ser respeitada para garantir o correto funcionamento da rede elétrica. O valor percentual de desvio deste parâmetro varia de caso para caso, contudo, a norma *IEC 60364*. Em muitas circunstâncias é considerada uma margem de 5% de queda de tensão nas canalizações elétricas [9].

Tipo de instalações	Circuitos de iluminação	Outros usos (aquecimento e potência)
Instalações de baixa tensão alimentadas diretamente de um sistema de distribuição de baixa tensão público	3 %	5 %
Instalações de baixa tensão alimentadas de uma fonte de BT privada	6 %	8 %

Tabela 3.5: Queda de tensão máxima entre a origem de uma instalação e qualquer ponto de carga (IEC60364-5-52 tabela G.52.1)

Concluindo, para que a condição de queda de tensão seja respeitada, ΔU tem de ser inferior ao valor indicado pela tabela 3.5 de acordo com o caso em questão.

3.6.1 Cálculo da Queda de Tensão

Existem três possíveis situações para o cálculo das quedas de tensão que dependem da tipologia do circuito: trifásico com cargas equilibradas, trifásico completamente desequilibrado e monofásico.

A equação 3.5 está de acordo com a norma *IEC 60364* e provém do *Electrical Installation Guide* [9] para circuitos trifásicos com cargas equilibradas. A escolha desta formula invés da presente nas RTIEBT [1] deve-se ao facto desta considerar o pior caso possível:

$$\Delta U = \sqrt{3}(R_F \cos \varphi + X_F \sin \varphi) \times L \times I_B \quad (V) \quad (3.5)$$

A equação 3.6 considera a queda de tensão do neutro tal como recomendado em RTIEBT 525 [1]:

$$\Delta U = ((R_F + R_N) \cos \varphi + (X_F + X_N) \sin \varphi) \times L \times I_B \quad (V) \quad (3.6)$$

A equação 3.7 é igual tanto nas RTIEBT [1] como no *Electrical Installation Guide* [9] e apresenta a forma de cálculo para circuitos monofásicos:

$$\Delta U = 2 \times (R_F \cos \varphi + X_F \sin \varphi) \times L \times I_B \quad (V) \quad (3.7)$$

Em que:

- R_F - resistência linear do condutor de fase, expressa em Ω/Km ;
- X_F - reactância linear do condutor de fase, expressa em Ω/Km ;
- R_N - resistência linear do condutor neutro, expressa em Ω/Km ;
- X_N - reactância linear do condutor neutro, expressa em Ω/Km ;
- I_B - corrente de serviço, expressa em A;
- L - comprimento do cabo, expresso em Km;
- $\cos \varphi$ - fator de potência.

Para representar a queda de tensão em percentagem basta dividir o valor pela tensão nominal simples da rede.

A queda de tensão depende diretamente da resistência linear e da reactância e estes valores são definidos de acordo com a secção nominal do cabo. A norma *IEC 60228* define uma gama de secções nominais para as almas condutoras e reparte-as em quatro classes, por ordem crescente de flexibilidade. Assim sendo, estas não constituem valores geométricos exatos, logo, o valor da resistência da alma em corrente contínua a 20 °C é imposto em função da secção nominal e da classe de resistência [6].

As tabelas 3.6 e 3.7 estão de acordo com a norma *IEC 60228*, a tabela 3.8 está presente no *Electric Installation Handbook, Vol 2, ABB, 2004, Pág 58* [7].

Secção (mm ²)	Cabos Rígidos (Monocondutores ou Multicondutores)		Cabos Flexíveis (Monocondutores ou Multicondutores)
	Almas Maciças (Classe 1)	Almas Multifilares (Classe 2)	
Cobre: $r_{20^{\circ}\text{C}}$ [Ω/km]			
0,5	36,0	36,0	39,0
0,75	24,5	24,5	26,0
1	18,1	18,1	19,5
1,5	12,1	12,1	13,3
2,5	7,41	7,41	7,98
4	4,61	4,61	4,95
6	3,08	3,08	3,30
10	1,83	1,83	1,91
16	1,15	1,15	1,21
25	0,727	0,727	0,780
35	0,524	0,524	0,554
50	0,387	0,387	0,386
70	0,268	0,268	0,272
95	0,193	0,193	0,206
120	0,153	0,153	0,161
150	0,124	0,124	0,129
185	0,0991	0,0991	0,106
240	0,0754	0,0754	0,0801
300	0,0601	0,0601	0,0641

Tabela 3.6: Resistência Linear Máxima das Almas Conductoras de Cobre a 20°C, Quadro 8 [4]

Secção (mm ²)	Cabos Rígidos (Monocondutores ou Multicondutores)	
	Almas Maciças (Classe 1)	Almas Multifilares (Classe 2)
Alumínio: $r_{20^{\circ}\text{C}}$ [Ω/km]		
1,5	18,1	—
2,5	12,1	—
4	7,41	7,41
6	4,61	4,61
10	3,08	3,08
16	1,91	1,91
25	1,20	1,20
35	0,868	0,868
50	0,641	0,641
70	0,443	0,443
95	0,320	0,320
120	0,253	0,253
150	0,206	0,206
185	0,164	0,164
240	0,125	0,125
300	0,100	0,100

Tabela 3.7: Resistência Linear Máx. das Almas Conductoras de Alumínio a 20°C, Quadro 9 [4]

Secção <i>mm</i> ²	Reatância X [Ω/km]	
	Cabos Monocondutores	Cabos de Dois ou Três Cond.
1,5	0,1680	0,1180
2,5	0,1560	0,1090
4	0,1430	0,1010
6	0,1350	0,0955
10	0,1190	0,0861
16	0,1120	0,0817
25	0,1060	0,0813
35	0,1010	0,0783
50	0,1010	0,0779
70	0,0965	0,0751
95	0,0975	0,0762
120	0,0952	0,0744
150	0,0936	0,0734
185	0,0917	0,0727
240	0,0895	0,0752
300	0,0859	0,0740

Tabela 3.8: Reatância Linear de Cabos de Cobre e Alumínio, Quadro 10 [4]

Uma vez que o valor da resistência linear varia consoante a temperatura, de modo a garantir a condição de queda de tensão em regime permanente, é essencial ter em conta a temperatura de funcionamento do cabo indicada pela tabela 2.2 de acordo com o isolamento. A tabela 3.9 indica o coeficiente a ser aplicado ao valor da resistência a 20°C.

Temperatura de Referência θ_1 [°C]	Temperatura Final θ_2 [°C]	Coeficiente de Correção da Resistência K_θ	
		$K_\theta = 1 + \alpha(\theta_2 - \theta_1)$	
		Condutores de Alumínio $\alpha = 0,00380$	Condutores de Cobre $\alpha = 0,00395$
20	30	1,038	1,0395
20	70	1,190	1,1975
20	85	1,247	1,2568
20	90	1,266	1,2765
20	140	1,456	1,4740
20	160	1,532	1,5530
20	250	1,874	1,9085

Tabela 3.9: Coeficiente de Correção da Resistência com a Temperatura, Quadro 6 [4]

O valor de α representa o coeficiente de variação da resistividade com a temperatura, expresso em $^{\circ}\text{C}^{-1}$. A tabela 3.9 indica o coeficiente a ser aplicado ao valor da resistência a 20°C resultando na seguinte equação:

$$R_{\theta_2} = R_{\theta_1} \times K_\theta \quad [\Omega/\text{Km}] \quad (3.8)$$

Concluindo, o valor da reactância não sofre alterações pela temperatura e chegamos assim aos valores da resistência linear e de reactância para o cálculo da queda de tensão que deve de respeitar os limites impostos pela tabela 3.5.

3.7 Proteção contra sobrecargas

De forma a proteger os cabos contra sobrecargas que possam eventualmente acontecer na rede é necessário escolher um dispositivo de proteção, tal como indicado na secção 3.3, caracterizado pelo valor da corrente convencional de funcionamento (I_f ou I_2) apresentados nas tabelas 3.10 e 3.11.

Corrente Estipulada (Calibre) I_n [A]	Corrente Convencional de Funcionamento (I_2 ou I_r) [A]
10	14
16	23
20	29
25	36
32	46
40	58
50	72
63	91
80	116
100	145
125	181

Tabela 3.10: Corrente Estipulada e Corrente Convencional de Funcionamento para Disjuntores, Quadro 23 [4]

Corrente Estipulada (Calibre) I_n [A]	Corrente Convencional de Funcionamento $I_2(I_r)$ [A] (1)
2	4
4	8
6	11
8	15
10	19
12	23
16	30
20	32
25	40
32	51
40	64
50	80
63	101
80	128
100	160
125	200
160	256
200	320
250	400
315	504
400	640
500	800
630	1008
800	1280
1000	1600
1250	2000

Tabela 3.11: Correntes Estipuladas (I_n) de Fusíveis gG (IEC 60269-1), Quadro 22 [4]

Para valores nominais superiores aos presentes na tabela 3.10, de acordo com a norma IEC 60947-1:

$$I_2 = 1,30 \times I_n \quad (A) \quad (3.9)$$

A primeira condição a satisfazer impõe um valor de corrente nominal da proteção (I_n) superior ou igual à corrente de serviço (I_B) e inferior ou igual à corrente máxima admissível (I_z ou I'_z) da canalização elétrica.

$$I_B \leq I_n \leq I'_z \quad (3.10)$$

A segunda condição implica que a corrente I_f seja inferior ou igual a 1,45 vezes o valor da corrente máxima admissível.

$$I_f \leq 1,45 \times I'_z \quad (3.11)$$

3.8 Proteção contra curto-circuito

Quando ocorre um curto-circuito a intensidade da corrente é muito superior aquela que circula em regime permanente, aumentando assim a temperatura à qual a alma condutora e o isolador estão sujeitos.

Para proteger as canalizações elétricas contra este risco é necessário que o dispositivo de proteção escolhido anteriormente atue dentro de um intervalo de tempo muito curto. Desta forma, mesmo que o cabo esteja sujeito a elevadas intensidades de corrente, será por um tempo reduzido e não causará danos permanentes. Logo, o tempo de proteção terá de ser menor que o tempo de fadiga térmica da canalização.

Para além disso, consoante a duração do defeito consideram-se dois tipos de sistema: adiabático e não adiabático. No primeiro não ocorrem transferências de calor entre a vizinhança dos materiais, tal acontece quando o tempo de proteção é inferior a cinco segundos.

Estas condições estão descritas nas equações 3.12 e 3.13.

$$t_p < t_{FT} \quad (3.12)$$

$$t_p \leq 5s \quad (3.13)$$

Em que:

- t_p - tempo de atuação da proteção, expressa em s;
- t_{FT} - tempo de fadiga térmica, expressa em s.

3.8.1 Tempo de fadiga térmica da canalização

O tempo de fadiga térmica refere-se ao período durante o qual um cabo pode suportar temperaturas elevadas sem sofrer danos irreversíveis e é calculado da seguinte forma:

$$t_{FT} = \left(K \times \frac{S}{I_{cc}}\right)^2 \text{ (s)} \quad (3.14)$$

Em que:

- S - secção nominal da alma condutora, expressa em mm²;
- I_{cc} - corrente curto-circuito, expressa em A;
- K - coeficiente aplicado de acordo com o material usado na alma condutora e isolamento do cabo, expressa em A S^{1/2} / mm²

A secção a utilizar depende do tipo de canalização e do dispositivo de proteção escolhido tal como demonstrado nas tabelas 3.13 e 3.14. Os valores de K encontram-se na tabela 3.12.

$K [A S^{1/2} / mm^2]$		Tipo de Isolamento
Cobre	Alumínio	
115	76	PVC (Alma Condutora $\leq 300 \text{ mm}^2$)
103	68	PVC (Alma Condutora $> 300 \text{ mm}^2$)
143	94	XLPE / EPR

Tabela 3.12: Coeficiente K, Quadro 33 [4]

3.8.1.1 Cálculo da Corrente de Curto-Circuito

Para o valor da corrente de curto-circuito considera-se o valor mais desfavorável atingível, logo, visto que já se obteve todas as informações necessárias sobre o circuito, segue-se as tabelas de decisão 3.13 e 3.14.

Tipo de canalização	Tipo de curto-circuito a simular	Corrente de curto-circuito	Ponto da canalização onde é calculado	Secção a considerar para o cálculo da Fadiga Térmica
Trifásica c/ Neutro	Fase-Neutro	Mínima	Fim	S_{Neutro}
Trifásica s/ Neutro	Fase-Fase	Mínima	Fim	S_{fase}
Monofásico	Fase-Neutro	Mínima	Fim	S_{fase}

Tabela 3.13: Verificação da Protecção Contra Curto-circuitos por Fusíveis: Tabela de Decisão, Quadro 31 [4]

Tipo de canalização	Tipo de curto-circuito a simular	Corrente de curto-circuito	Ponto da canalização onde é calculado	Secção a considerar para o cálculo da Fadiga Térmica	Condições
Trifásica c/ Neutro	Fase-Neutro	Mínima	Fim	S_{Neutro}	Se $I_{cc3F} < I_{ccFN}$ Se $I_{cc3F} > I_{ccFN}$
	Fase-Neutro	Máxima	Início	S_{Neutro}	
	Trifásico			S_{fase}	
Trifásica s/ Neutro	Fase-Fase	Mínima	Fim	S_{fase}	
	Trifásico	Máxima	Início	S_{fase}	
Monofásica	Fase-Neutro	Mínima	Fim	S_{fase}	
	Fase-Neutro	Máxima	Início	S_{fase}	

Tabela 3.14: Verificação da Protecção Contra Curto-circuitos por Disjuntores: Tabela de Decisão, Quadro 32 [4]

Sabendo o tipo da corrente de curto-circuito, se é máxima ou mínima e o ponto da canalização onde é calculado, seguem-se as seguintes expressões de cálculo para um curto-circuito Fase-Neutro, Fase-Fase e Trifásico:

$$I_{ccFN} = \frac{c \times U_{ns}}{R_F + R_N} \quad (3.15)$$

$$I_{ccFF} = \frac{c \times U_{nc}}{R_F + R_F} \quad (3.16)$$

$$I_{cc3F} = \frac{c \times U_{ns}}{Z_{T_k}} \quad (3.17)$$

Em que:

- c - coeficiente aplicado à tensão com valor 0,95 para CC mínimo, 1 para CC máximo;
- U_{ns} - valor da tensão nominal simples, expressa em V;
- U_{nc} - valor da tensão nominal composta, expressa em V;
- R_F - resistência do condutor fase calculada desde a origem até ao local de defeito, expressa em Ω ;
- R_N - resistência do condutor neutro calculada desde a origem até ao local de defeito, expressa em Ω ;
- Z_T - valor total da impedância por fase desde a origem até o ponto k, expressa em Ω .

Os valores a considerar para as resistências dependem da natureza do curto-circuito, isto é, num curto-circuito máximo iremos considerar a temperatura de 20°C visto que os valores serão

os mais baixos possíveis, resultando numa intensidade de corrente maior. Para os curtos-circuitos mínimos a temperatura será a máxima em CC tal como indicado na tabela 2.2. É importante também referir a consideração da impedância do transformador do Posto de Transformação na realização deste processo.

3.8.2 Tempo de proteção

A operação desses dispositivos é definida por uma curva tempo/corrente, que indica o tempo de atuação correspondente para cada valor de intensidade de corrente. Dessa forma, o calibre ou valor nominal representa a capacidade do dispositivo de proteção que ele pode suportar de maneira contínua sem desarmar.

Portanto, para qualquer valor de corrente de curto-circuito que possa ocorrer na instalação, é necessário garantir que o tempo de atuação do dispositivo de proteção seja inferior ao tempo necessário para que o condutor comece a degradar, ou seja, ao tempo de fadiga térmica da canalização.

Estes dispositivos de proteção funcionam com base em dois valores de intensidade de corrente que devem ser escolhidos para proteger o condutor. Isso significa que esses dispositivos não devem desarmar se o condutor estiver transportando uma corrente inferior à corrente nominal correspondente à potência de carga. No entanto, devem identificar como sobrecorrente qualquer situação em que a corrente seja superior a esse valor. Portanto, a secção dos condutores dependerá da maior intensidade de corrente que deve ser suportada, garantindo que o dispositivo de proteção não desarme para essa corrente.

As curvas abordadas, que serão consideradas nos disjuntores, são as de tipo B, C, D, estabelecidas pela norma *IEC 60898*, e K com as características de corte segundo a norma *EN 60947.2*. Cada uma delas possui um intervalo de atuação instantâneo quando a intensidade da corrente de curto-circuito segue as seguintes condições:

- 3 a 5 vezes a corrente nominal para a curva B;
- 5 a 10 vezes a corrente nominal para a curva C;
- 10 a 20 vezes a corrente nominal para a curva D;
- 8 a 12 vezes a corrente nominal para a curva K.

Os tipo de fusíveis abordados, no dimensionamento de cabos de baixa tensão, incluem o tipo gL/gG e o aM. Ambos utilizados em diversas aplicações elétricas, cada um com características e finalidades distintas. A designação gL/gG é projetada com a capacidade de interrupção total, deste modo, funcionam para proteger desde pequenas sobrecargas (desarme mais lento) até altas correntes de curto-circuito (desarme rápido). Os fusíveis aM protegem contra curtos-circuitos com capacidade de interrupção parcial, isto é, oferecem proteção eficaz contra curtos-circuitos mas requerem um dispositivo adicional para a proteção contra sobrecargas, como um relé térmico.

Devido à complexidade da escolha do fusível adequado e ao elevado número de opções disponíveis, a nível computacional, torna-se uma tarefa complicada que não faz parte dos objetivos principais desta ferramenta. Logo, a indicação do tempo de proteção para fusíveis será responsabilidade do utilizador.

3.9 Caminhos de Cabos

Concluindo o dimensionamento de cabos de baixa tensão respeitando todas as condições de segurança e assegurando a fiabilidade do sistema elétrico segue-se o dimensionamento dos caminhos de cabos.

A importância deste processo assenta em garantir que os cabos sejam protegidos, organizados, facilitar a adição ou remoção de cabos e diminuir o gasto excessivo de matérias primas, seja através de condutas ou calhas, respeitando uma variedade de critérios técnicos. Depois de determinadas as respetivas secções nominais para suportar as correntes elétricas sem sobreaquecimento, o próximo passo é projetar o caminho físico por onde os cabos serão instalados, para tal, é preciso ter noção do diâmetro exterior dos cabos. Visto que, existe uma grande variedade de produtores neste setor, o seu valor vai variar impondo uma pesquisa nos catálogos disponíveis dos maiores fabricantes como Legrand, Prysmian ou Cabelte. O objetivo será considerar o maior valor possível para salvaguardar que os cabos passem sem ultrapassar a taxa de ocupação mínima. A taxa de ocupação é o valor estabelecido pelo utilizador da percentagem da secção total do caminho (tubos, condutas, calhas, caminhos de cabos perfurados ou não perfurados, escadas ou consolas) a ocupar pelos cabos.

A lista de cabos da tabela 3.15 foi fornecida pelo orientador como ponto de referência dado que é usada pelos engenheiros da SISINT para a realização dos projetos. No entanto, como apenas representa cabos multicondutores, foi reunida uma lista de cabos monofásicos para o pior caso possível, listado no catálogo de cabos de baixa tensão da Prysmian, na tabela 3.16.

A diferença entre cabos de alumínio ou cobre, PVC ou XLPE, com ou sem armadura será ignorada e apenas se considerará estes valores, por outro lado, existe a possibilidade de edição dos dados para resultados mais precisos.

Código	Diâmetro (mm)
2x1.5	11
3x1.5	11.2
4x1.5	12.5
5x1.5	12.9
2x2.5	12.2
3x2.5	12.8
4x2.5	13.5
5x2.5	14.7
2x4	13.1
3x4	13.7
4x4	14.8
5x4	16.35
2x6	14.1
3x6	14.8
4x6	17.3
5x6	18.39
2x10	16.1
3x10	17.9
4x10	19.3
5x10	20.91
2x16	19
3x16	20
4x16	22
5x16	25.19
2x25	20
3x25	23
4x25	25
5x25	29

Código	Diâmetro (mm)
2x35	22
3x35	26
4x35	28
5x35	33
2x50	25
3x50	28
4x50	31
5x50	38
2x70	28
3x70	32
4x70	37
5x70	43
2x95	32
3x95	37
4x95	40
5x95	52
2x120	35
3x120	40
4x120	46
5x120	56.7
2x150	37
3x150	45
4x150	49
5x150	64.31
2x185	43
3x185	49
4x185	55
5x185	64.6
2x240	48
3x240	56
4x240	62
5x240	73.8
2x300	50
3x300	59
4x300	66
3x400	65
4x400	76.6

Tabela 3.15: Diâmetro do cabo multicondutor de acordo com a seção transversal

Código	Diâmetro (mm)
1x1.5	6.9
1x2.5	7.5
1x4	8.5
1x6	9.3
1x10	11.1
1x16	11.3
1x25	13.3
1x35	14.8
1x50	17.7
1x70	19.5
1x95	21.3
1x120	23.2
1x150	25.6
1x185	27.6
1x240	30.3
1x300	32.8
1x400	37.3
1x500	33.8
1x630	39.3
1x800	43.1

Tabela 3.16: Diâmetro do cabo monocondutor de acordo com a secção transversal

Acedendo ao diâmetro exterior dos cabos, é necessário saber a área total do caminho de cabos. Para as condutas foi utilizada uma lista fornecida pelo orientador usada nos projetos da SISINT representada pela tabela 3.17. Para as calhas retiraram-se valores de calhas e caminhos de cabos perfurados presentes no catálogo da Schneider Electric, tabela 3.18. A metodologia usada para outros casos é a mesma e existe a possibilidade de adicionar/eliminar caminhos das listas, contudo, é importante acrescentar na tabela correta dependendo se é circular ou não circular.

Código	Diâmetro Interior (mm)
D110-1	102
D110-2	103
D150	150
D188	188

Tabela 3.17: Dimensões condutas circulares

Código	Largura (mm)	Profundidade (mm)
KNA40ED4306	92	27.5
CSU4718210	100	30
CSU4718215	150	30
CSU4718220	200	30
CSU4718230	300	30
CSU4718306	60	60

Tabela 3.18: Dimensões condutas não circulares

Feita a escolha por parte do utilizador do tipo de caminho, as equações utilizadas para calcular a secção total em condutas circulares 3.18 e para condutas não circulares 3.19 são as seguintes:

$$S_T = \left(\frac{d}{2}\right)^2 \times \pi \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3.18)$$

$$S_T = l \times p \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3.19)$$

Em que:

- d - diâmetro, expresso em mm;
- l - largura, expressa em mm;
- p - profundidade, expressa em mm.

De seguida, procede-se ao cálculo da área total ocupada pelos cabos. Com a informação organizada sobre todos os cabos que vão percorrer um dito percurso, é possível seguir a seguinte função:

$$S_{cabos} = \sum \left(\frac{d_i}{2}\right)^2 \times \pi \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3.20)$$

No caso de cabos multicondutores será calculada a área de apenas um cabo, ou, caso se aplique, do número de cabos utilizados por fase. Para cabos monocondutores será calculada a área por cada cabo monocondutor utilizado no circuito em questão.

Com o valor da taxa de ocupação introduzida pelo utilizador é possível deduzir o número de caminhos de cabos necessário. Existem dois valores possíveis, uma taxa de ocupação para condutas circulares e outra para condutas não circulares, isto deve-se ao facto de que nas condutas circulares os cabos estarão dispostos de uma forma mais "livre", logo, é necessário mais espaço para permitir flexibilidade aos cabos nas curvas e, devido à natureza da sua disposição, melhorar a gestão de calor. As equações 3.21, 3.22 representam o cálculo de área útil dos caminhos de cabos.

$$S_{util} = t_{occ} \times S_T \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3.21)$$

$$S_{util} = t_{enc} \times S_T \text{ (mm}^2\text{)} \quad (3.22)$$

Em que:

- t_{oc} - taxa de ocupação para condutas circulares
- t_{enc} - taxa de ocupação para condutas não circulares

De seguida, calcula-se o próximo valor inteiro resultante da divisão entre a secção total ocupada pelos cabos e a secção útil do caminho escolhido tal como representado na equação 3.23.

$$N_c = \left\lceil \frac{S_{cabos}}{S_{util}} \right\rceil \quad (3.23)$$

Por fim teremos o número necessário de elementos para integrar os cabos todos que passam num específico percurso.

Capítulo 4

Ferramenta Computacional em Excel

Conciliando tudo o que foi apresentado nos capítulos anteriores desenvolveu-se uma ferramenta capaz de auxiliar os engenheiros responsáveis pelo dimensionamento dos projetos de instalações elétricas em baixa tensão. O principal objetivo da presente dissertação é a automatização destes processos reduzindo a sua complexidade e o tempo necessário para tal, sem esquecer a eventual ocorrência de erros por parte do utilizador, permitindo a qualquer momento alterar as cargas, métodos de instalação, número de cabos paralelos, proteções ou caminhos de cabos.

4.1 Plataforma e Linguagem de Programação

Visto ser uma das plataformas mais utilizadas e com a qual a maioria dos engenheiros está familiarizada, permitindo uma compreensão mais rápida e eficaz, a ferramenta foi desenvolvida em Excel, referindo também o desenvolvimento de uma ferramenta similar anteriormente por parte da empresa, contudo por finalizar e com algumas gralhas.

Assim sendo, a linguagem de programação utilizada é o *Visual Basic For Applications* (VBA), que permite a criação de funções, macros e caixas de texto, caso seja necessário expor algum tipo de informação ao utilizador, e também a possibilidade de programação de uma resposta caso ocorra alteração de dados numa folha em posições específicas. Aliando isto à capacidade de organização de dados e listas de validação incluídas no Excel, o potencial de construir uma ferramenta capaz de satisfazer todas as necessidades e objetivos da empresa é grande.

4.2 Arquitetura da ferramenta computacional

A ferramenta é composta por quatro partes e duas opções de exportação. A forma como se influenciam umas às outras será explicada posteriormente.

A primeira parte incide sobre as características da rede e dados gerais da instalação como valor máximo para quedas de tensão, características ambientais, especificações do transformador e da rede, tempo máximo de proteção a considerar e dados relativos aos condutores.

A segunda parte aborda todos os tópicos referentes ao dimensionamento das canalizações elétricas indicados no capítulo 3 até às condições de sobrecarga, excluindo o cálculo e verificação do valor de queda de tensão. Ou seja, é onde são inseridas as informações do cabo, as cargas, o tipo de proteção do circuito, o método de instalação, os dados necessários para o cálculo do fator de correção K2, o comprimento do cabo, a existência ou não de neutro/terra e são calculados todos os valores para averiguar a secção nominal do cabo, I_z ou I'_z e verificadas todas as condições (excepto as referentes à queda de tensão e curto-circuito).

Na terceira parte, são carregados os dados dos circuitos dimensionados na parte anterior e trata de calcular os valores das resistências lineares, reactâncias, quedas de tensão, correntes de curto-circuito máximas e mínimas e tempo de fadiga térmica para cada um. Para além disso, confirma a condição de queda de tensão, isto é, se os valores estão dentro dos limites e é a parte onde é seleccionado o tipo de curva juntamente com o cálculo do tempo de proteção e a verificação das condições de proteção contra curtos-circuitos.

A quarta parte no processo de dimensionamento é os caminhos de cabos, onde os percursos especificados na segunda parte serão organizados de modo a compreender quais são os circuitos que o percorrem. Posto isto, são indicadas as taxas de ocupação, calculada a secção total ocupada pelos cabos em cada percurso e a seleção do caminho de cabo resultando no número de caminhos necessários para aquele percurso incluir todos os cabos garantindo a segurança e fiabilidade do sistema.

Existe ainda duas funcionalidades adicionais para a produção de uma lista com a informação mais relevante sobre os cabos dimensionados e uma lista DGEG. Ambas podem ser exportadas em forma de PDF.

O esquema da figura 4.1 demonstra a forma como cada parte se relaciona entre si e qual o modo mais correto a proceder.

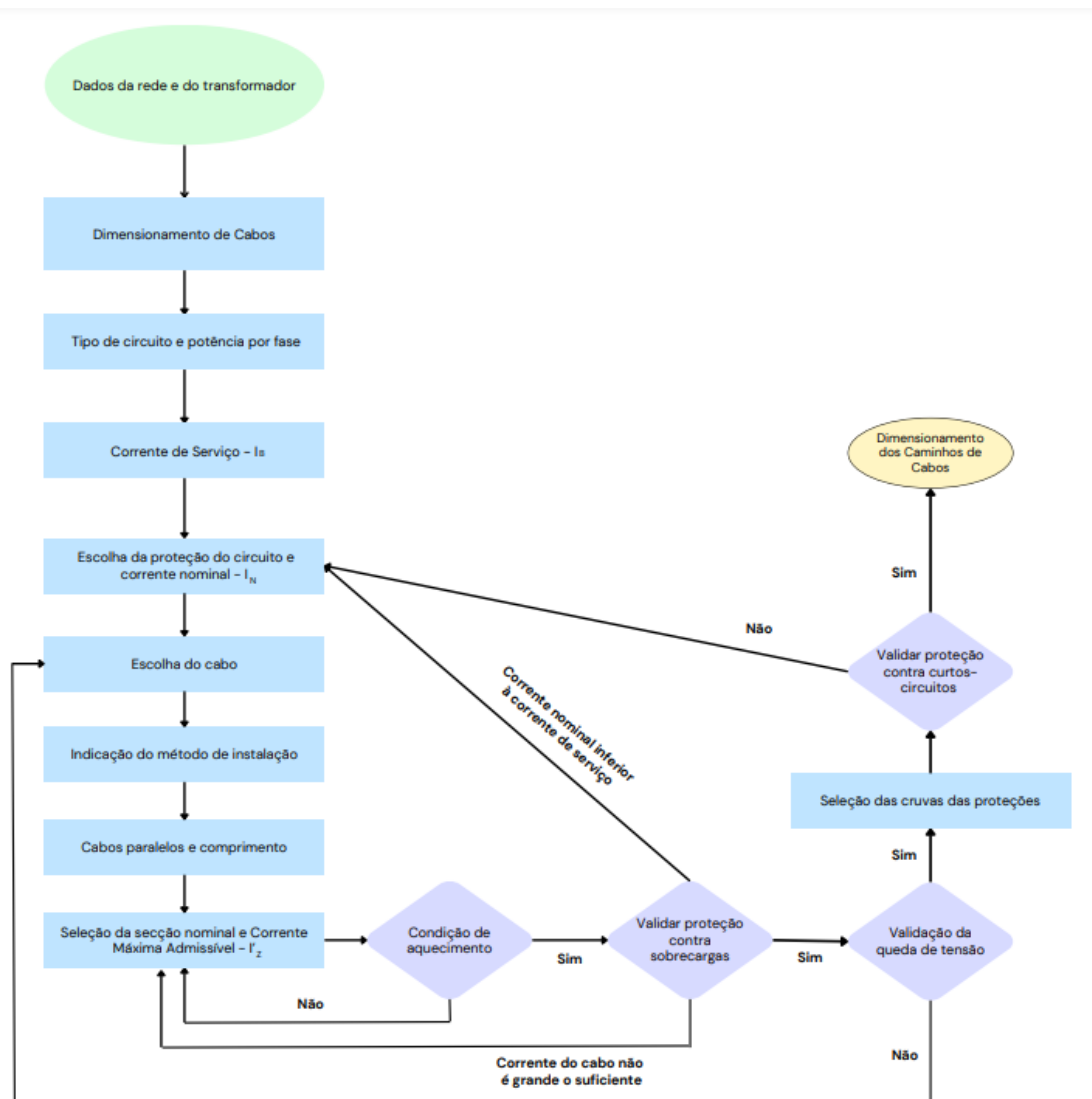


Figura 4.1: Fluxograma da ferramenta computacional

4.3 Características da Rede e Dados Gerais da Instalação

Tal como referido na secção anterior, esta primeira secção é onde serão inseridos os dados gerais da rede aplicados nos cálculos de todos os cabos tal como mostra a figura 4.2.

CONDIÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DA REDE BT		
Quedas de tensão <	5	%
Perdas de Potência <	3	%
Tensão Trifásica	400	
Tensão Monofásica	230	
Temperatura Ambiente	40	
Temperatura do Solo	30	
Resistividade térmica do terreno	2.00	
Factor Lambda (λ)	0.08000	Ω/km
Scc Rede	469	MVA
Tensão Rede	0.400	kV
Xr	0.34133	m Ω
Potência Transformador	160000	VA
Ucc	4	%
Xt	0.040	Ω
Tempo Máximo de Proteção	3	s

Figura 4.2: Dados da rede, transformador e ambiente

As células preenchidas a amarelo são aquelas que o utilizador deve de editar em caso de necessidade. Como é possível verificar, são abordados parâmetros como a queda de tensão e a perda de potência máxima, os valores nominais da tensão para circuitos monofásicos e trifásico, temperatura ambiente e do solo, resistividade térmica do solo, que irá depender do terreno e aplicado apenas em circuitos enterrados (valores de referência indicados nas tabelas 3.2, 3.3 e 3.4), factor lambda que será utilizado como valor da reactância caso necessário, características da rede como a potência de curto-circuito e a tensão da rede em kV (lado BT), este valor será considerado para o cálculo da impedância do transformador (X_r e X_t), especificações do transformador e, por último, o tempo máximo de proteção. Normalmente, este último indicador é cinco segundos contudo pode ser alterado para corresponder às necessidades.

Adicionalmente, propriedades relativas aos condutores são muito importantes de recolher (figura 4.3), mais especificamente o tipo de cobre que será usado, percentagem da correção do cabo, profundidade de enterramento e o comprimento da ponta do cabo. Normalmente o tipo de cobre será o normal nos casos em que esta ferramenta será utilizada, no entanto existe a opção de cobre estanhado. Os outros valores são importantes no cálculo da distância total de cabo necessário.

TIPO DE COBRE	CORREÇÃO COMP. CABO
Cobre normal	5%
PROFUND. ENTERRAMENTO	COMPRIMENTO PONTA (m)
0.80	1

Figura 4.3: Dados dos condutores

4.4 Dimensionamento dos cabos

A segunda parte é onde o utilizador começa a dimensionar individualmente os cabos do projeto sendo que as células a azul são aquelas onde são inseridos os dados e as células amarelas contêm as funções correspondentes tornando a ferramenta intuitiva e eficiente.

4.4.1 Botões e "semáforo" Quedas de Tensão/ Curto-Circuito

No topo da página, a ferramenta possui dois botões e uma célula preenchida com o intuito de indicar se a página das quedas de tensão e cálculo de curto-circuito está atualizada com as informações dos cabos. Caso esteja desatualizado a célula fica a vermelho.



Figura 4.4: Botões e Semáforo para o Dimensionamento de Cabos

Após pressionar o primeiro botão surge um formulário disponível na figura 4.5 que permite criar um novo cabo de raiz ou copiar um dos existentes. Caso seja introduzido um número não válido, aparece uma caixa de texto com o aviso "Insira um número válido!" e nada acontece.

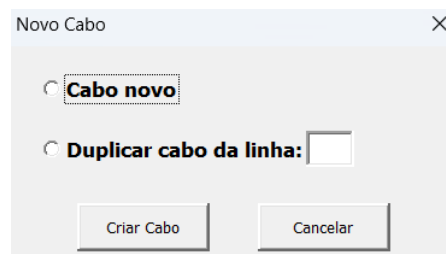
The image shows a dialog box titled 'Novo Cabo' with a close button (X) in the top right corner. It contains two radio button options: 'Cabo novo' and 'Duplicar cabo da linha:'. Below these options are two buttons: 'Criar Cabo' and 'Cancelar'.

Figura 4.5: Formulário para adição de cabos

Clicando no segundo botão surge o formulário da figura 4.6 e caso seja introduzido um valor abaixo ou acima das linhas dos cabos nada acontecerá e uma caixa de texto aparecerá para indicar se o valor excede ou é demasiado baixo.

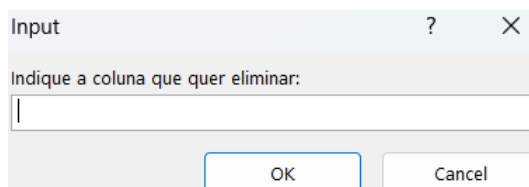
The image shows a dialog box titled 'Input' with a question mark icon and a close button (X) in the top right corner. It contains a text input field with the placeholder text 'Indique a coluna que quer eliminar:'. Below the input field are two buttons: 'OK' and 'Cancel'.

Figura 4.6: Formulário para apagar cabos

4.4.2 Dados do circuito

O primeiro passo é preencher os dados da canalização elétrica, nomeadamente, a origem, o destino, o número de identificação do circuito e o código do percurso para que depois possam ser organizados e dimensionar os caminhos de cabos. O fator "Entrada" tem como objetivo indicar ao sistema se o cabo funciona como entrada de um quadro geral ou não. Isto é necessário para que nos cálculos das quedas de tensão o programa saiba que cabos pode escolher até chegar à origem do circuito.

Percurso		Entrada (S ou N)	Nº de Identificação	Código do Percurso
De	Para			
Origem	*Destino*	Selecione!	*Circuito*	*Percurso*

Figura 4.7: Campos a preencher com os dados do circuito

4.4.3 Tipo, potência e fatores importantes

Nos campos da figura 4.8 escolhe-se o tipo de circuito (Trifásico ou Monofásico), os valores das cargas a alimentar por cada fase, o fator de simultaneidade, que como referido na secção 3.2 é unitário, e o fator de potência. As células a amarelo abaixo da linha representam a soma total dos valores dessa mesma coluna de forma a saber se as cargas estão equilibradas ou não. Deste modo, o projetista pode decidir mais facilmente em que fase colocar as cargas.

Tipo de Circuito	Potência p/ fase			Fatores de Correção	
	L1 (W)	L2 (W)	L3 (W)	Simultanea dade	Fator de Potência
Selecione!	0	0	0	1	1
	0	0	0		

Figura 4.8: Tipo, potência, fator de simultaneidade e fator de potência

Quando é selecionado o tipo "Monofásico", caso o utilizador preencha mais do que uma fase, irá aparecer uma caixa de texto avisando "Tipo de circuito escolhido é monofásico, preencha apenas uma coluna das fases.". Quando é trifásico e o utilizador não preencher as três o aviso é "Complete os valores de potência por fase.".

4.4.4 Potência aparente, Proteção do circuito e Corrente de serviço

Nesta secção será dimensionada a proteção do circuito e calculada a corrente máxima de serviço.

S (VA)	PROTEÇÃO DO CIRCUITO		
	Tipo	Corrente Nominal (In)	Corrente Máxima de Serviço (Is)
0	Selecione!	0	0

Figura 4.9: Campos da potência aparente, proteção do circuito e corrente de serviço na ferramenta

4.4.5 Informações do cabo

O próximo passo é indicar as especificações do cabo a dimensionar, deste modo, ao selecionar uma célula surge uma lista de opções. A figura 4.10 mostra os campos a selecionar sendo que para o tipo de cabo existem as seguintes opções:

- Cobre, PVC, monocondutor
- Cobre, PVC, multicondutor
- Cobre, XLPE, monocondutor
- Cobre, XLPE, multicondutor
- Alumínio, PVC, monocondutor
- Alumínio, PVC, multicondutor
- Alumínio, XLPE, monocondutor
- Alumínio, XLPE, multicondutor

Para a armadura seleciona-se entre "Sim" ou "Não", a alma consiste nas opções "Classe 1 ou 2" ou "Classe 5 ou 6", sendo que se o material for alumínio não existe a segunda opção. O modo de instalação do cabo é escolhido como explicado na secção 2.2. Caso não seja necessário o campo "Configuração", este desaparecerá. Por fim, no campo "Letra" está inserida uma função que gerará a letra correspondente ao método de referência.

Tipo de cabo	Armadura	Alma	Modo de Instalação do Cabo		Configuração	Letra
			Método	Situação		
Selecione!	Selecione!	Selecione!	Selecione!	Selecione!	-	-

Figura 4.10: Parâmetros a preencher sobre o cabo

Existem alguns métodos de instalação restringidos apenas a certos tipos de circuito e de cabo como é o caso de cabos sobre-isoladores e auto-suportados. Deste modo, surge, respetivamente, as seguintes caixas de texto "Método de Instalação apenas funciona com 3 cabos mono-condutores carregados!" e "Modo de Instalação do Cabo, para mono-condutor, apenas funciona com 3 condutores carregados!".

4.4.6 Caminhos/ Cabos paralelos e cálculo de distâncias

Nesta secção introduz-se os dados necessários para o cálculo do fator de correção K2. A primeira célula é utilizada apenas no caso do método de instalação ser caminhos de cabos de forma a considerar aqueles que estão em paralelo. Na seguinte, indicam-se os cabos paralelos que irão percorrer o mesmo percurso e afetam o fator K2. Depois, segue-se a indicação da distância entre a origem e o destino para o cálculo da distância total por fase considerando se é monofásico ou trifásico e os dados introduzidos na secção 4.3. Sobram, para preencher, dois dados. Um deles referentes ao número de cabos por fase a utilizar neste circuito, isto é, pode-se alimentar uma carga com mais do que um cabo e a ferramenta irá calcular a secção mínima adequadamente e o outro aparece apenas para cabos enterrados de forma a indicar a distância entre os cabos para aplicar no fator K2. No fim, será calculada a distância total de cabo necessária. As células a amarelo abaixo da linha é a soma total dos valores dessa mesma coluna.

Número de caminhos paralelos	Número de cabos paralelos presentes	L (m)	L Total p/ fase (m)	Nº Cabos p/ fase	Distância entre cabos	L Total (m)
-	0	0	0	0	-	0
		0				0

Figura 4.11: Campos para caminhos/ cabos paralelos e distâncias

4.4.7 Cálculo da Secção e Corrente máxima admissível

Seguidamente, são feitos os cálculos da corrente de serviço por fase, é analisada a secção mínima que satisfaz a corrente anterior e respetiva corrente máxima do cabo resultando na corrente máxima admissível da canalização elétrica (I_z). Caso a corrente de serviço seja superior à corrente I_z , surgirá uma caixa de texto indicando "Método de instalação tem um limite de X A" sendo que X é o valor máximo tabelado pela norma.

Recalcular secções			
Reset seccao			
I_s p/ cabo (A)	Secção (mm ²)	I_{max} p/ cabo (A)	I_{max} Total do cabo (A)
0	0	0	0

Figura 4.12: Secção de cálculo das correntes e secção na ferramenta

Tal como é esperado, por vezes o valor mínimo da secção não satisfaz todas as condições do capítulo 3. O botão "Recalcular secções" analisa quais os cabos que não estão bem dimensionados e volta a correr as funções até que todas as condições estejam satisfeitas mudando a cor para um

amarelo mais claro. O utilizador pode ainda inserir um valor de secção livremente. Consequentemente, a cor da célula muda para azul e é ajustado o valor da corrente máxima do cabo. Para reverter a inserção manual da secção de um cabo basta usar o botão "Reset secção" e irá surgir o formulário da imagem 4.13 para indicar a linha a restaurar.

Figura 4.13: Formulário para restaurar secção do cabo

4.4.8 Definições de neutro e terra

Nesta secção é indicado o que se pretende para o condutor neutro (reduzido ou não), é calculada a respetiva secção nominal de acordo com a secção 2.1.4 caso seja reduzido e se tem ou não ligação à terra.

Neutro	Secção N (mm ²)	Terra
Selecione!	-	Selecione!
Selecione!	-	Selecione!
Selecione!	-	Selecione!

Figura 4.14: Secção para indicação de neutro e terra

4.4.9 Fatores de Correção e Corrente máxima admissível corrigida

Como é possível ver na figura 4.15, são calculados os fatores de correção K1, K2 e K3 para aplicar à corrente máxima admissível e obtemos assim I'_z .

Fatores de Correção			I max cabo (A)
K1 (temp.)	K2 (Paralelos)	K3 (resist. Term.)	
0	0	1	0
0	0	1	0
0	0	1	0

Figura 4.15: Secção dos fatores de correção e corrente máxima admissível corrigida (I'_z)

4.4.10 Verificação da condição de aquecimento e Proteção contra sobrecargas

Por último, sucede-se o cálculo de valores necessários para verificar a proteção contra sobrecargas tal como se pode ver na figura 4.16. Caso estas condições não sejam verificadas o resultado é "ERROR" com a célula preenchida a vermelho, caso contrário, é "OK" com a célula preenchida a verde.

$1,45 \times IZ$	$I2$	Condição $IB \leq IN$	Condição $IN \leq IZ$	Condição $I2 \leq 1,45 \times IZ$
0	0	ERROR	ERROR	ERROR

Figura 4.16: Secção de cálculos e verificação da condição de aquecimento e proteção contra sobrecargas

4.5 Quedas de Tensão e Curtos-Circuitos

A terceira parte da ferramenta transfere os dados da segunda para o cálculo das quedas de tensão, correntes de curto-circuito, tempos de fadiga térmica juntamente com a seleção do tipo de proteção e verificação de curtos-circuitos.

4.5.1 Botão de atualização

Este é o único botão a utilizar. Quando clicado será feita a transferência dos dados relevantes para a folha e o cálculo automático dos parâmetros através das respetivas funções. Para além disso, o semáforo indicado na secção 4.4.1 ficará a verde.



Figura 4.17: Botão para atualizar os cabos da segunda parte

4.5.2 Dados do circuito

São copiados três parâmetros da primeira parte para melhor identificar o cabo. Tal como explicado na secção 4.4.2 o campo "Entrada" será utilizado para calcular a soma das quedas de tensão.

Percurso		Entrada
De	Para	
Origem	*Destino*	Selecione!

Figura 4.18: Secção dos dados de cada cabo

4.5.3 Resistência linear e Reactância

Segue-se o cálculo das resistências lineares a diferentes temperaturas de acordo com o material e isolamento do cabo pela lógica seguida na secção 3.6.1 e a reactância.

R 20°C (Ω/km)	R Temp. Funcionamento (Ω/km)	R Temp. Máxima CC (Ω/km)	X (Ω/km)
0	0	0	0

Figura 4.19: Secção de cálculo das resistências lineares a diferentes temperaturas e reactância

4.5.4 Cálculo da queda de tensão

Reunindo todas as informações necessárias para este passo sucede-se ao cálculo das quedas de tensão. Os primeiros dois campos são referentes à queda de tensão em volts e depois em percentagem do respetivo cabo. Os dois campos seguintes são a soma total dos valores desde a origem até ao cabo (inclusive). A célula a verde indica a condição da queda de tensão. Se estiver a verde é porque a satisfaz, caso contrário, está preenchida a vermelho.

QUEDAS DE TENSÃO			
$ \Delta V $ (V)	e (%)	$\Sigma \Delta V$ (V)	Σe (%)
0	0	0	0

Figura 4.20: Secção de cálculo das quedas de tensão

4.5.5 Cálculo das correntes de curto-circuito

Tal como é possível verificar na figura 4.21 segue-se o cálculo da resistência linear máxima e mínima e a reactância do cabo. Estes valores são importantes para as impedâncias totais equivalentes máximas e mínimas usadas no cálculo da corrente de curto-circuito mínima e máxima, respetivamente.

Rmax (Ω)	Rmin (Ω)	X (Ω)	Zmax (mΩ)	Zmin (mΩ)	Icc Max (kA)	Icc Min (kA)
0	0	0	40.34133	40.34133	5.986416	5.416281

Figura 4.21: Secção de cálculo das correntes de curto-circuito máxima e mínima

4.5.6 Fadiga térmica, Proteção e verificação do curto-circuito

A figura 4.22 demonstra a última secção desta parte da ferramenta. É calculado o tempo da fadiga térmica do cabo, copiados os parâmetros da primeira parte sobre o tipo de proteção e a

corrente nominal. Seguidamente, seleciona-se o tipo de curva. Caso seja um disjuntor o tempo de proteção é calculado automaticamente, caso seja um fusível cabe ao utilizador inserir o valor do tempo de proteção. Por último, são verificadas as condições de curto-circuito sendo que o resultado será "OK" com a célula preenchida a verde na eventualidade da condição estar satisfeita, caso contrário, será "ERRO" com a célula a vermelho.

Fadiga térmica t_{FT} (s)	Tipo de Proteção	Corrente Nominal	Curva	Tempo proteção t_p (s)	Verificação curto-circuito	
					$t_p < t_{FT}$	$t_p \leq 5s$
0	Selecione!	0	Selecione!	0	-	-

Figura 4.22: Secção de cálculo da fadiga térmica, seleção da curva, tempo de proteção e condições de curto-circuito

4.6 Dimensionamento dos Caminhos de Cabos

Com o dimensionamento dos cabos feito, respeitando as regras de segurança e garantindo a fiabilidade energética das instalações elétricas, é necessário dimensionar o caminho que os cabos irão percorrer. Começa-se por indicar a taxa de ocupação a aplicar nos dois casos distintos e depois clicar no botão "Atualizar Cabos". Este botão irá transferir as informações da página de dimensionamento de cabos e organizar os cabos por código de percurso.

	Condutas	Calhas
Taxa de ocupação do projeto:	0 %	0 %
<input type="button" value="Atualizar Cabos"/>		

Figura 4.23: Taxas de ocupação e botão para dimensionamento dos caminhos de cabos

As informações disponíveis para cada percurso são os números de identificação dos cabos, o número de cabos e a secção total ocupada pelos cabos. O próximo passo é selecionar o tipo de conduta/calha e a célula seguinte contém a função que indicará o número de elementos necessários para que todos os cabos passem naquele percurso. Na circunstância em que o utilizador se esqueceu ou eliminou os valores das taxas de ocupação, caso esta seja necessária para os cálculos, surgirá uma caixa de texto com o seguinte "Indique a taxa de ocupação das condutas!" ou "Indique a taxa de ocupação das calhas!".

Código do Percurso	Nº de Identificação	Nº Cabos	Secção Total Ocupada (mm ²)	Tipo de Conduta/Calha	Nr
Percurso	*Circuito*	0	0	Selecione!	0

Figura 4.24: Secções para o dimensionamento dos caminhos de cabos

4.7 Lista final de cabos

Com o dimensionamento da instalação elétrica finalizado existe a possibilidade de exportar os dados mais relevantes, como demonstra a figura 4.25, para um ficheiro em PDF. Campos como o tipo e a descrição são inseridos manualmente pelo utilizador.

O botão "Fazer lista" copia os respetivos dados dos cabos e o botão "Exportar PDF" cria um ficheiro PDF e exporta-o para a pasta Documentos do computador.

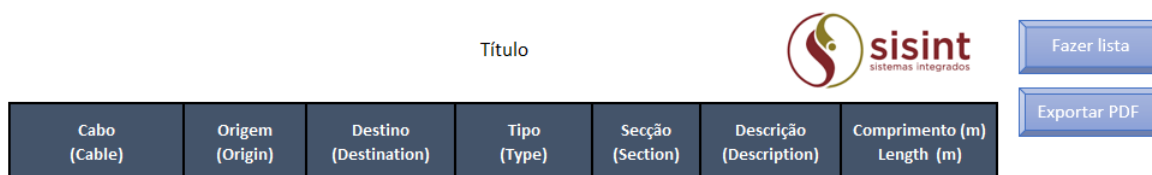


Figura 4.25: Secção para fazer e exportar a lista final de cabos

4.8 Lista DGEG

Outra opção de exportação é um ficheiro com a caracterização sumária da rede baixa tensão dimensionada de acordo com a Direção Geral de Energia e Geologia. O botão "Fazer lista" apenas copia e preenche os dados dos cabos disponíveis para o segmento "Dimensionamento das Canalizações". Informações como o "Esquema de Neutro", "Proteção defeitos à terra", "Canalização", "Pdc" e "Regulação" são preenchidos manualmente pelo utilizador tal como o ponto 1 e 3 da figura 4.26. O botão "Exportar PDF" cria um ficheiro PDF e exporta-o para a pasta Documentos do computador.

CARACTERIZAÇÃO SUMÁRIA DA REDE BT																					
1 Características da rede																					
Origem da alimentação		Esquema de neutro		Tensão nominal [kV] 0.4		Tipo de linha (aérea/subterrânea)		Configuração (anel/radial)		L total [m]											
2 Dimensionamento das Canalizações																					
Quadros elétricos (origem - destino)	Esquema de neutro	S [kVA]	Ib [A]	Tipo de proteção	In [A]	I2 [A]	Proteção defeitos à terra [A]/[V]	Canalização	L [m]	ΔU [%]	$\Delta U'$ [%]	Icc máx [kA]	Pdc [kA]	Icc min [kA]	Regulação [kA]						
3 Classificação dos equipamentos e dos locais onde estão inseridos																					
Equipamentos elétricos		IP	IK	Código da influência externa																	
				AA	AD	AE	AF	AG	AH	AJ	AK	AL	AN	AP	AR	CB	BB	BC	BD	BE	CA

Copiar Cabos

Exportar PDF

Figura 4.26: Secção para fazer e exportar a lista DGEG

Capítulo 5

Exemplo de dimensionamento

Neste capítulo será dado um exemplo utilizando a ferramenta num caso de dimensionamento de cabos de baixa tensão e respetivos caminhos de cabos.

5.1 Características da rede, ambientais e dos condutores

O primeiro passo para o dimensionamento é indicar as características descritas na secção 4.3. Neste caso serão utilizados os valores presentes na figura 5.1 e 5.2.

CONDIÇÕES PARA DIMENSIONAMENTO DA REDE BT		
Quedas de tensão <	5	%
Perdas de Potência <	3	%
Tensão Trifásica	400	
Tensão Monofásica	230	
Temperatura Ambiente	40	
Temperatura do Solo	30	
Resistividade térmica do terreno	1.00	
Factor Lambda (λ)	0.08000	Ω/km
Scc Rede	469	MVA
Tensão Rede	0.400	kV
Xr	0.34133	m Ω
Potência Transformador	160000	VA
Ucc	4	%
Xt	0.040	Ω
Tempo Máximo de Proteção	5	s

Figura 5.1: Características da rede e ambientais usadas no caso prático

5.2 Características da instalação elétrica a dimensionar

Neste caso prático serão dimensionados os cabos que irão conduzir a corrente elétrica para uma estação de carregamento de veículos elétricos desde o Posto de Transformação. O Quadro

TIPO DE COBRE	CORREÇÃO COMP. CABO
Cobre normal	5%
PROFUND. ENTERRAMENTO	COMPRIMENTO PONTA (m)
0.80	1

Figura 5.2: Característica dos condutores no caso prático

Geral de Baixa Tensão estará a 50 metros do PT dimensionado para uma potência de 50 kW de entrada. Os carregadores a alimentar são os seguintes:

- Carregador de Veículos Elétricos 1:
 - Tipo: Trifásico
 - Potência: 15 000 W
 - Fator de potência: 0.9
- Carregador de Veículos Elétricos 2:
 - Tipo: Monofásico
 - Potência: 5 000 W
 - Fator de potência: 0.9

5.3 Dimensionamento dos cabos

Na figura 5.3 é possível ver como se comporta a ferramenta ao introduzir os dados iniciais. O semáforo está a vermelho e são feitos os cálculos da potência ativa total por fase e a potência aparente por cabo.

New Cable

Delete Cable

Atualização Quedas de Tensão e Cálculo de CC

Percurso		Entrada (S ou N)	Nº de Identificação	Código do Percurso	Tipo de Circuito	Potência p/ fase			Fatores de Correção		S (VA)
De	Para					L1 (W)	L2 (W)	L3 (W)	Simultaneidade	Fator de Potência	
PT	QGBT	Sim	circ1	A1	Trifásico	50000	50000	50000	1	1	150000
QGBT	QCVE	Sim	circ2	A2	Trifásico	20000	20000	20000	1	0.8	75000
QCVE	CVE1	Não	circ3	A3	Trifásico	15000	15000	15000	1	0.9	50000
QCVE	CVE2	Não	circ4	A3	Monofásico	0	5000	0	1	0.9	5555.56
						85000	90000	85000			

Figura 5.3: Informações dos cabos na ferramenta até o cálculo da potência aparente

Com o valor da corrente de serviço dimensiona-se a proteção tal como mostra a figura 5.4.

O utilizador prossegue a selecionar o tipo de cabo que pretende colocar e o método de instalação definido pelo projetista como na figura 5.5.

Posteriormente, preenche-se os campos presentes na figura 5.6 para calcular o fator de correção K2, a distância entre a origem e o destino e o número de cabos por fase. Como o primeiro cabo é enterrado é necessário escolher a distância entre os cabos.

PROTEÇÃO DO CIRCUITO		
Tipo	Corrente Nominal (In)	Corrente Máxima de Serviço (Is)
Disjuntor	250	216.5063509
Disjuntor	110	108.2531755
Disjuntor	80	72.16878365
Disjuntor	25	24.15458937

Figura 5.4: Proteção do circuito no caso prático

Com todos os dados reunidos a ferramenta calcula a secção mínima para satisfazer a corrente de serviço. Contudo, as condições da figura 5.8 não são cumpridas. Ao clicar no botão "Recalcular Secção" a ferramenta recalcula a secção tendo em conta as condições e garantindo o correto dimensionamento do cabo. O próximo passo é seleccionar o tipo de neutro e terra. A figura 5.7 representa também os fatores de correção aplicados e a corrente máxima admissível corrigida. Por fim, conforme ilustrado na figura 5.8, as correntes para a condição de sobrecarga são calculadas e as condições de sobrecarga são verificadas.

Tipo de cabo	Armadura	Alma	Modo de Instalação do Cabo		Configuração	Letra
			Método	Situação		
Cobre, XLPE, Mono-condutor	Sem	Classe 1 ou 2	Condutas circulares	Enterradas	-	D1
Cobre, PVC, Multi-condutor	Com	Classe 1 ou 2	Fixação direta	À vista	Parede/Piso	C
Cobre, PVC, Multi-condutor	Com	Classe 1 ou 2	Caminhos de cabos	Perfurados	S/ afast H	E2
Alumínio, PVC, Multi-condutor	Com	Classe 1 ou 2	Caminhos de cabos	Perfurados	Afast D.Cabo H	E1

Figura 5.5: Características dos cabos no caso prático

Número de caminhos paralelos	Número de cabos paralelos presentes	L (m)	L Total p/ fase (m)	Nº Cabos p/ fase	Distância entre cabos	L Total (m)
-	0	10	12.5	2	juntos	50
-	0	50	54.5	1	-	109
2	8	25	28.25	1	-	56.5
2	8	25	28.25	1	-	56.5
		110				272

Figura 5.6: Campos para cabos/caminhos em paralelo e distâncias no caso prático

Is p/ cabo (A)	Secção (mm ²)	I max p/ cabo (A)	I max Total do cabo (A)	Neutro	Secção N (mm ²)	Terra	Fatores de Correção			I max cabo (A)
							K1 (temp.)	K2 (Paralelos)	K3 (resist. Term.)	
108.2532	70	167	334	Sim	70	Sim	0.93	0.8	1.18	293.2253
108.2532	50	144	144	Sim (Reduzido)	25	Sim	0.87	1	1	125.28
72.16878	50	153	153	Sim	50	Sim	0.87	0.68	1	90.5148
24.15459	6	39	39	Sim	6	Sim	0.87	0.87	1	29.5191

Figura 5.7: Cálculo de correntes, secção nominal, seleção de neutro e terra, fatores de correção e corrente máxima admissível dos cabos no caso prático

1,45xI _Z	I ₂	Condição I _B ≤ I _N	Condição I _N ≤ I _Z	Condição I ₂ ≤ 1,45xI _Z
425.177	325	OK	OK	OK
181.656	159.5	OK	OK	OK
131.246	116	OK	OK	OK
42.8027	36.25	OK	OK	OK

Figura 5.8: Informações da ferramenta até o cálculo da potência aparente

5.4 Verificação das quedas de tensão e curtos-circuitos

Na próxima folha da ferramenta basta clicar no botão "Atualizar Cabos" para copiar as informações dos cabos. Automaticamente serão feitos todos os cálculos como demonstrado nas figuras 5.9, 5.10, 5.11 e 5.12 restando apenas selecionar o tipo de curva da proteção tal como indicado na seção 3.8.2.

Se todas as células estiverem a verde significa que todas as condições são respeitadas e conclui-se, assim, o dimensionamento dos cabos de baixa tensão garantindo segurança e fiabilidade em todos os circuitos em coerência com as normas estabelecidas.

Percurso		Entrada	R 20°C (Ω/km)	R Temp. Funcionamento (Ω/km)	R Temp. Máxima CC (Ω/km)	X (Ω/km)
De	Para					
PT	QGBT	Sim	0.268	0.342102	0.511478	0.0965
QGBT	QCVE	Sim	0.387	0.4634325	0.601011	0.0779
QCVE	CVE1	Não	0.387	0.4634325	0.601011	0.0779
QCVE	CVE2	Não	4.61	5.4859	7.06252	0.0955

Figura 5.9: Dados dos cabos, cálculo das resistências lineares e reactância no caso prático

QUEDAS DE TENSÃO			
\Delta V (V)	e (%)	\Sigma \Delta V (V)	\Sigma e (%)
0.641441	0.278888	0.641441	0.278888
3.913931	1.701709	4.555373	1.980597
1.409516	0.612833	5.964888	2.59343
6.01321	2.614439	10.56858	4.595036

Figura 5.10: Quedas de Tensão no caso prático

Rmax (Ω)	Rmin (Ω)	X (Ω)	Zmax (mΩ)	Zmin (mΩ)	Icc Max (kA)	Icc Min (kA)
0.00268	0.005115	0.000965	41.30633	41.6218	5.846561	5.249653
0.01935	0.030051	0.003895	61.04446	71.92372	3.956133	3.037941
0.009675	0.015025	0.001948	70.91352	87.07468	3.405557	2.50934
0.11525	0.176563	0.002388	176.3192	248.5029	1.369675	0.879266

Figura 5.11: Resistência máxima e mínima, reactância, impedâncias equivalentes e cálculo de curtos-circuitos no caso prático

Fadiga térmica t_{FT} (s)	Tipo de Proteção	Corrente Nominal	Curva	Tempo proteção t_p (s)	Verificação curto-circuito	
					$t_p < t_{FT}$	$t_p \leq 5s$
3.635858	Disjuntor	250	Tipo D	0.01	OK	OK
3.582425	Disjuntor	110	Tipo B	0.01	OK	OK
5.250693	Disjuntor	80	Tipo D	0.01	OK	OK
0.268961	Disjuntor	25	Tipo C	0.01	OK	OK

Figura 5.12: Fadiga térmica, tempo de proteção e verificação das condições de curto-circuito no caso prático

5.5 Dimensionamento do caminho de cabos

Definindo as taxas de ocupação para cada caso, basta clicar no botão "Atualizar Cabos" para copiar as informações relevantes da parte do dimensionamento dos cabos e automaticamente calcular o número de cabos e a secção total ocupada por estes no percurso. A razão pela qual no primeiro percurso passam nove cabos deve-se ao facto de ser um cabo monocondutor com dois condutores por fase e com terra e neutro. Por último seleciona-se o tipo de conduta/calha e o programa calculará automaticamente quantos elementos serão necessários.

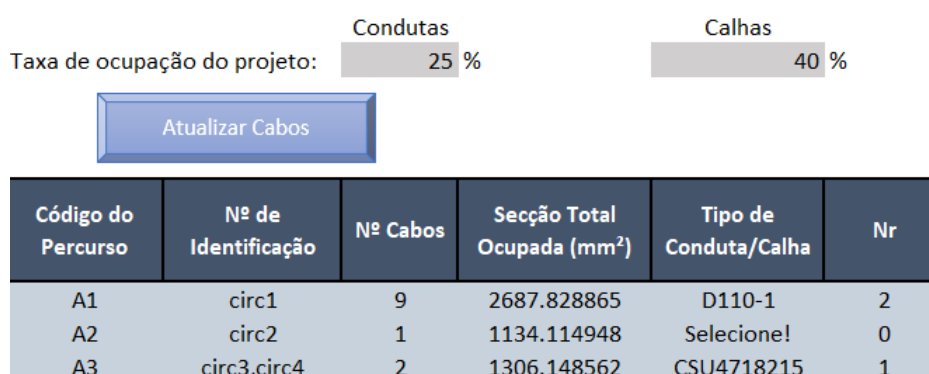



Figura 5.13: Dimensionamento dos caminhos de cabos no caso prático

5.6 Lista final de cabos no caso prático

Com o dimensionamento dos cabos de baixa tensão e caminhos de cabos finalizado é possível construir uma lista de cabos, a figura 5.14 é o resultado atingido com este exemplo.

Título



Cabo (Cable)	Origem (Origin)	Destino (Destination)	Tipo (Type)	Secção (Section)	Descrição (Description)	Comprimento (m) Length (m)
circ1	PT	QGBT		5G70		50
circ2	QGBT	QCVE		5G50		109
circ3	QCVE	CVE1		5G50		56.5
circ4	QCVE	CVE2		3G6		56.5

Figura 5.14: Exemplo da lista final de cabos

5.7 Lista DGEG caso prático

Por último, obtém-se a lista da figura 5.15 utilizando os dados inseridos neste capítulo.

CARACTERIZAÇÃO SUMÁRIA DA REDE BT																							
1 Características da rede																							
Origem da alimentação		Esquema de neutro		Tensão nominal [kV]		Tipo de linha (aérea/subterrânea)		Configuração (anel/radial)		L total [m]													
				0.4																			
2 Dimensionamento das Canalizações																							
Quadros elétricos (origem - destino)	Esquema de neutro	S [kVA]	Ib [A]	Tipo de proteção	In [A]	I2 [A]	Proteção defeitos à terra [A]/[V]	Canalização	L [m]	ΔU [%]	$\Delta U'$ [%]	Icc máx [kA]	Pdc [kA]	Icc min [kA]	Regulação [kA]								
PT-QGBT	0	150000	216.50635	Disjuntor	250	325	Valor inserido manualmente	Valor inserido manualmente	50	0.64144	0.6414	5.8466	-	5.2497	-								
QGBT-QCVE	0	75000	108.25318	Disjuntor	110	159.5	Valor inserido manualmente	Valor inserido manualmente	109	3.91393	4.5554	3.9561	-	3.0379	-								
QCVE-CVE1	0	50000	72.168784	Disjuntor	80	116	Valor inserido manualmente	Valor inserido manualmente	56.5	1.40952	5.9649	3.4056	-	2.5093	-								
QCVE-CVE2	0	5555.5556	24.154589	Disjuntor	25	36.25	Valor inserido manualmente	Valor inserido manualmente	56.5	6.01321	10.569	1.3697	-	0.8793	-								
3 Classificação dos equipamentos e dos locais onde estão inseridos																							
Equipamentos elétricos		IP	IK	Código da influência externa																			
				AA	AD	AE	AF	AG	AH	AJ	AK	AL	AN	AP	AR	CB	BB	BC	BD	BE	CA		

Figura 5.15: Lista DGEG no caso prático

Capítulo 6

Conclusões e Trabalho Futuro

6.1 Satisfação dos Objetivos

O objetivo final desta dissertação foi criar e desenvolver uma ferramenta computacional que substitua a aplicação de Microsoft Excel que a empresa atualmente usa. O trabalho apresenta o dimensionamento de cabos BT e caminhos de cabos com o propósito de automatizar esse processo, especialmente a pesquisa de tabelas de dados e os cálculos associados ao dimensionamento de cabos e, deste modo, acelerar o procedimento.

O objetivo do trabalho foi automatizar o processo de dimensionamento por meio da criação de uma aplicação computacional fácil de usar, fácil de entender e flexível. Esta aplicação pode ser atualizada conforme necessário para refletir as mudanças nos parâmetros, padrões atuais e componentes a serem dimensionados. A ferramenta permite o dimensionamento dos tipos de cabos mais utilizados e modos de instalação, bem como os respectivos caminhos de cabos.

Para começar, uma síntese sobre os cabos de baixa tensão abordou vários conceitos e atributos técnicos, além de uma introdução às várias canalizações e suas características. Em seguida, a teoria para o dimensionamento de cabos de baixa tensão foi abordada respeitando as normas IEC e outras pertinentes.

Posteriormente, uma descrição detalhada da ferramenta computacional criada foi dada. Esta é ilustrada por um fluxograma do algoritmo que foi implementado. A divisão do dimensionamento por partes, o cálculo do fator de correção do agrupamento de cabos, a automatização da pesquisa de correntes máximas admissíveis e resistências lineares com base nas características dos cabos e respectivos métodos de instalação foi uma melhoria significativa em relação à aplicação anterior. Contudo, a melhor funcionalidade, devido à sua elevada complexidade de fatores, é o cálculo da secção nominal do cabo que satisfaz todas as condições de sobreaquecimento e sobrecarga tendo em conta I'_z .

A nova ferramenta, acrescenta várias vantagens significativas para o projetista, incluindo a capacidade de alterar facilmente os parâmetros dos circuitos, garantindo todas as validações necessárias para a instalação, e a capacidade de exportar os resultados organizados diretamente, economizando tempo para o projetista.

Em resumo, o objetivo da dissertação foi criar uma ferramenta computacional eficaz e atualizável para o dimensionamento de caminhos de cabos e cabos de baixa tensão, substituindo com sucesso a aplicação do Excel que era usada anteriormente.

6.2 Trabalho Futuro

Os objetivos principais da ferramenta foram todos cumpridos, contudo, existem alguns parâmetros que podem ser melhorados como a capacidade de determinar o tempo de proteção das proteções com mais precisão, especialmente, no caso de fusíveis. Outro aspecto a melhorar é a funcionalidade de equilibrar as cargas das fases automaticamente.

Referências

- [1] Direção Geral da Energia. Regras técnicas de instalações elétricas de baixa tensão, 2000.
- [2] Direção-Geral de Energia e Geologia (DGEG). *Regulamento de Segurança de Instalações de Utilização de Energia Elétrica*, 2017. Decreto-Lei n.º 96/2017 de 10 de agosto.
- [3] J. Neves dos Santos. Condutores e cabos de energia, Novembro 2005.
- [4] J. Neves dos Santos. Tabelas, regras e dados diversos (para o dimensionamento de canalizações elétricas), outubro 2009.
- [5] indusmelec. Caderno 15 - nomenclatura de cabos elétricos, junho 2016.
- [6] SOLIDAL S.A. E QUINTAS & QUINTAS S.A. Guia técnico solidal, Maio 2007.
- [7] ABB SACE. Electrical installation handbook volume 2, 2004.
- [8] João Paulo Tomé Saraiva. Dimensionamento e protecção de canalizações elétricas de baixa tensão, setembro 2000.
- [9] Schneider Electric Industries SAS. Electrical installation guide 2018, setembro 2018.