



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Tiago Martins Lima

**Aplicação de *software* para  
dimensionamento de instalações elétricas  
de baixa tensão**

Junho de 2022



**Universidade do Minho**

Escola de Engenharia

Tiago Martins Lima

**Aplicação de *software* para  
dimensionamento de instalações elétricas  
de baixa tensão**

Dissertação de Mestrado

Mestrado Integrado em Engenharia Mecânica

Trabalho efetuado sob a orientação do

**Professor Doutor Nuno Miguel Magalhães Dourado**

**Professor Doutor Sérgio Adriano Fernandes Lopes**

Junho de 2022

## **DIREITOS DE AUTOR E CONDIÇÕES DE UTILIZAÇÃO DO TRABALHO POR TERCEIROS**

Este é um trabalho académico que pode ser utilizado por terceiros desde que respeitadas as regras e boas práticas internacionalmente aceites, no que concerne aos direitos de autor e direitos conexos.

Assim, o presente trabalho pode ser utilizado nos termos previstos na licença abaixo indicada.

Caso o utilizador necessite de permissão para poder fazer um uso do trabalho em condições não previstas no licenciamento indicado, deverá contactar o autor, através do RepositóriUM da Universidade do Minho.

### ***Licença concedida aos utilizadores deste trabalho***



**Atribuição**

**CC BY**

<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a todos os intervenientes que, de diversas formas, contribuíram para a evolução e concretização deste trabalho.

À empresa DTE – Instalações Especiais, pela oportunidade de realizar esta dissertação no âmbito de um estágio curricular.

Aos orientadores, pelo interesse apresentado desde o início na participação deste projeto. Ao Professor Sérgio Lopes, pelos conselhos e apoio contínuo que me permitiu trabalhar sempre na direção correta.

Ao engenheiro Miguel Antunes, pela disponibilidade e apoio total durante o projeto, por ter facultado todos os materiais necessários à sua concretização, e por todos os conhecimentos transmitidos.

Aos meus amigos, um especial agradecimento por terem feito parte deste percurso, pelos momentos partilhados e por me terem apoiado incondicionalmente ao longo destes anos como estudante.

Por fim, um agradecimento muito especial à minha família, em particular aos meus pais e à minha irmã, por sempre acreditarem, apoiarem e cuidarem de mim, apesar de todas as adversidades enfrentadas durante todo o percurso académico.

A todos, um muito obrigado!

## **DECLARAÇÃO DE INTEGRIDADE**

Declaro ter atuado com integridade na elaboração do presente trabalho académico e confirmo que não recorri à prática de plágio nem a qualquer forma de utilização indevida ou falsificação de informações ou resultados em nenhuma das etapas conducente à sua elaboração.

Mais declaro que conheço e que respeitei o Código de Conduta Ética da Universidade do Minho.

# **Aplicação de *software* para dimensionamento de instalações elétricas de baixa tensão**

## **RESUMO**

O dimensionamento de instalações elétricas compreende tanto o dimensionamento dos cabos elétricos bem como a seleção dos dispositivos de proteção, nos quais vários regulamentos, normas e critérios de seleção são obedecidos de forma que a execução e exploração da instalação seja viável e segundo os devidos padrões de segurança. Esta variedade de regulamentos e as possíveis pressões das organizações ou empresas por projetos rápidos e a baixo custo, potencializam o surgimento de erros de dimensionamento, comprometendo o normal funcionamento da instalação e, conseqüentemente, induzindo a complicações materiais, monetárias ou até mesmo de segurança. Considerando os problemas anteriormente mencionados e sendo o processo de dimensionamento relativamente repetitivo, a utilização de ferramentas apropriadas para automatizá-lo possibilita não só economizar tempo, mas também garantir que todos os regulamentos, normas e critérios de seleção são obedecidos.

Posto isto, o principal objetivo desta dissertação consiste no desenvolvimento de uma aplicação de *software*, denominada DimCab, capaz de automatizar o dimensionamento de instalações elétricas, segundo as RTIEBT (Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão). Para tal, após a revisão bibliográfica de ferramentas de dimensionamento já implementadas ou existentes no mercado, realiza-se um estudo sobre as principais necessidades dos projetistas de instalações elétricas, com o intuito de agregar um conjunto de requisitos que terão que ser satisfeitos por este *software*. Posteriormente, é definido o procedimento de cálculo a implementar na camada lógica do sistema. Antes da implementação, é feita a conceção e análise do *software*, onde é possível estabelecer de que maneira os requisitos serão cumpridos e, ao mesmo tempo, definir a estrutura e arquitetura do sistema, facilitando a sua documentação, reconfiguração e reuso do código desenvolvido. De seguida, procede-se à implementação das diferentes camadas arquiteturais do sistema, tais como a interface gráfica, a camada lógica e a camada relativa aos dados. Por fim, são realizados testes através de projetos já dimensionados por responsáveis qualificados, de forma a avaliar a fiabilidade dos resultados obtidos no DimCab.

## **PALAVRAS-CHAVE**

Dimensionamento, Instalações elétricas, Python, Software, RTIEBT.

# **Software application for sizing low-voltage electrical installations**

## **ABSTRACT**

Electrical installations sizing covers both the electrical cables sizing and the protections devices selection, which many regulations, standards and selection criteria are followed to ensure a reliable and safety electrical installation designing and operation. This variety of regulations and pressures from organizations or companies for fast and cheap projects can result in sizing mistakes, which compromise the normal electrical installation operation that, consequently, might lead to material, monetary or even safety complications. Considering these problems and the fact that the sizing process can be repetitive, proper tools to automate it, allow the user to save time and ensure that every regulation, standard and selection criteria is obeyed.

This being said, the purpose of this dissertation consists of developing a software application, called DimCab, able to automate the electrical installations sizing process, according to RTIEBT (Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão). To do so, after the bibliographic review of developed sizing software applications available for selling or for educational purposes, it's made a study about the principal needs of electrical installations designers, with the intention of aggregating a set of requirements that must be fulfilled by this tool. Then, the calculation procedure to implement in the logic layer of the system is defined. Before the implementation, the conception and analysis of the software are carried out, in order to establish the way the requirements are fulfilled and, at the same time, define the system's structure and architecture, which ease its documentation, reconfiguration and code reuse. After that, the different architectural layers of the system are implemented, such as the graphical user interface layer, the logic layer and the data layer. In the end, DimCab is subject to several tests, through sizing projects made by qualified technicians, to evaluate the reliability of its results.

## **KEYWORDS**

Electrical installations, Python, Sizing, Software, RTIEBT.

## ÍNDICE

<b>Agradecimentos</b> .....	<b>iii</b>
<b>Resumo</b> .....	<b>v</b>
<b>Abstract</b> .....	<b>vi</b>
<b>Índice</b> .....	<b>vii</b>
<b>Índice de Figuras</b> .....	<b>x</b>
<b>Índice de Tabelas</b> .....	<b>xiii</b>
<b>Lista de Abreviaturas, Siglas e Acrónimos</b> .....	<b>xiv</b>
<b>Simbologia</b> .....	<b>xvi</b>
<b>1. Introdução</b> .....	<b>1</b>
1.1 Motivação .....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Estrutura.....	2
<b>2. Estado da Arte</b> .....	<b>4</b>
2.1 DOC.....	4
2.2 CABSEL .....	6
2.3 Artem Buratckii's software.....	8
2.4 Ferramentas similares.....	11
<b>3. Dimensionamento de instalações elétricas</b> .....	<b>14</b>
3.1 Introdução .....	14
3.1.1 Casos de aplicação das RTIEBT .....	14
3.1.2 Referências normativas das RTIEBT .....	15
3.1.3 Dimensionamento técnico e dimensionamento económico .....	17
3.1.4 Metodologia de dimensionamento.....	18
3.2 Dimensionamento do condutor.....	19
3.2.1 Corrente admissível .....	19
3.2.2 Modo de instalação.....	20
3.2.3 Fatores de correção.....	21
3.3 Queda de tensão.....	24

3.4	Correntes de curto-circuito.....	27
3.4.1	Impedância da rede a montante .....	27
3.4.2	Impedância do transformador .....	28
3.4.3	Impedância dos condutores .....	29
3.4.4	Impedância total.....	29
3.5	Dispositivos de proteção.....	30
3.5.1	Correntes de sobrecarga.....	31
3.5.2	Correntes de curto-circuito .....	33
3.6	Cabo do ramal .....	34
3.7	Ramificação de uma instalação elétrica .....	35
3.8	Designação do cabo .....	36
<b>4.</b>	<b>Análise e conceção .....</b>	<b>39</b>
4.1	Requisitos .....	39
4.2	Casos de uso .....	41
4.3	Arquitetura .....	42
4.4	Estrutura de dados.....	43
<b>5.</b>	<b>Implementação.....</b>	<b>45</b>
5.1	Algoritmo de dimensionamento de um troço .....	45
5.2	Camada lógica .....	47
5.2.1	Obter correntes .....	49
5.2.2	Obter fator de correção.....	49
5.2.3	Obter secções válidas .....	50
5.3	Interface gráfica .....	53
5.3.1	Menu inicial.....	54
5.3.2	Janela de <i>inputs</i> .....	55
5.3.3	Ecrã de dimensionamento .....	65
5.3.4	Caixas de diálogo.....	74
<b>6.</b>	<b>Resultados.....</b>	<b>77</b>
6.1	Executável e instalador .....	77

6.2	Testes de dimensionamento .....	77
<b>7.</b>	<b>Conclusões e trabalhos futuros.....</b>	<b>82</b>
7.1	Conclusões .....	82
7.2	Trabalhos Futuros .....	83
	<b>Referências Bibliográficas.....</b>	<b>84</b>
	<b>Apêndice 1 – Diagrama de classes da interface gráfica completo .....</b>	<b>86</b>
	<b>Apêndice 2 – Testes ao software DimCab.....</b>	<b>87</b>
	<b>Anexo 1 – Fluxograma para o dimensionamento de um cabo elétrico e respectivo dispositivo de proteção segundo a ABB SACE .....</b>	<b>91</b>
	<b>Anexo 2 – Valores normalizados de correntes admissíveis das RTIEBT .....</b>	<b>92</b>
	<b>Anexo 3 – Valores normalizados de fatores de correção das RTIEBT .....</b>	<b>98</b>
	<b>Anexo 4 – Modos de instalação das RTIEBT .....</b>	<b>101</b>

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 - Seleção do cabo no software DOC da ABB [9].	5
Figura 2 - Arquitetura de software do CABSEL [7].	6
Figura 3 - Janela de inputs do CABSEL [7].	7
Figura 4 - Janela dos resultados do CABSEL [7].	8
Figura 5 - Abordagens para determinação do modo de instalação do software do Artem Buratckii [8].	9
Figura 6 - Página de dimensionamento (inputs) do software do Artem Buratckii [8].	10
Figura 7 - Página de dimensionamento (validação) do software do Artem Buratckii [8].	11
Figura 8 - Fluxograma do algoritmo da ferramenta de software do Chong Khang e Tung Liang [10].	12
Figura 9 - Janela para o dimensionamento dos cabos elétricos e dispositivos de proteção do software do Chong Khang e Tung Liang [10].	12
Figura 10 - Resultados do dispositivo de proteção e secções dos condutores elétricos do software do Centre de Développement des Energies Renouvelables [11].	13
Figura 11 - Gráfico da relação entre a secção do condutor e os custos associados.	17
Figura 12 - Fluxograma para o dimensionamento de um cabo elétrico e respetivo dispositivo de proteção [16].	19
Figura 13 - Correntes admissíveis em função das secções nominais dos condutores [12].	20
Figura 14 - Exemplos de modos de instalação [12].	21
Figura 15 - Fatores de correção para agrupamento de cabos de diversos circuitos ou de vários cabos multicondutores, instalados ao ar [12].	23
Figura 16 - Fatores de correção aplicáveis a cabos enterrados consoante a resistividade térmica do solo [12].	24
Figura 17 - Quedas de tensão máximas admissíveis [12].	24
Figura 18 - Coordenação das correntes do condutor com o dispositivo de proteção [12].	31
Figura 19 - Ilustração de uma instalação elétrica composta por vários troços.	35
Figura 20 - Diagrama de casos de uso do DimCab.	41
Figura 21 - Arquitetura em camadas do DimCab.	42
Figura 22 - Diagrama de atividades do script para o dimensionamento de um troço.	46
Figura 23 - Diagramas de atividades do (a) cálculo dos parâmetros de dimensionamento e da (b) validação de um troço.	47
Figura 24 - Diagrama de classes da camada lógica.	48

Figura 25 - Diagrama de sequência do acesso às tabelas normalizadas de fatores de correção.....	50
Figura 26 - Diagrama de sequência da obtenção das secções válidas.....	51
Figura 27 - Diagrama de sequência dos cálculos dos parâmetros do dimensionamento.....	52
Figura 28 - Diagrama de classes da interação da interface gráfica com a camada lógica.....	53
Figura 29 - Diagrama de classes do menu inicial.....	54
Figura 30 - Interface gráfica do menu inicial.....	55
Figura 31 - Diagrama de classes da janela de inputs.....	56
Figura 32 - Layout da interface gráfica da janela de inputs.....	57
Figura 33 - Dados de entrada dos fatores de correção para os modos de instalação B(esquerda) e F(direita).....	58
Figura 34 - Dependência do número de circuitos ou cabos multicondutores em relação ao número de condutores por fase.....	58
Figura 35 - Influência do tipo de condutor nos inputs "Condutor Terra" e "Secção Neutro = Secção Fase".....	59
Figura 36 - Janela dos modos de instalação, com o filtro para o método de referência C.....	60
Figura 37 - Diagrama de atividades do método compute_currents da classe Inputs.....	61
Figura 38 - QLineEdit para ilustração do resultado do fator de correção e botão edit_FC.....	62
Figura 39 - Diagrama de atividades da obtenção da secção do condutor.....	62
Figura 40 - Diagrama de atividades do método get_cross_section da classe Inputs.....	63
Figura 41 - Interface da classe ChooseCrossSectionWindow.....	64
Figura 42 - Diagrama de sequência do método change_Sph da classe Troco.....	64
Figura 43 - Resultados de um dimensionamento no ecrã de inputs. (acima: dimensionamento válido/abaixo: dimensionamento inválido).....	65
Figura 44 - Resultados não correspondentes aos dados de entrada atuais.....	65
Figura 45 - Diagrama de classes do ecrã de dimensionamento.....	66
Figura 46 - Interface gráfica do ecrã de dimensionamento.....	67
Figura 47 - Diagrama de sequência do fecho de um separador.....	68
Figura 48 - Janela para escolher nova origem dos troços a jusante.....	69
Figura 49 - Diagrama de sequência da atualização dos troços em resultado do dimensionamento de um troço a montante.....	70
Figura 50 - Aviso de aumento de secções dos troços a jusante.....	71
Figura 51 - Janela de informações detalhadas de um dimensionamento.....	72

Figura 52 - Janela para mudar de nome de um troço. ....	72
Figura 53 - Janela dos resultados do dimensionamento.....	73
Figura 54 - Janela para apresentação da configuração da instalação elétrica. ....	73
Figura 55 - Ficheiro executável do DimCab.....	77
Figura 56 - Ciclo de vida do desenvolvimento de uma aplicação de software.....	77
Figura 57 - Configuração da instalação elétrica da policlínica.....	79
Figura 58 - Inputs, resultados e validação do primeiro troço da instalação elétrica da policlínica.....	80
Figura 59 - Inputs, resultados e validação do terceiro troço da instalação elétrica da policlínica.....	80
Figura 60 - Resultados do documento base, referentes à instalação elétrica da policlínica.....	81
Figura 61 - Resultados do software DimCab, referentes à instalação elétrica da policlínica.....	81

## ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1 - Casos de aplicação das RTIEBT. ....	15
Tabela 2 - Valores de resistividade dos condutores a 20°C ( $\rho_0$ ). ....	25
Tabela 3 - Valores de tensão de curto-circuito em função da potência de transformadores de distribuição mais usuais [12]. ....	29
Tabela 4 - Valores de $k_2$ em função do tipo de dispositivo de proteção. ....	32
Tabela 5 - Valores de k para a obtenção do tempo de fadiga térmica de um cabo. ....	34
Tabela 6 - Códigos alfanuméricos utilizados no DimCab. ....	37
Tabela 7 - Símbolos referentes ao número e secção nominal dos condutores utilizados na designação de cabos elétricos. ....	38
Tabela 8 - Requisitos funcionais. ....	40
Tabela 9 - Requisitos não funcionais. ....	40
Tabela 10 - Caixas de diálogo implementadas no DimCab. ....	75
Tabela 11 - Características da instalação elétrica da policlínica. ....	78

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÓNIMOS

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>
CAD	Computer-aided design
CENELEC	Comité Européen de Normalisation Électrotechnique
CSV	Comma-separated values
DLL	Dynamic-link library
EN	European Standard
EXE	Executable file
GUI	Graphical User Interface
HD	Harmonization Document
IDE	Integrated Development Environment
IEC	International Electrotechnical Commission
IEV	International Electrotechnical Vocabulary
IT	isolé-terre
JSON	JavaScript Object Notation
MDI	Multiple Document Interface
NEC	National Electrical Code
NP	Normas Portuguesas
PNG	Portable Network Graphics
PT	Posto de Transformação
RF	Requisitos funcionais
RNF	Requisitos não funcionais
RTIEBT	Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão
SQL	Structured Query Language

TC	Technical Committee
TT	terre-terre
UTE	Union Technique de l'Électricité
WYSIWYG	what-you-see-is-what-you-get
XML	Extensible Markup Language

## SIMBOLOGIA

<b>Abreviatura</b>	<b>Significado</b>	<b>Unidade</b>
$C_{Total}$	Custo total	€
$C_{Investimento}$	Custo de investimento	€
$C_{Exploração}$	Custo de exploração	€
$F_{C^{70^{\circ}C}}$	Fator de correção de 70°C	-
$F_{C^{140^{\circ}C}}$	Fator de correção de 140°C	-
$I_2$	Corrente convencional de funcionamento	A
$I_B$	Corrente de serviço	A
$I_{cc}$	Corrente de curto-circuito	A
$I_n$	Corrente estipulada/Calibre do dispositivo de proteção	A
$I_z$	Corrente admissível	A
$k_1$	Fator de correção relativo à temperatura	-
$k_2$	Fator de correção relativo agrupamento de cabos	-
$k_3$	Fator de correção relativo à resistividade do solo	-
$k_{total}$	Fator de correção total	-
$L$	Comprimento do cabo	m
$n$	Número de transformadores em paralelo	-
$P_{dc}$	Poder de corte	kA
$R$	Resistência dos condutores	mΩ
$S$	Secção dos condutores	mm <sup>2</sup>
$S_{montante}$	Potência de curto-circuito a montante do transformador	kVA
$S_n$	Tensão estipulada do transformador	kVA
$t_{sp}$	Tempo de atuação do dispositivo de proteção	s
$t_{ft}$	Tempo de fadiga térmica do cabo	s

$U_0, U_s$	Tensão nominal entre fase e neutro	V
$U_n$	Tensão composta de baixa tensão	V
$U_{sc}$	Tensão estipulada de curto-circuito	%
$X$	Reactância dos condutores	m $\Omega$
$Z$	Impedância dos condutores	m $\Omega$
$\Delta U$	Queda de tensão	V
$\Delta u$	Queda de tensão	%
$\lambda$	Reactância linear dos condutores	m $\Omega$ /m
$\rho$	Resistividade dos condutores	$\Omega$ .mm <sup>2</sup> /m
$\varphi$	Ângulo de fase	°

## **1. INTRODUÇÃO**

No dimensionamento de instalações elétricas, a seleção dos cabos integrantes e respetivos aparelhos de proteção é uma tarefa fulcral para que estas tenham um funcionamento estável e seguro. A seleção deve estar de acordo com um conjunto de aspetos de natureza técnica e económica, tendo em conta vários regulamentos que constituem textos legais do Estado Português, tal como o Regulamento de Segurança de Redes de Distribuição de Energia Elétrica em Baixa Tensão (aprovado pelo Decreto Regulamentar 90/84, de 26 de dezembro [1]). Na presente dissertação, é utilizado o documento regulamentar Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT), no qual contém regulamentos, normas e critérios de seleção para o projeto e execução das instalações elétricas por forma a garantir o seu funcionamento e segurança tendo em conta a sua utilização prevista. Além disso, este é o documento utilizado pelos responsáveis da DTE-Instalações Especiais, empresa na qual esta dissertação foi realizada.

No dimensionamento de uma instalação elétrica, a obtenção da secção do condutor e das características do dispositivo de proteção é realizada segundo determinadas condições impostas pelas RTIEBT, nomeadamente relativas ao sobreaquecimento dos condutores, queda de tensão e correntes de sobrecarga e de curto-circuito.

### **1.1 Motivação**

A variedade de regulamentos, normas e critérios de seleção torna o processo de dimensionamento complexo e suscetível a erros, que irão refletir-se negativamente no funcionamento da instalação elétrica, através do sobreaquecimento dos condutores, perdas de potência, quedas de tensão elevadas, danificação de equipamentos e correntes de sobrecarga e curto-circuito elevadas. Ao mesmo tempo, a pressão existente por parte das organizações e empresas para um processo de dimensionamento rápido e a um baixo preço tem aumentado. Como consequência, várias etapas e critérios de dimensionamento são simplificados ou mesmo não considerados. Estas simplificações tornam o custo de projeto e implementação de instalações elétricas mais baixo, mas, em contrapartida, podem resultar em disfunções de desempenho e em aumentos de custo de exploração das instalações elétricas.

Sendo o processo de dimensionamento relativamente repetitivo, a utilização de ferramentas apropriadas para automatizá-lo possibilita não só economizar tempo, mas também garantir que todos os regulamentos, normas e critérios de seleção são obedecidos.

## 1.2 Objetivos

O principal objetivo desta dissertação consiste no desenvolvimento de uma aplicação *software*, denominada DimCab, capaz de automatizar o dimensionamento de instalações elétricas, segundo as RTIEBT. Esta ferramenta deve apresentar uma interface gráfica simples e intuitiva, de modo a facilitar o processo de dimensionamento e a deteção de eventuais erros que possam surgir ao longo do mesmo.

O programa desenvolvido deve permitir exportar os resultados do dimensionamento para um ficheiro com a formatação adequada, utilizado posteriormente por responsáveis do projeto. Deve ser definido o procedimento de cálculo a ser implementado e, para o acesso aos valores normalizados e modos de instalação dos regulamentos utilizados, deve ser criada uma base de dados organizada em tabelas que será acedida durante a utilização do DimCab. Assim sendo, a escolha de um padrão arquitetural de *software* na implementação do sistema, facilita a sua documentação, reconfiguração e reuso do código desenvolvido. A fim de garantir a fiabilidade dos resultados, terão que ser realizados testes utilizando como base projetos já dimensionados por responsáveis qualificados.

Esta aplicação deve ser multiplataforma e apresentar um ficheiro executável com respetivo instalador, de forma a ser distribuída por vários utilizadores.

## 1.3 Estrutura

Esta dissertação está dividida em sete capítulos, sendo que a ordem pela qual são apresentados representa a sequência de etapas realizadas no desenvolvimento deste projeto. Posto isto, a divisão é a seguinte:

- No capítulo 1, faz-se um enquadramento do tema do trabalho e apresenta-se os objetivos delineados para esta dissertação.
- No capítulo 2, é feita a revisão bibliográfica sobre diferentes ferramentas de *software* de dimensionamento de instalações elétricas existentes no mercado ou desenvolvidas para fins de estudos científicos e tecnológicos.
- No capítulo 3, são introduzidas as Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão e é explicado o processo de cálculo utilizado na implementação do DimCab, nomeadamente o dimensionamento do condutor, a seleção do dispositivo de proteção, as condições a serem verificadas, os cálculos dos parâmetros de dimensionamento, as normas e os critérios de seleção.

- No capítulo 4, é realizado o levantamento de requisitos, o estudo de casos de uso e a descrição da arquitetura e estrutura de dados implementadas no DimCab.
- No capítulo 5, é apresentada a implementação das diversas camadas da arquitetura do DimCab (camada lógica, dados e interface gráfica), incluindo a estrutura interna e o comportamento individual de cada componente do *software*.
- No capítulo 6, são apresentados os testes realizados com o propósito de garantir a fiabilidade dos resultados obtidos no *software* DimCab.
- No capítulo 7, são apresentadas as considerações finais relativas ao projeto desenvolvido e as sugestões das tarefas a realizar em futuros desenvolvimentos.

## 2. ESTADO DA ARTE

Devido à necessidade de otimizar o processo de dimensionamento dos cabos elétricos e de obter um resultado correto e fidedigno, várias foram as ferramentas de *software* já desenvolvidas para automatizar todo este processo de cálculo, sendo umas mais completas e robustas comparativamente a outras. Entre elas, podem ser encontradas ferramentas já estabelecidas no mercado e outras que apenas foram concebidas para estudo científico e tecnológico. Exemplos de aplicações de *software* que se encontram no mercado e que, conseqüentemente, são comercializadas, são o “*Cable Pro*” da *Electrotechnik* [2], o “*Cable Sizing Software*” da *ETAP* [3], o “*ElectricalOM*” da *Modecsoft* [4], o “DOC” da companhia *ABB* [5] e o *software CYME* especializado no dimensionamento para cabos de baixa tensão [6]. Por outro lado, no que concerne aos programas desenvolvidos sem serem para objeto de comercialização, é possível encontrar o “*CABSEL*” desenvolvido na *Nanyang Technological University* [7] e o *software* elaborado por *Artem Buratckii*, na *Technical University of Ostrava* [8].

### 2.1 DOC

Cristina Gabriela Sărăcin e Marin Sărăcin elaboraram um artigo no qual dimensionaram a instalação elétrica de uma estação de tratamento de água usando a ferramenta CAD da empresa *ABB*, designada por “DOC” [9]. Este *software* permite calcular o diâmetro dos condutores (Figura 1), desenhar diagramas unifilares de plantas elétricas de média e baixa tensão, selecionar os dispositivos de proteção adequados e estudar a respetiva coordenação entre eles, segundo as suas curvas tempo/corrente (estudo da seletividade).

Figura 1 - Seleção do cabo no *software* DOC da ABB [9].

A elaboração deste artigo teve como principal objetivo demonstrar a melhoria em termos de dificuldade e tempo consumido quando se dimensiona uma instalação elétrica com o auxílio de uma ferramenta de *software* adequada para tal. O procedimento de cálculo e todos os valores de correntes/secções utilizados nesta ferramenta seguem a norma IEC 60364. As verificações das proteções dos cabos são segundo o estado de sobrecarga, de curto-circuito e contatos indiretos em sistemas TT e sistemas TN.

Posto isto, feito o estudo e dimensionamento da instalação elétrica da estação de tratamento de água, Cristina Gabriela Sărăcin e Marin Sărăcin concluíram que o programa DOC apresenta as seguintes vantagens:

- Desenho automático das linhas do diagrama elétrico;
- Fácil obtenção dos valores de corrente admissível, curto-circuito e queda de tensão;
- Dimensionamento dos dispositivos de proteção e dos cabos usados;
- Montagem, coordenação e verificação dos cabos e dos dispositivos de proteção;
- Possibilidade de seleção e dimensionamento sem obedecer às normas de dimensionamento de instalações elétricas. Ou seja, permite limitar o dimensionamento automático a determinados aspetos ou permite mudar quaisquer seleções automáticas feitas pelo programa.

Contudo, este *software* apresenta a desvantagem de ter fraca compatibilidade com uma base de dados diferente da que é utilizada inicialmente (base de dados da ABB).

## 2.2 CABSEL

O *CABSEL* surgiu através de um projeto cujo objetivo era desenvolver uma aplicação *Windows* capaz de selecionar cabos elétricos para uma instalação elétrica [7]. Além disso, esta ferramenta tinha como propósito a substituição das aplicações de *software* obsoletas previamente utilizadas. O *CABSEL* contém uma interface gráfica do utilizador (GUI), o que torna o processo de dimensionamento dos cabos elétricos relativamente fácil e intuitiva.

Neste projeto, a linguagem de programação utilizada para a concessão do *software* foi o *Microsoft Visual Basic*, pois permite que o programador crie aplicações poderosas, tirando máximo partido do ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) totalmente gráfico, que facilita consideravelmente a construção de GUI's. Posto isto, o *CABSEL* consiste num ficheiro executável (.EXE) que utiliza *Dynamic-link libraries* (DLL) em tempo de execução.

O procedimento de cálculo utilizado por este *software* segue a norma *Code of Practice 5* (CP5), de onde são obtidas as correntes admissíveis, os diâmetros dos cabos, os fatores de correção e os modos de instalação.

A arquitetura do *CABSEL* (Figura 2) é composta por vários módulos que interagem entre si. Através do método *Multiple Document Interface* (MDI), todos estes módulos são agrupados numa janela, a janela principal deste *software*.

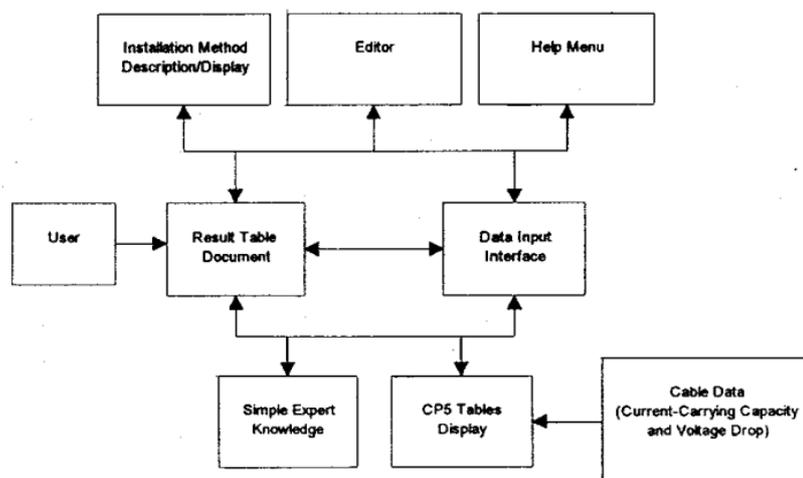


Figura 2 - Arquitetura de *software* do *CABSEL* [7].

Os *inputs* para o dimensionamento do cabo elétrico são inseridos através de uma interface gráfica repartida em diferentes secções (Figura 3), tais como:

- Parâmetros de carga – onde é possível introduzir a potência/corrente, a tensão, o fator de potência e a eficiência;
- Dispositivos de proteção – onde são especificados o tipo de dispositivo de proteção e a temperatura ambiente;
- Cabo – no qual o utilizador pode indicar o material isolante, o número de cabos e o seu comprimento;
- Instalação – onde são definidos o método de instalação e o número de cabos agrupados.

The screenshot shows the 'DATA INPUT / RESULT TABLE 1' window of the CABSEL software. It is divided into several sections:

- Load Parameters:** Includes fields for Circuit No. (1), Power Factor (0.8), and Efficiency (0.8).
- Cable:** Includes fields for Type of Cable (PVC), Length of Cable (m) (50), No. of Cores (1), and No. of Cables (3).
- Voltage Rating:** Radio buttons for 230V and 400V (400V is selected).
- Load Rating:** Radio buttons for Power (KWatts) and Current (Amperes) (Power is selected). Rating Value is set to 30.
- Fuse:** Radio buttons for Semi-enclosed Fuse and Nonsemi-enclosed Fuse (Semi-enclosed Fuse is selected). Temperature (degrees celcius) is set to 40.
- Installation:** Includes a Grouping field (5) and Method of installation options: Trunking, Special, Vertical, and Horizontal.

At the bottom, a 'Result Table' displays the calculated values:

No.	PF	Eff	Voltage [V]	Power Rating [KW]	Current Rating [A]	Type of Cable/ No. of Core	No of Cable	Instl Mtd	Temp. /Fuse	Cable Size [mm <sup>2</sup> ]
1	0.8	0.8	400	30	67.93(C)	PVC/1	3	4	40(5)	70

Figura 3 - Janela de *inputs* do CABSEL [7].

O resultado do dimensionamento é exibido num documento em tabela, tal como está ilustrado na Figura 4.

CABLE SELECTION - [RESULT TABLE 1]

File Edit Input System Input CP5 Installation Mtd Options Windows Help

Save Document

PROJECT DESCRIPTION:

No.	PF	Eff.	Voltage (V)	Power Rating (KW)	Current Rating (A)	Type of Cable/ No. of Core	No. of Cable	Installation Method	Temp./Fuse	Cable Size (mm <sup>2</sup> )	Tab. Current (A)
1	0.8	0.8	230	20	135.87	PVC/AWA/PVC/1	2	1/FLAT	40(S)	50	193
2	0.8	0.8	230	20	135.87	PVC/AWA/PVC/1	2	1/FLAT	40(S)	50	193
3	0.8	0.8	230	20	135.87	PVC/AWA/PVC/1	2	1/FLAT	40(S)	50	193
4	0.8	0.8	230	20	135.87	PVC/1	2	3	40(S)	50	151
5	0.8	0.8	230	20	135.87	PVC/1	2	3	40(S)	50	151
6	0.8	0.8	230	20	135.87	PVC/1	2	3	40(S)	50	151

Figura 4 - Janela dos resultados do *CABSEL* [7].

### 2.3 Artem Buratckii's software

O projeto realizado por *Artem Buratckii* baseia-se no estudo do melhor e mais simplificado processo de dimensionamento de cabos elétricos de baixa tensão [8]. A norma utilizada neste processo apresenta várias recomendações e referências relativas a outras normas, o que torna este processo mais suscetível a erros que podem levar a consequências muito graves. De modo a mitigá-los, neste projeto foi desenvolvida uma ferramenta de *software* segundo a norma IEC 60364-5-52, sendo a linguagem de programação utilizada o *Visual Basic for Applications* no *Microsoft Excel Software*.

A interface gráfica deste *software* é constituída por duas páginas: a página inicial e a página de dimensionamento. A página inicial é onde o modo de instalação é selecionado, podendo optar por uma abordagem avançada ou simplificada. Na abordagem avançada a referência do modo de instalação é obtida através da descrição do mesmo, enquanto na abordagem simplificada, a referência do modo de instalação é inserida diretamente pelo utilizador, tal como está representado na Figura 5.

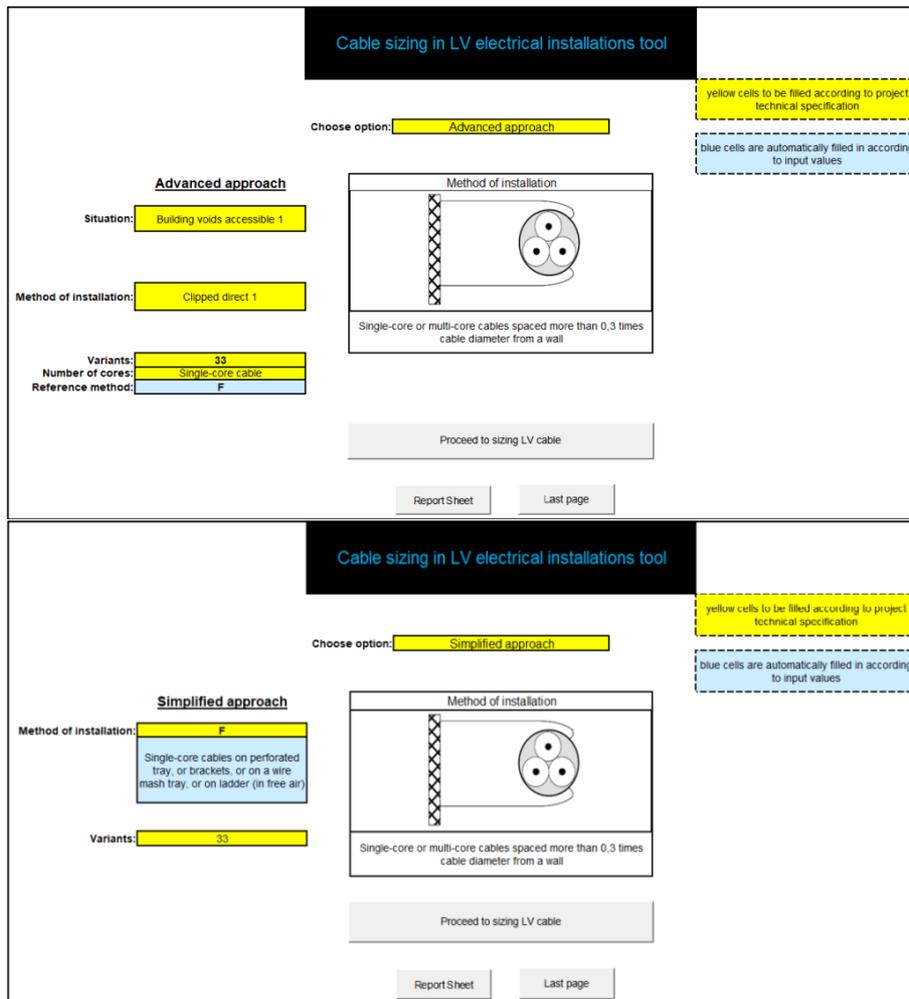


Figura 5 - Abordagens para determinação do modo de instalação do *software* do Artem Buratckii [8].

Relativamente à página de dimensionamento, nela estão presentes todos os *inputs* e resultados do dimensionamento (Figura 6).

**Method F**

Name of switchboard:	Switchboard 1ERG102	yellow cells to be filled according to project technical specification	Clear Contents
Chosen Reference Method:	F	gold cells to be filled according to choice of user	
Chosen variant:	32	blue cells are automatically filled in according to input values	

Equipment No:	1000XXXXX	Type of feeder:	XXXXXX
		Description:	XXXXXX

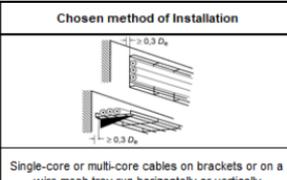
Load given data		
Parameter	Unit	Value
Rated voltage, U:	V	
Installed power, P:	kW	
Power factor, cosφ:	-	
Number of phases:	-	
Load current, I <sub>L</sub> :	A	
Value of prospective initial Short-circuit current, I <sub>sc</sub> <sup>0</sup> :	kA	
Fault clearing time, t:	s	

Cable given data		
Parameter	Unit	Value
Conductor material:	-	
Insulation type:	-	
Clarification:	-	
Number of cores:	-	
Use of the circuit:	-	
Type of formation:	-	
Orientation in space:	-	
Arrangement:	-	
Number of circuits or multi-core cables per tray:	-	
Number of trays or ladders:	-	
Number of parallel runs:	-	
Ambient temperature, T:	°C	
Length of the cable, L:	m	
Trafo incoer voltage drop, ΔU <sub>i</sub> :	%	
Permitted total voltage drop, ΔU <sub>Σ</sub> :	%	
Starting voltage drop threshold, ΔU <sub>st</sub> :	%	
Ratio of Starting current, n:	-	
Starting power factor, cosφ <sub>s</sub> :	-	
Reduction factors for harmonic currents:	<input type="checkbox"/> Think	
Third harmonic content of line RMS current:	%	
Corrected load current:	A	

**Chosen method of Installation**

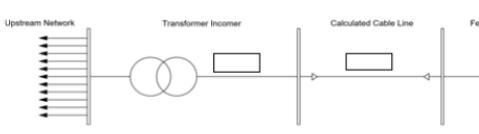


Single-core or multi-core cables on brackets or on a wire mesh tray run horizontally or vertically

Start Sheet
Save Cable Sheet and add it to Report Sheet
Report Sheet

**Drop Voltage**



Total voltage drop:  <

Figura 6 - Página de dimensionamento (*inputs*) do *software* do Artem Buratckii [8].

O algoritmo deste *software* vai efetuar o dimensionamento de um cabo elétrico com base em quatro possíveis secções, onde cada uma é obtida segundo uma condição da Figura 7. A primeira secção é selecionada com base na segunda condição, ou seja, uma secção na qual a sua corrente admissível seja maior que a corrente de serviço, tendo em conta os fatores de correção. A segunda secção é selecionada segundo condição de queda de tensão no cabo, tendo esta que ser menor do que o limite máximo permitido pela norma IEC 60364-5-52. A terceira secção é proveniente da condição da temperatura final do cabo em situação de curto-circuito. Por fim, a quarta secção é selecionada segundo a condição relativa ao tempo de atuação dos dispositivos de proteção e o tempo de fadiga térmica do condutor. Todas as secções selecionadas correspondem às mínimas necessárias para satisfazer as respetivas condições. Desta forma, a secção final é a que apresenta maior valor de todas as quatro, pois esta irá cumprir com todas as outras condições.

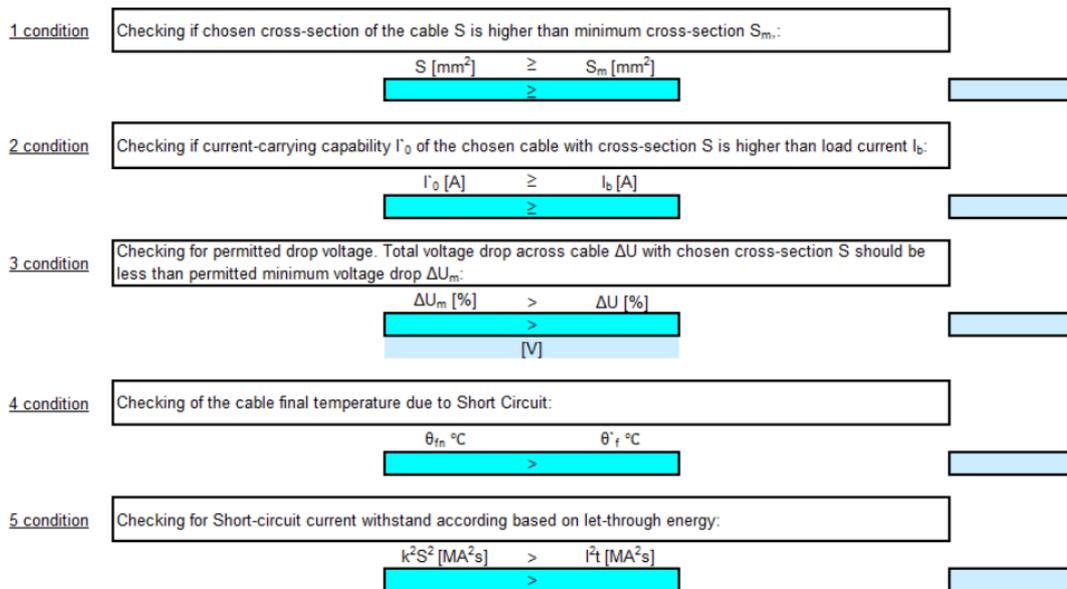


Figura 7 - Página de dimensionamento (validação) do *software* do Artem Buratckii [8].

Esta ferramenta apresenta a funcionalidade de guardar uma ficha de dados que contém todos os *inputs* e resultados do processo de dimensionamento do cabo elétrico.

## 2.4 Ferramentas similares

Todas as ferramentas de *software* referidas anteriormente foram implementadas de modo a automatizar o processo de dimensionamento de cabos elétricos para instalações elétricas de baixa e/ou média tensão. Contudo, existem outras ferramentas desenvolvidas para o dimensionamento e concessão de projetos que contém cabos elétricos como componente intrínseca, tais como projetos de sistemas fotovoltaicos.

Muitas vezes, num projeto de um sistema fotovoltaico, são utilizados vários tipos de aplicações de *software* para ser possível dimensionar todos os componentes do sistema, o que torna este processo inconveniente e suscetível a resultados imprecisos devido a problemas de incompatibilidade entre eles. Posto isto, *Chong Khang* e *Tung Liang* desenvolveram um programa (C# e *Windows Presentation Foundation*) capaz de dimensionar todos os componentes de um sistema fotovoltaico, no qual o seu algoritmo encontra-se apresentado no fluxograma da Figura 8:

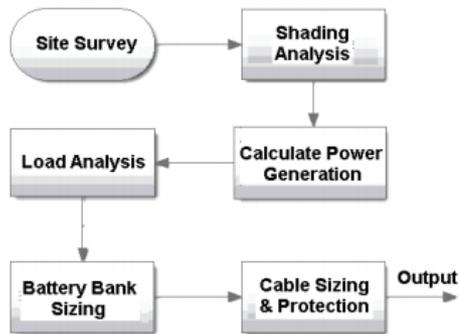


Figura 8 - Fluxograma do algoritmo da ferramenta de *software* do Chong Khang e Tung Liang [10].

O processo de cálculo implementado no *software* engloba a análise de sombreamento, a avaliação do número máximo de módulos, o cálculo da potência gerada, a análise de carga e o dimensionamento da bateria. De seguida, através da janela apresentada na Figura 9, são dimensionados os cabos elétricos e os dispositivos de proteção, segundo a norma NEC 2011 (*National Electrical Code 2011 Edition*) [10].

System Voltage: 24V

**PV Array**

Mode:  Annual  Battery  User Preference

Inter-PV shading:  0%

Possible No. of Module: 2

PV-Wiring Suggestion: Series: 1 Parallel: 2

PV string Voc @ lowest °C: 45.71

PV array Voc @ lowest °C: 45.71

PV string Isc @ lowest °C: 5.26

PV array Isc @ lowest °C: 10.52

Annual production (kWh): 29040.17

**Cable Sizing(mm<sup>2</sup>) - String cable:**

Estimated Length (m):  Electrical Conductivity:

(positive + negative) (copper: 56|aluminium: 34)

Min Cable Size (mm<sup>2</sup>):  Fuse Current Rating(A):

**Cable Sizing(mm<sup>2</sup>) - DC main cable:**

Estimated Length (m):  Electrical Conductivity:

(positive + negative) (copper: 56|aluminium: 34)

Min Cable Size (mm<sup>2</sup>):  Min Fuse Current Rating(A):

**Note:**

(1) Please ensure that the PV String Voc does not exceed the voltage ratings of intended cable

(2) Please ensure that the current-carrying capacity of intended cable size as calculated after adjusted to highest ambient temperature is still able to meet Isc @ lowest temperature

Figura 9 - Janela para o dimensionamento dos cabos elétricos e dispositivos de proteção do *software* do Chong Khang e Tung Liang [10].

No *Centre de Développement des Energies Renouvelables* foi também desenvolvida uma ferramenta de *software* para o dimensionamento de sistemas fotovoltaicos, porém apenas focalizado para seleção e dimensionamento dos seus cabos elétricos e dispositivos de proteção, segundo a norma UTE C15-712-2 [11]. Assim sendo, os *inputs* inseridos pelo utilizador são relativos aos parâmetros do painel fotovoltaico e os cabos elétricos e respetivos dispositivos de proteção são dimensionados automaticamente (Figura 10).

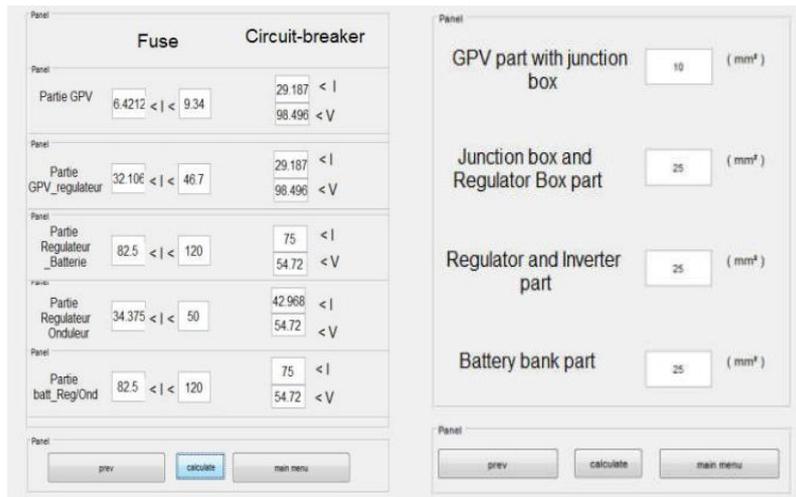


Figura 10 - Resultados do dispositivo de proteção e secções dos condutores elétricos do *software* do *Centre de Développement des Energies Renouvelables* [11].

### **3. DIMENSIONAMENTO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS**

#### **3.1 Introdução**

O dimensionamento de cabos elétricos deve cumprir determinadas diretrizes e normas que irão garantir um funcionamento estável e seguro das instalações elétricas.

O processo de cálculo e dimensionamento de cabos elétricos utilizado neste projeto segue as Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão (RTIEBT) [12]. A utilização deste documento regulamentar é devida ao facto de este ser aprovado pela Portaria n.º 252/2015 e por ser o mais utilizado atualmente pelos profissionais responsáveis pelo projeto, execução e exploração de instalações elétricas [13].

As Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão proporcionaram consensos europeus relativamente às regras de dimensionamento, instalação e manutenção de canalizações elétricas, potencializando a circulação de equipamentos e de profissionais dentro e fora de Portugal, nomeadamente na União Europeia. Estas conveniências são resultado de, para a elaboração deste documento, terem sido considerados a harmonização de documentos tais como o TC 64 do CENELEC (Comité Europeu de Normalização Eletrotécnica), o TC 64 da IEC (Comissão Eletrotécnica Internacional) e alguns capítulos do IEC (Vocabulário Eletrotécnico Internacional) [12].

##### **3.1.1 Casos de aplicação das RTIEBT**

A utilização das Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão é direcionada a casos de dimensionamento de novas instalações elétricas e respetivas ampliações ou modificações [14]. Assim sendo, na Tabela 1 encontram-se os casos em que estas podem ser aplicadas e os casos em que a sua aplicação não é indicada (casos que possuem regulamentação específica):

Tabela 1 - Casos de aplicação das RTIEBT.

<b>Aplicam</b>	<b>Não aplicam</b>
Edifícios de habitação	Veículos de tração elétrica
Edifícios de usos comerciais	Instalações elétricas de automóveis
Estabelecimentos recebendo público	Instalações elétricas a bordo de navios
Estabelecimentos industriais	Instalações elétricas a bordo de aeronaves
Estabelecimentos agropecuários	Instalações de iluminação pública
Edifícios pré-fabricados	Instalações em minas
Caravanas, parques de campismo e instalações análogas	Sistemas de redução das perturbações eletromagnéticas, na medida em que estas não comprometam a segurança das instalações
Estaleiros, feiras, exposições e outras instalações temporárias	Cercas eletrificadas
Marinas e portos de recreio	Instalações de para-raios de edifícios

É de salientar que as instalações elétricas que permitem a aplicação deste regulamento (ilustradas na tabela anterior) não podem apresentar circuitos com tensão nominal superior a 1,5 kV em corrente contínua ou 1 kV em corrente alternada. Contudo, para circuitos a operar com tensões superiores a 1 kV, as RTIEBT podem ser aplicadas desde que os respetivos circuitos sejam alimentados por instalações com tensão não superior a 1 kV em corrente alternada [12].

### 3.1.2 Referências normativas das RTIEBT

As RTIEBT fazem uso de normas que não só são aplicadas em Portugal (NP – Normas Portuguesas), mas também por outros países europeus, tais como as Normas Europeias (EN), as normas IEC e as normas dos documentos de harmonização do CENELEC (HD). Além disto, as normas presentes no regulamento podem ser relativas tanto a aspetos técnicos e dimensionáveis da instalação, bem como relativas à segurança humana e material. Alguns exemplos podem ser encontrados abaixo, divididos em subgrupos:

#### 1) Normas relativas à instalação:

- IEC 60038 – Tensões nominais de alimentação;
- NP EN 50110-1 – Exploração das instalações elétricas.

2) Normas relativas ao transformador:

- NP 2627 – Transformadores de potência;
- EN 60742 – Transformadores de separação de circuitos e transformadores de segurança;
- IEC 60185 e IEC 60186 – Transformadores de corrente e tensão monofásicos, respetivamente.

3) Normas relativas ao dispositivo de proteção:

- EN 61009-1 – Acessórios elétricos - Disjuntores diferenciais, com proteção contra as sobreintensidades incorporada, para instalações domésticas e análogas - 1ª parte;
- EN 60898 – Disjuntores para instalações domésticas e análogas;
- EN 60269 – Fusíveis de baixa tensão;
- IEC 61643 – Dispositivos de proteção contra as sobretensões ligados às redes de distribuição de energia elétrica em baixa tensão.

4) Normas relativas aos cabos:

- NP 2356, NP 2357 e NP 2365 – Temperatura máxima de funcionamento segundo tipo de isolamento;
- NP 1070 – Designação dos tubos e condutas para canalizações elétricas ou de telecomunicação;
- NP 665 e HD 361 – Designação dos condutores isolados e dos cabos;
- EN 50200 – Método de ensaio da resistência ao fogo de cabos de pequenas dimensões sem proteção para circuitos de segurança.

5) Normas relativas aos aparelhos de utilização:

- NP EN 60598 – Aparelhos de iluminação;
- EN 60034-1 e IEC 60279 – Regras para o estabelecimento das máquinas elétricas rotativas;
- EN 50014 – Equipamento elétrico para atmosferas explosivas.

6) Normas relativas à segurança:

- IEC 60479-1 – Efeitos da corrente elétrica no corpo humano e no dos animais - 1ª parte;
- HD 251 – Segurança em aparelhos elétricos para usos domésticos e análogos - 1ª parte.

É possível concluir que para cada elemento pertencente a uma instalação elétrica, pode haver uma ou várias normas a ele associado. Isto significa que todos os componentes terão que ser aprovados e certificados segundo essas mesmas normas.

### 3.1.3 Dimensionamento técnico e dimensionamento económico

O processo de dimensionamento de uma instalação elétrica consiste na obtenção da secção dos condutores e das características dos dispositivos de proteção. Os resultados provenientes de um dimensionamento de uma instalação elétrica têm tanto impacto nos seus aspetos de índole técnica bem como de uma índole económica.

Durante o tempo de funcionamento de uma instalação elétrica, é sabido que perdas por efeito de *Joule* nos cabos será algo que, inevitavelmente, irá acontecer. Estas perdas terão um impacto negativo no funcionamento normal da instalação elétrica no modo em que esta energia perdida em forma de calor terá que ser financiada pelo seu proprietário. Estes desperdícios serão mais ou menos severos dependendo da resistência do condutor em questão, que por sua vez é dependente da sua secção. Ou seja, quanto maior for a secção do condutor, menores serão as perdas por efeito de *Joule*, e vice-versa. Por outro lado, no momento da conceção de uma instalação elétrica, quanto maior for a secção dos seus condutores, maior serão os seus custos associados [15].

Assim sendo, pode-se considerar a existência de dois tipos de custos de uma instalação elétrica: os custos de investimento e de exploração (relacionados com as perdas de energia), que podem ser relacionados com a secção do condutor escolhida, tal como está apresentado no gráfico da Figura 11.

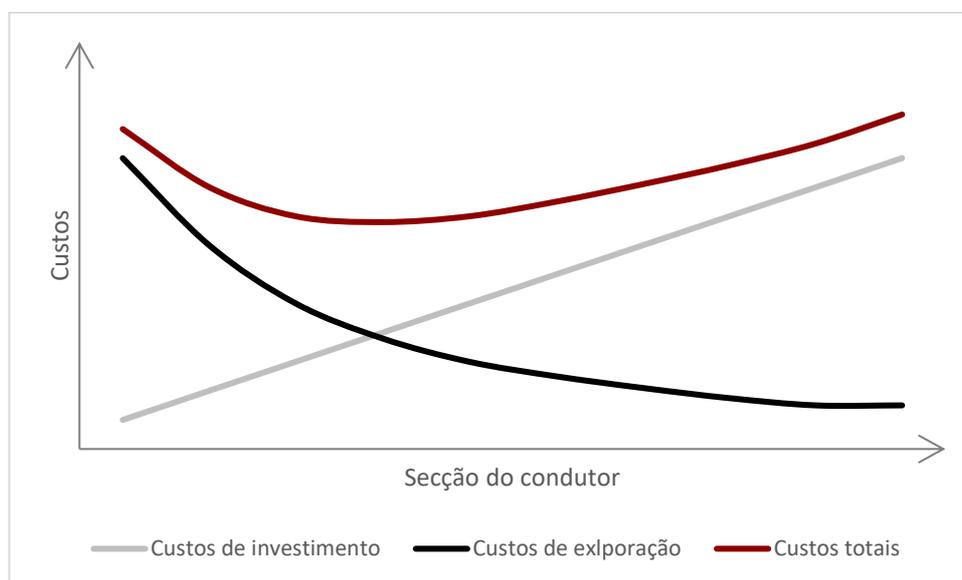


Figura 11 - Gráfico da relação entre a secção do condutor e os custos associados

$$C_{Total} = C_{Investimento} + C_{Exploração}$$

Isto leva a que, no momento do projeto, o responsável não só leve em consideração os aspetos técnicos, mas também os custos associados à secção do condutor escolhida. Contudo, é com grande frequência que o aspeto económico não é tido em conta, dimensionando a instalação elétrica considerando apenas a secção mínima possível, o que leva a uma diminuição dos custos de investimento e consequentemente a um aumento dos custos de exploração.

#### 3.1.4 Metodologia de dimensionamento

O processo de dimensionamento de uma instalação elétrica é composto por várias etapas que estão em conformidade com diretrizes como a IEC 60364 e a HD 60364.

Primeiramente, é necessário definir os parâmetros de carga, ou seja, a potência requerida e consequentemente a corrente de serviço ( $I_B$ ). Além disto, é nesta fase inicial que é definido o comprimento dos condutores e dimensionados os transformadores ou geradores que se encontram na origem da instalação elétrica. De seguida, procede-se ao dimensionamento do condutor a ser utilizado, sendo necessário definir o seu material, o material isolante, o método de instalação, o tipo de dispositivo de proteção (disjuntor ou fusível), as condições de serviço e a secção do condutor. Subsequentemente, são calculadas as correntes de curto-circuito e a queda de tensão.

Caso se verifique que a secção do condutor escolhida não cumpre com todos os requisitos impostos para um bom dimensionamento de uma instalação elétrica, esta secção terá que ser redefinida e os respetivos cálculos e verificações terão que ser repetidos. Assim sendo, é possível afirmar que o dimensionamento de uma instalação elétrica é um processo iterativo.

A par da seleção da secção do condutor, é necessário selecionar o dispositivo de proteção consoante o seu calibre ( $I_n$ ), corrente convencional de funcionamento ( $I_c$ ), poder de corte ( $P_{dc}$ ) e a seletividade com outros dispositivos de proteção.

Posto isto, esta metodologia de dimensionamento pode ser representada pelo fluxograma da Figura 12, fluxograma este elaborado pela *Schneider Electric* [16]. Contudo, podem ser utilizadas outras metodologias ligeiramente diferentes, em que é possível obter de igual forma um dimensionamento válido e funcional. Exemplo disto, é um outro fluxograma realizado pela *ABB SACE*, que se encontra no Anexo 1 [17].

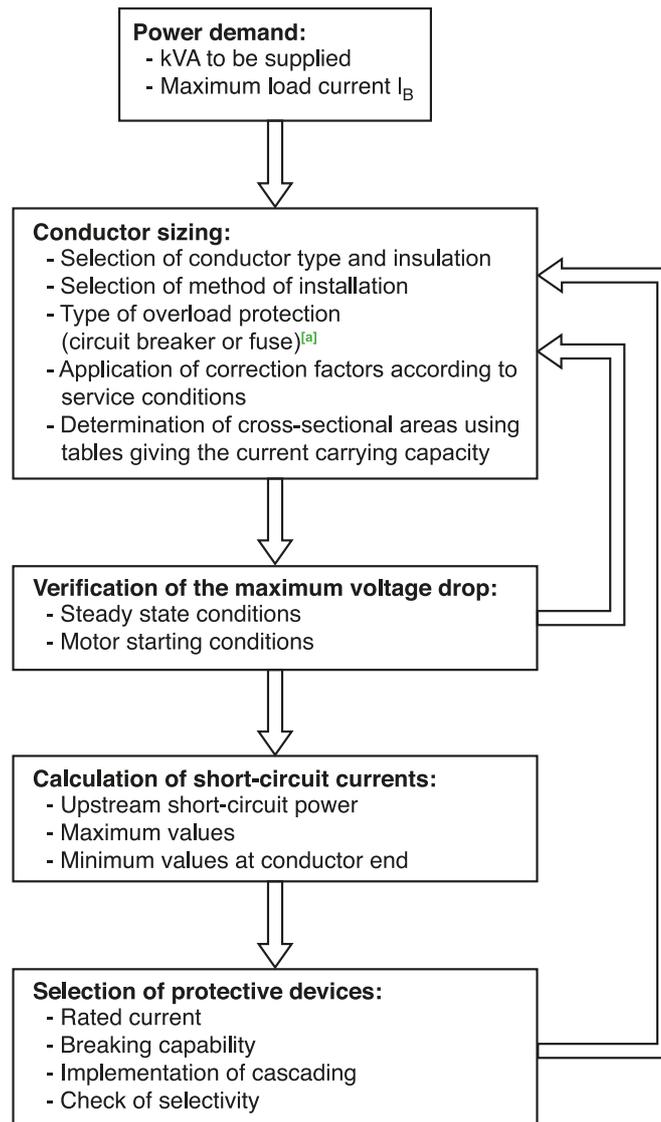


Figura 12 - Fluxograma para o dimensionamento de um cabo elétrico e respetivo dispositivo de proteção [16].

## 3.2 Dimensionamento do condutor

### 3.2.1 Corrente admissível

A corrente admissível ( $I_c$ ) corresponde ao maior valor de corrente que pode circular num determinado condutor em regime permanente, sem que para isso a sua temperatura ultrapasse o valor no qual o normal funcionamento do cabo e a sua longevidade podem ficar comprometidos, podendo levar à degradação do próprio condutor e respetivo isolante.

Posto isto, o desejável durante o dimensionamento de um condutor, é este permitir a passagem da corrente requerida para a alimentação da instalação elétrica sem que, para isso, seja ultrapassado o valor da corrente admissível do cabo, ou seja:

$$I_B \leq I_Z \quad (1)$$

O valor de corrente admissível do cabo é obtido através das tabelas normalizadas ilustradas na Figura 13 e no Anexo 2 (IEC 60364-5-52):

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

Figura 13 - Correntes admissíveis em função das secções nominais dos condutores [12].

De acordo com a tabela da figura anterior pode-se concluir que a secção do condutor é obtida segundo a respetiva corrente admissível e a Equação 1. Contudo, para a sua seleção, é também necessário definir as condições de serviço da instalação elétrica a ser dimensionada, tais como o material isolante, o número de condutores ativos, a temperatura ambiente/solo, o método de instalação, o número de circuitos vizinhos e a resistência térmica do solo caso os cabos estejam enterrados.

### 3.2.2 Modo de instalação

Para o dimensionamento do condutor é necessário definir um modo de instalação, no qual irá representar com a maior aproximação possível o modo de como os cabos elétricos irão estar montados na instalação elétrica. Segundo a tabela da Figura 14 (IEC 60364-5-52), os modos de instalação são definidos pela ilustração, número, descrição e método de referência. Assim sendo, com o método de referência oriundo do modo de instalação escolhido, é possível obter a secção do condutor em função da sua corrente admissível, tal como está explicito na tabela da Figura 13 [16][17].

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

Figura 14 - Exemplos de modos de instalação [12].

### 3.2.3 Fatores de correção

As correntes máximas admissíveis dos condutores ( $I_z$ ) correspondem a valores normalizados para condições específicas e bem definidas relativamente à temperatura ambiente, temperatura do solo, resistividade do solo, agrupamento de cabos/condutores e à terceira harmónica [15]. Caso estas condições sejam diferentes das padronizadas, as propriedades de aquecimento dos cabos irão alterar-se, necessitando então de corrigir os valores das correntes máximas admissíveis através de fatores de correção.

As distorções harmónicas são correntes elétricas com uma frequência que é múltipla da frequência original da rede (Ex: 60 Hz), sendo que o segundo harmónico apresenta uma frequência de 120 Hz, o terceiro 180 Hz, etc. A soma destas correntes com a corrente de funcionamento causa distorções na forma de onda original e, em caso de uma instalação trifásica, os harmónicos múltiplos de três levam à existência de corrente no condutor neutro, pelo motivo das correntes dos condutores fase não se anularem. Distorções harmónicas são geralmente causadas pelo uso de cargas não lineares, tais como cargas produzidas por computadores, lâmpadas fluorescentes e variadores de velocidade de motores [18][19]. Contudo, para a realização deste projeto, o terceiro harmónico não vai ser tido em conta devido ao facto de serem consideradas apenas as cargas puramente resistivas e de baixa/média potência.

Posto isto, para a obtenção da corrente admissível corrigida é necessário aplicar a Equação 3, em que o  $k_1$  é o fator de correção relativo à temperatura,  $k_2$  ao agrupamento de cabos/condutores, e o  $k_3$  à resistividade térmica do solo, em caso da sua aplicabilidade.

$$k_{total} = k_1 \times k_2 \times k_3 \quad (2)$$

$$I'_Z = I_Z \times k_{total} \quad (3)$$

#### Temperatura

Dependendo do modo de instalação escolhido, os cabos podem encontrar-se montados ao ar livre ou enterrados, sendo que o fator de correção de temperatura será em função da temperatura ambiente ou da temperatura do solo, respetivamente. Para a obtenção dos valores normalizados de correntes admissíveis, os valores de temperatura utilizados foram 30°C para os cabos ao ar livre e 20°C para os cabos enterrados, tal como se pode observar pelas tabelas do Anexo 3.

#### Agrupamento de condutores ou cabos

A dissipação de calor num condutor/cabo vai ser diferente caso este se encontre isolado ou se estiver na presença de condutores vizinhos. O aumento do número de condutores instalados em grupo vai intensificar a produção de calor e consequentemente aumentar a dificuldade da sua dissipação. Assim sendo, para prevenir a degradação do condutor, torna-se necessário diminuir a sua corrente máxima admissível.

No caso de circuitos monofásicos, os valores das correntes máximas admissíveis provenientes das tabelas da Figura 13 são aplicáveis para dois condutores isolados, dois cabos monocondutores ou um cabo multicondutor com dois núcleos. Em relação aos circuitos trifásicos, os valores das correntes máximas admissíveis foram obtidos de forma análoga ao caso anterior, ou seja, para três condutores isolados, três cabos monocondutores ou um cabo multicondutor com três núcleos [16].

Posto isto, os fatores de correção para o agrupamento de cabos são determinados segundo as tabelas da Figura 15 e das figuras presentes no Anexo 3.

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

Figura 15 - Fatores de correção para agrupamento de cabos de diversos circuitos ou de vários cabos multicondutores, instalados ao ar [12].

Apesar de ser possível obter os fatores de correção para o agrupamento de cabos enterrados através da tabela Agrupamento de cabos – D do Anexo 3, será considerado 0,8 como valor padrão pelo facto da montagem dos cabos enterrados ser realizada com recurso a tubos, onde em cada tubo são inseridos os condutores correspondentes a um terno, ou seja, no caso dos circuitos monofásicos são inseridos em cada tubo um condutor e um neutro e no caso da utilização de circuitos trifásicos são inseridos em cada tubo três condutores (condutores de fase) e respetivo neutro.

#### Resistividade térmica do solo

Quanto maior for a resistência térmica entre o cabo e o meio ambiente, menor será a capacidade de dissipação de calor, aumentando a temperatura do cabo. Desta forma, caso se utilize cabos enterrados, ter-se-á que avaliar a resistência térmica do solo onde estes serão instalados para assim prevenir o seu sobreaquecimento. Deste modo, são aplicados os fatores de correção oriundos da tabela da Figura 16 em que, dependendo da humidade e natureza do solo, é possível obter a sua resistência térmica e consequentemente o fator de correção adequado.

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

Figura 16 - Factores de correcção aplicáveis a cabos enterrados consoante a resistividade térmica do solo [12].

### 3.3 Queda de tensão

A queda de tensão caracteriza-se pela diminuição do potencial elétrico ao longo de um circuito, podendo ser provocada pela resistência interna da fonte, pela impedância dos condutores, contactos e conectores [20]. No processo de dimensionamento de uma instalação elétrica, a avaliação da queda de tensão é essencial no ponto em que caso a queda de tensão ultrapasse os limites estabelecidos, pode haver um elevado desperdício de potência, uma diminuição da eficiência da distribuição elétrica ou até mesmo a danificação de equipamentos.

Posto isto, segundo a norma IEC 60364-5-52, a queda de tensão entre a origem da instalação e qualquer ponto de utilização não deve ser superior aos valores encontrados na tabela da Figura 17.

Utilização	Iluminação	Outros usos
A - Instalações alimentadas directamente a partir de uma rede de distribuição (pública) em baixa tensão	3 %	5 %
B - Instalações alimentadas a partir de um Posto de Transformação MT/BT <sup>(1)</sup>	6 %	8 %
<i>(1) - Sempre que possível, as quedas de tensão nos circuitos finais não devem exceder os valores indicados para a situação A. As quedas de tensão devem ser determinadas a partir das potências absorvidas pelos aparelhos de utilização com os factores de simultaneidade respectivos ou, na falta destes, das correntes de serviço de cada circuito.</i>		

Figura 17 - Quedas de tensão máximas admissíveis [12].

Estes valores são aplicados a condições estacionárias de funcionamento, ou seja, não são considerados períodos de arranque de motores, onde a corrente pode ser seis vezes maior comparativamente à corrente de carga máxima estacionária, levando a um aumento proporcional da queda de tensão.

Para evitar todos estes possíveis problemas que podem advir da queda de tensão, é necessário aumentar o diâmetro da secção do condutor, pois quanto maior for a secção do condutor, menor será a sua resistência. Caso os cabos não sejam dimensionados de forma adequada, a queda de tensão provocada pela sua impedância, além de provocar o seu aquecimento, pode levar ainda a um aumento da corrente de forma a fornecer a potência exigida pelos equipamentos, potencializando ainda mais um aumento da queda de tensão e respetivo aquecimento do cabo.

A fórmula mais comumente utilizada para o cálculo da queda de tensão num condutor é a seguinte [12]:

$$\Delta U = b \times (\rho_1 \times \frac{L}{S} \times \cos \varphi + \lambda \times L \times \sin \varphi) \times I_b \quad (4)$$

em que:

- $\Delta U$  é a queda de tensão, em volts [V];
- $b$  é um coeficiente igual a 1 para circuitos trifásicos (equilibrados) e igual a 2 para circuitos monofásicos, pois no primeiro caso não existirá corrente no condutor neutro, enquanto que no outro há a necessidade da utilização de um condutor de retorno (neutro) que será percorrido por corrente, obrigando assim ao cálculo da queda de tensão para o condutor neutro;
- $\rho_1$  é a resistividade dos condutores à temperatura de serviço normal. Para a sua obtenção é necessário multiplicar 1,25 à resistividade dos condutores a 20°C ( $\rho_0$ ) que estão representados na Tabela 2.

Tabela 2 - Valores de resistividade dos condutores a 20°C ( $\rho_0$ ).

	<i>Alumínio</i>	<i>Cobre</i>
$\rho_0$ [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ]	0,029	0,017

- $L$  é o comprimento do cabo, em metros [m];
- $S$  é a secção dos condutores, em milímetros quadrados [ $\text{mm}^2$ ]. Este valor pode ser multiplicado por uma variável “n” na qual diz respeito ao número de condutores por fase (=  $S \times n$ );

- $\cos \phi$  é o fator de potência, sendo 0,8 no caso do funcionamento de serviço normal e na falta de elementos mais precisos. Assim sendo, segundo conceitos trigonométricos (Equação 5), a utilização deste valor de fator de potência obriga a que o  $\sin \phi$  seja 0,6;

$$\sin \phi = \sqrt{1 - (\cos \phi)^2} \quad (5)$$

- $\lambda$  corresponde à reactância linear dos condutores, sendo que, na carência de quaisquer informações, o valor comumente utilizado é 0.08 m $\Omega$ /m;
- $I_b$  diz respeito à corrente de serviço anteriormente mencionada, em amperes [A].

Segundo a Equação 4, pode-se afirmar que a reactância de um condutor é definida pelo  $\lambda$  e a sua resistência pela equação seguinte:

$$R = \rho_1 \times \frac{L}{S} \quad (6)$$

Contudo, existem tabelas capazes de fornecer valores normalizados tanto para a resistência como para a reactância dos condutores elétricos, consoante a secção transversal dos mesmos, tabelas estas que não serão utilizadas neste projeto.

Como se pode observar pela tabela da Figura 17, a validação de um cabo no que concerne à sua queda de tensão é realizada consoante a percentagem obtida. Posto isto, para a sua obtenção basta aplicar a fórmula seguinte:

$$\Delta u = 100 \times \frac{\Delta U}{U_0} \quad (7)$$

em que:

- $\Delta u$  diz respeito à queda de tensão expressa em percentagem [%];
- $\Delta U$  corresponde à queda de tensão calculada na Equação 4, expressa em volts [V];
- $U_0$  corresponde à tensão nominal entre fase e neutro, expressa em volts [V].

### 3.4 Correntes de curto-circuito

Para um correto dimensionamento de uma instalação elétrica, é necessário calcular as correntes de curto-circuito em pontos específicos, visando a previsão dos esforços térmicos e eletrodinâmicos dos cabos. Além disto, permite não só a definição do poder de corte dos aparelhos de proteção, mas também a escolha e regulação dos mesmos, tal como será abordado mais à frente [21]. Os locais onde se torna necessária a obtenção das correntes de curto-circuito são, nomeadamente, na origem e na extremidade do circuito, correspondendo à corrente de curto-circuito máxima e mínima, respetivamente.

Existem vários métodos destinados ao cálculo das correntes de curto-circuito, sendo que a sua escolha é baseada em fatores tais como o grau de precisão necessário, as características conhecidas da instalação, a importância da instalação, etc. Assim sendo, neste projeto foi utilizado o método das impedâncias, no qual consiste em somar separadamente todas as resistências e reactâncias do circuito elétrico desde a fonte (inclusive) até ao ponto onde se pretende calcular a corrente de curto-circuito. Desta forma, a impedância total é obtida através da fórmula seguinte:

$$Z_T = \sqrt{R_T^2 + X_T^2} \quad (8)$$

Este método permite a obtenção de todas as correntes de curto-circuito em todos os pontos da instalação com uma boa precisão, desde que todas as características da mesma sejam conhecidas, tais como os cabos e transformador utilizados.

#### 3.4.1 Impedância da rede a montante

Primeiramente, para o cálculo das correntes de curto-circuito de uma instalação elétrica, é necessário conhecer a impedância da rede a montante da mesma. Para o efeito, é utilizada a equação seguinte:

$$Z_{montante} = \frac{(m \times U_n)^2}{S_{montante}} \quad (9)$$

em que:

- $U_n$  é a tensão composta de baixa tensão [V];

- $S_{montante}$  é a potência de curto-circuito a montante do transformador [kVA];
- $m$  é o fator de carga, no qual terá o valor de 1,05 [valor utilizado qualquer que seja a fonte (transformador ou gerador)].

De acordo com a norma IEC 60909-0, na falta de informação do distribuidor, devem ser considerados  $R_{montante} = 0,1X_{montante}$  e  $X_{montante} = 0,995Z_{montante}$ , que correspondem à resistência e reactância da rede a montante, respetivamente. No entanto, segundo documentos fornecidos por projetistas e utilizados como base para cálculo e dimensionamento de instalações elétricas, os valores utilizados para a obtenção da resistência e reactância da rede a montante são os seguintes:

$$R_{montante} = \frac{0,15 \times U_n^2}{S_{montante}} \quad (10)$$

$$X_{montante} = \frac{1,1 \times U_n^2}{S_{montante}} \quad (11)$$

### 3.4.2 Impedância do transformador

O transformador é o primeiro componente de uma instalação elétrica que pode ser caracterizado pela sua impedância ( $Z$ ), composta pelo elemento resistência ( $R$ ) e reactância ( $X$ ). A impedância de um transformador pode ser obtida através da fórmula seguinte:

$$Z_{transformador} = \frac{(m \times U_n)^2}{S_n \times n} \times \frac{U_{sc}}{100} \quad (12)$$

onde:

- $U_n$  é a tensão composta no circuito secundário do transformador [V];
- $m$  diz respeito ao fator de carga, no qual terá o valor de 1,05 [valor utilizado qualquer que seja a fonte (transformador ou gerador)];
- $U_{sc}$  é a tensão estipulada de curto-circuito, expressa em percentagem. Para transformadores de distribuição mais usuais, os valores de  $U_{sc}$  podem ser consultados na Tabela 3;
- $S_n$  é a tensão estipulada do transformador [kVA];
- $n$  é o número de transformadores em paralelo.

Tabela 3 - Valores de tensão de curto-circuito em função da potência de transformadores de distribuição mais usuais [12].

<b>Potência do transformador MT/BT (kVA)</b>	<b>≤ 630</b>	<b>800</b>	<b>1000</b>	<b>1250</b>	<b>1600</b>	<b>2000</b>
<b>Tensão de curto-circuito (%)</b>	4	5	5	5	6	6

Segundo a norma CENELEC 50480, na carência de informações mais precisas, é plausível assumir os seguintes valores:  $R_{transformador} = 0,31Z_{transformador}$  e  $X_{transformador} = 0,95Z_{transformador}$ . Contudo, de forma análoga ao cálculo da impedância da rede a montante, segundo documentos fornecidos por projetistas e utilizados como base para cálculo e dimensionamento de instalações elétricas, os valores utilizados neste projeto para a obtenção da resistência e reactância do transformador são os seguintes:

$$R_{transformador} = \frac{U_n^2}{S_n \times n} \times \frac{1,5}{100} \quad (13)$$

$$X_{transformador} = \frac{U_n^2}{S_n \times n} \times \frac{U_{sc}}{100} \quad (14)$$

### 3.4.3 Impedância dos condutores

Tal como foi referido anteriormente, os condutores elétricos apresentam resistência e reactância internas, sendo que, para as suas obtenções, são utilizadas a mesma fórmula (Equação 6) e as mesmas considerações ( $\lambda_{condutor} = 0.08 \text{ m}\Omega/\text{m}$ ) aplicadas no cálculo da queda de tensão acima especificada (Equação 4).

### 3.4.4 Impedância total

O método das impedâncias para o cálculo das correntes de curto-circuito leva em conta a soma de todas as resistências e reactâncias de todos os componentes da instalação até ao local desejado. Posto isto, de acordo com a Equação 8 e considerando que a instalação apenas apresenta um transformador e um condutor, a impedância total da instalação elétrica será obtida segundo a equação seguinte:

$$Z_T = \sqrt{(R_{montante} + R_{transformador} + R_{condutor})^2 + (X_{montante} + X_{transformador} + X_{condutor})^2} \quad (15)$$

Desta forma é possível obter as correntes de curto-circuito máxima e mínima correspondentes às correntes de curto-circuito na origem e na extremidade do circuito. Para o cálculo destas correntes, são utilizadas as equações seguintes:

$$I_{cc\max} = \frac{U_s}{F_C^{70^\circ\text{C}} \times Z_T} \quad (16)$$

$$I_{cc\min} = \frac{0,95 \times U_s}{F_C^{140^\circ\text{C}} \times Z_T} \quad (17)$$

em que:

- $U_s$  corresponde à tensão nominal entre fase e neutro [V];
- $F_C^{70^\circ\text{C}}$  e  $F_C^{140^\circ\text{C}}$  são os fatores de correção de  $70^\circ\text{C}$  ( $F_C^{70^\circ\text{C}} = 1,25$ ) e  $140^\circ\text{C}$  ( $F_C^{140^\circ\text{C}} = 1,5$ ).

De salientar que, no cálculo da corrente de curto-circuito máxima, visto ser presumida na origem do circuito, a impedância total ( $Z$ ) engloba apenas as impedâncias envolvidas desde a rede a montante até ao ponto onde se deseja efetuar o cálculo, enquanto que, no cálculo da corrente de curto-circuito mínima, são também contabilizadas as impedâncias dos condutores neutros, visto ser presumida na extremidade do circuito.

### 3.5 Dispositivos de proteção

A norma IEC 60364-4-43 especifica regras de uso de dispositivos de proteção para que estes garantam a segurança e bom funcionamento da instalação elétrica a ser dimensionada. Para tal, é esperado que estes dispositivos sejam capazes de interromper a circulação de corrente sempre que haja uma sobreintensidade, caracterizada por ser uma corrente de valor superior ao estipulado para o normal funcionamento daquele condutor, ou seja, superior à corrente admissível. Por sua vez, uma sobreintensidade pode ser dividida em dois tipos de correntes: correntes de sobrecarga e correntes de curto-circuito [22].

### 3.5.1 Correntes de sobrecarga

Correntes de sobrecarga podem ser definidas como correntes resultantes de uma maior solicitação de potência que pode ser causada por vários fatores. Demasiados aparelhos de utilização ligados, arranque de motores de indução, dimensionamento insuficiente da instalação ou defeitos observados nos aparelhos de utilização podem causar correntes de sobrecarga, que podem ser carregadas pelos condutores por alguns períodos de tempo, sem que para isso, cause aquecimento excessivo dos mesmos. Deste modo, é necessário selecionar um dispositivo de proteção que interrompa a corrente de sobrecarga antes que esta comece a provocar estes aquecimentos prejudiciais ao isolamento, às ligações, às extremidades ou a elementos colocados nas proximidades das canalizações. Assim sendo, as características de funcionamento do dispositivo de proteção selecionado devem satisfazer as seguintes condições:

$$I_B \leq I_n \leq I_Z \quad (18)$$

$$I_2 \leq 1,45 I_Z \quad (19)$$

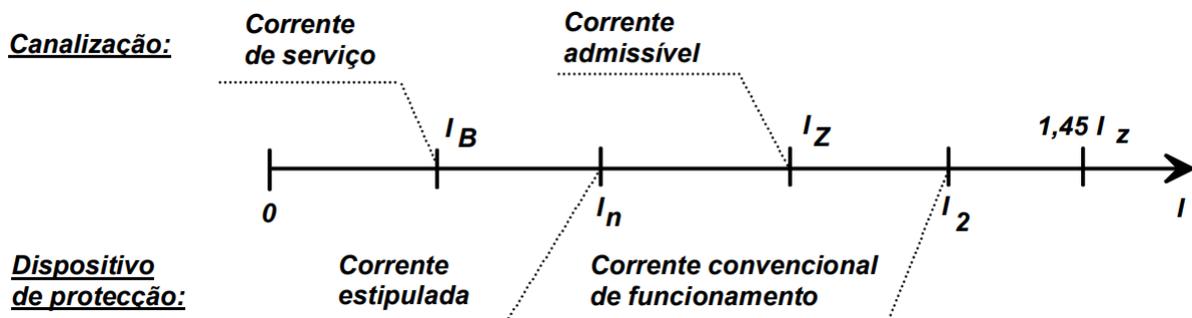


Figura 18 - Coordenação das correntes do condutor com o dispositivo de proteção [12].

em que:

- $I_n$  é o calibre ou corrente estipulada do dispositivo de proteção, expresso em amperes [A]. Cada dispositivo de proteção é caracterizado por uma curva tempo/intensidade de corrente que tem como função indicar o tempo que demora o respetivo dispositivo a atuar dependendo da corrente que o percorre. Posto isto, o calibre corresponde ao valor de corrente nominal máxima que um dispositivo de proteção pode suportar em regime permanente sem atuar [15];

- $I_2$  é a corrente convencional de funcionamento, expressa em amperes [A]. Esta variável corresponde ao valor de corrente para a qual o dispositivo de proteção atua num tempo inferior ao tempo convencional (dependente da normalização e do calibre do dispositivo de proteção).

Na prática, pode-se afirmar que  $I_2$  corresponde à corrente de funcionamento no tempo convencional no caso de disjuntores e à corrente de fusão no tempo convencional no caso de fusíveis. A obtenção do valor de  $I_2$  de um determinado dispositivo de proteção é realizado através do seu calibre, utilizando a fórmula seguinte:

$$I_2 = k_2 \times I_n \quad (20)$$

Os valores da constante  $k_2$  a usar são dependentes do tipo de dispositivo de proteção a ser dimensionado e encontram-se representados na Tabela 4.

Tabela 4 - Valores de  $k_2$  em função do tipo de dispositivo de proteção.

Dispositivo de proteção	$k_2$
Disjuntor modular (IEC 60898)	1,45
Outros disjuntores (IEC 60947-2)	1,3
Fusível ( $I_n \geq 16$ A)	1,6
Fusível ( $4$ A < $I_n < 16$ A)	1,9
Fusível ( $I_n \leq 4$ A)	2,1

Ambas as condições 18 e 19 devem ser satisfeitas consoante o dispositivo de proteção selecionado, de modo que a instalação esteja protegida contra as eventuais sobrecargas que podem surgir. A condição 18 garante que o dispositivo de proteção não é ativado em regime de funcionamento correspondente à corrente de serviço ( $I_b$ ), evitando assim atuações desnecessárias. Por outro lado, garante também a interrupção da corrente caso esta seja maior do que a corrente admissível do condutor ( $I_z$ ). Relativamente à condição 19, esta tem como intuito garantir que correntes 45% acima da corrente admissível do condutor ( $I_z$ ) sejam interrompidas num tempo inferior ao tempo convencional.

É recomendado a colocação dos dispositivos de proteção em pontos onde possa haver uma redução da secção dos condutores, tais como pontos onde haja alteração do cabo ou do modo de como este é instalado.

### 3.5.2 Correntes de curto-circuito

As correntes de curto-circuito, obtidas no capítulo 3.4, são sobreintensidades resultantes de um abaixamento repentino da impedância entre dois pontos com potenciais elétricos diferentes, podendo ser proveniente de contactos acidentais (entre condutores, entre condutores e pessoas, entre condutores e a terra, etc) ou deficiência do isolamento dos cabos [22]. Esta diminuição da impedância causa um aumento brusco da intensidade de corrente que poderá provocar danos instantâneos ao cabo ou até mesmo comprometer a segurança das pessoas que se encontrem próximas do ponto de curto-circuito. Normalmente, este tipo de sobreintensidade apresenta um grau de severidade maior do que as correntes de sobrecarga por terem intensidades tipicamente maiores.

Para prevenir danos e garantir a segurança da instalação elétrica contra este tipo de sobreintensidade, é necessário selecionar um dispositivo de proteção capaz de reconhecer e interromper a circulação de corrente aquando do seu surgimento. Para tal, as condições abaixo apresentadas devem ser validadas:

$$Pdc \geq I_{ccmax} \quad (21)$$

$$t_{ap} \leq t_{ft} \quad (22)$$

$$t_{ap} \leq 5s \quad (23)$$

em que:

- $Pdc$  é o poder de corte do dispositivo de proteção [kA];
- $t_{ap}$  é o tempo de atuação do dispositivo de proteção [s];
- $t_{ft}$  é o tempo de fadiga térmica do cabo [s].

O poder de corte corresponde à corrente máxima que um dispositivo de proteção consegue interromper sem se danificar. Assim sendo, a condição 21 garante que o dispositivo de proteção é capaz de interromper a corrente de curto-circuito presumida no local da sua colocação, ou seja, a corrente de curto-circuito máxima.

Caso o valor de corrente admissível ( $I_z$ ) seja ultrapassado por alguns períodos de tempo, o condutor pode atingir a sua temperatura máxima que, por sua vez, conduz à sua degradação. Deste modo, as condições 22 e 23 garantem que, no surgimento de correntes de curto-circuito, o tempo de atuação do dispositivo de proteção é menor do que 5 segundos e menor do que o tempo de fadiga

térmica do cabo ( $t_n$ ), tempo necessário para o condutor começar a degradar-se e calculado através da Equação 24, onde  $k$  é um fator dependente do material do condutor e do isolante, obtido através da Tabela 5 (IEC 60724).

$$t_{ft} = \left( k \times \frac{S_{neutro}}{I_{ccmin}} \right)^2 \quad (24)$$

Tabela 5 - Valores de  $k$  para a obtenção do tempo de fadiga térmica de um cabo.

Material do condutor	Material isolante do condutor	
	PVC	XLPE
<b>Cobre</b>	115	143
<b>Alumínio</b>	76	94

Além dos materiais isolantes representados na tabela anterior, é também possível utilizar a borracha butílica como material isolante. Contudo, no âmbito deste projeto, este não será tido em conta por não ser utilizado com tanta frequência como o policloreto de vinilo (PVC) e o polietileno de vinilo (XLPE).

A localização dos dispositivos de proteção contra as correntes de curto-circuito seguem as mesmas regras e diretrizes implementadas para os dispositivos de proteção contra as correntes de sobrecarga. Contudo, existem algumas exceções que poderão levar à deslocação dos mesmos, exceções estas que não serão abordadas no âmbito deste projeto [12].

### 3.6 Cabo do ramal

Nas instalações elétricas de baixa tensão (tipo C), é necessário considerar o cabo da ligação entre a rede e a portinhola, ou seja, o cabo utilizado no ramal. Isto diminuirá a corrente de curto-circuito máxima que, conseqüentemente, diminui o poder de corte do dispositivo de proteção. Ao considerar este cabo, é possível beneficiar do facto de se poder instalar um quadro mais barato, pois quanto maior o poder de corte, mais caro será o quadro a utilizar.

Neste projeto, o cabo considerado é o LSVAV 3 x 185 + 95 com 20 metros de comprimento, enterrado no solo (entubado) ou à vista sobre braçadeiras [23].

### 3.7 Ramificação de uma instalação elétrica

Uma instalação elétrica é composta por vários troços, onde cada troço é composto por um circuito. Por sua vez, todos os troços conectam-se entre si de uma forma ramificada, podendo apresentar diversas configurações que dependem das necessidades expectáveis para a instalação elétrica a ser dimensionada. Um exemplo de vários troços interligados de uma forma ramificada está ilustrado na Figura 19.

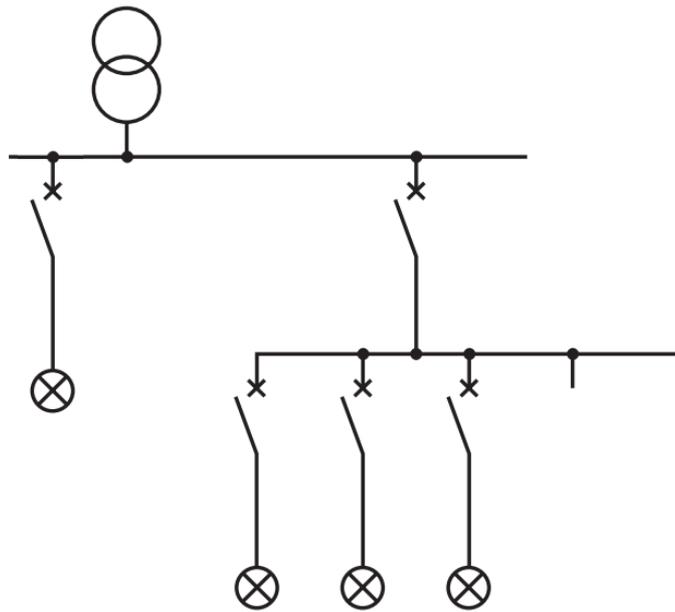


Figura 19 - Ilustração de uma instalação elétrica composta por vários troços.

No dimensionamento de uma instalação elétrica, é necessário repetir o processo de cálculo anteriormente descrito para cada circuito. Como se percebe pela Figura 19, todos os troços apresentam a origem num outro troço a montante, com exceção do troço de entrada da instalação. Deste modo, para o cálculo da impedância total de cada troço, terão que ser somadas não só as resistências e reactâncias da rede a montante, do transformador e do condutor a dimensionar, mas também as resistências e reactâncias dos condutores dos troços a montante, tal como está representado na fórmula seguinte:

$$Z_T = \sqrt{(R_{montante} + R_{transformador} + \sum R_{condutores\ a\ montante} + R_{condutor})^2 + (X_{montante} + X_{transformador} + \sum X_{condutores\ a\ montante} + X_{condutor})^2} \quad (25)$$

De forma análoga à soma das resistências e das reactâncias a montante, torna-se também necessário somar a queda de tensão a montante utilizando a Equação 26. Desta forma, é possível verificar se os limites especificados pela norma são obedecidos (Figura 17).

$$\Delta u_{total} = \Delta u_{parcial} + \Delta u_{montante} \quad (26)$$

### 3.8 Designação do cabo

A fim de identificar e adquirir os cabos dimensionados, é necessário utilizar uma designação padronizada comumente aceite pelos fabricantes de cabos elétricos. Segundo as RTIEBT, a designação consiste em símbolos agrupados num código alfanumérico segundo a norma HD 361 ou NP 665 [24], em que cada símbolo caracteriza uma propriedade do cabo elétrico, tal como o diâmetro da secção, o material isolante, o número de condutores e a flexibilidade. A designação comporta três partes [25]:

- Elementos e materiais constituintes do cabo elétrico, numa sequência a partir do centro (alça condutora) para a periferia;
- Composição do cabo (número e secção dos condutores);
- Tensão estipulada.

Na Tabela 6, estão apresentadas algumas combinações relativas aos elementos/materiais constituintes do cabo e à tensão estipulada.

Tabela 6 - Códigos alfanuméricos utilizados no DimCab.

<b>Código alfanumérico</b>	<b>Material condutor</b>	<b>Material isolante</b>	<b>Características</b>	<b>Utilização</b>
H07V	Cobre	PVC	Condutor rígido 450/750 V	Habitacões
FXV	Cobre	XLPE	Cabo flexível.	Instalações que não recebam público e instalações não propícias a incêndios.
LXV	Alumínio	XLPE	Cabo rígido.	Instalações que não recebam público e instalações não propícias a incêndios.
XZ1(fr, zh)	Cobre	XLPE	Cabo rígido retardante ao fogo.	Instalações que recebam público e instalações propícias a incêndios.
XZ1(fr, zh)	Cobre	XLPE	Cabo rígido resistente ao fogo.	Instalações que recebam público e instalações propícias a incêndios.
RZ1 K(AS)	Cobre	XLPE	Cabo flexível retardante ao fogo.	Instalações que recebam público e instalações propícias a incêndios.
XAV	Cobre	XLPE	Cabo rígido com armadura de rigidez elevada.	Cabos que estejam em condições extremas. Ex: Estruturas exteriores.
LSVAV	Alumínio	PVC	Cabo com armadura de rigidez elevada.	Distribuição de energia. Ex: Iluminação pública.

No que concerne ao número e secção nominal dos condutores, estes são designados segundo a Tabela 7 [24].

Tabela 7 - Símbolos referentes ao número e secção nominal dos condutores utilizados na designação de cabos elétricos.

<b>Símbolo</b>	<b>Características</b>
$nXS$	n condutores de secção nominal $s \text{ mm}^2$
$nGs$	n condutores de secção nominal $s \text{ mm}^2$ , um dos quais é o condutor de proteção
$n_1XS_1 + n_2XS_2$	$n_1$ condutores de secção nominal $s_1 \text{ mm}^2$ e $n_2$ condutores de secção nominal $s_2 \text{ mm}^2$
$n_1XS_1 + n_2Gs_2$	$n_1$ condutores de secção nominal $s_1 \text{ mm}^2$ e $n_2$ condutores de secção nominal $s_2 \text{ mm}^2$ um dos quais é o condutor de proteção

## 4. ANÁLISE E CONCEÇÃO

Neste capítulo é realizada a análise e concepção do *software* DimCab, incluindo o levantamento de requisitos, o estudo de casos de uso e a descrição da arquitetura e estrutura de dados. A linguagem de programação escolhida para a implementação foi o *Python* 3.9 [26], pois possibilita a utilização de várias bibliotecas e *frameworks* de modo a obter o resultado pretendido de uma forma eficaz. Além disto, este *software* foi implementado segundo o paradigma POO (programação orientada a objetos) [27]. De forma a ilustrar e documentar o comportamento do sistema desenvolvido, são utilizados diagramas na linguagem de modelagem UML (*Unified Modeling Language*) [28][29].

### 4.1 Requisitos

Para o desenvolvimento de um *software* é necessário analisar e estabelecer requisitos com o intuito de definir uma estrutura interna e uma organização do sistema que possibilitam o cumprimento dos mesmos. O levantamento de requisitos foi realizado segundo ferramentas de *software* para dimensionamento de instalações elétricas existentes no mercado e segundo exigências/necessidades dos utilizadores do DimCab.

Existem dois tipos de requisitos: os requisitos funcionais (RF) e os requisitos não funcionais (RNF). Os requisitos funcionais estão relacionados às funcionalidades do *software*, ou seja, refletem o que o sistema deve fazer. Já os requisitos não funcionais, também chamados de atributos de qualidade, referem-se aos critérios que qualificam os requisitos funcionais [30]. Posto isto, os requisitos funcionais e não funcionais mais importantes que o DimCab terá que cumprir estão apresentados na Tabela 8 e Tabela 9 respetivamente.

Tabela 8 - Requisitos funcionais.

<b>Identificador</b>	<b>Requisito</b>
RF 1	Dimensionamento de uma instalação elétrica
RF 1.1	Dimensionamento de um troço
RF 1.2	Quando um troço é dimensionado, os resultados dos troços a jusante devem ser atualizados automaticamente
RF 2	Erros de dimensionamento devem ser localizados e devidamente identificados, podendo ser automaticamente corrigidos
RF 3	Obtenção de um ficheiro com todos os resultados do dimensionamento
RF 4	Gestão dos projetos

Tabela 9 - Requisitos não funcionais.

<b>Identificador</b>	<b>Designação</b>	<b>Requisito</b>
RNF 1	Fiabilidade	Os resultados dos dimensionamentos terão que ser fiáveis e de acordo com as normas e regras de dimensionamento de uma instalação elétrica
RNF 2	Simplicidade	A interface gráfica do DimCab deve ser simples e intuitiva. Isto não só facilita o processo de dimensionamento, mas também permite a deteção de eventuais erros que possam surgir ao longo do mesmo
RNF 3	Adaptabilidade	Atualizações da norma e das regras de dimensionamento de instalações elétricas ou a alteração para uma outra norma diferente da utilizada neste projeto devem ser facilmente reconfiguráveis
RNF 4	Multiplataforma	O DimCab deverá ser um software desenvolvido para os sistemas operativos mais comuns, tais como Windows, MacOs e Linux
RNF 5	Instalação simples	A instalação do DimCab deverá ser prática e simples, através do uso de um instalador

## 4.2 Casos de uso

O diagrama de casos de uso é caracterizado por apresentar, sucintamente, o comportamento esperado do sistema, sem que para isso seja mostrado a ordem pela qual os passos são executados [31]. Assim sendo, o diagrama de casos de uso obtido, de acordo com os requisitos funcionais, encontra-se apresentado na Figura 20.

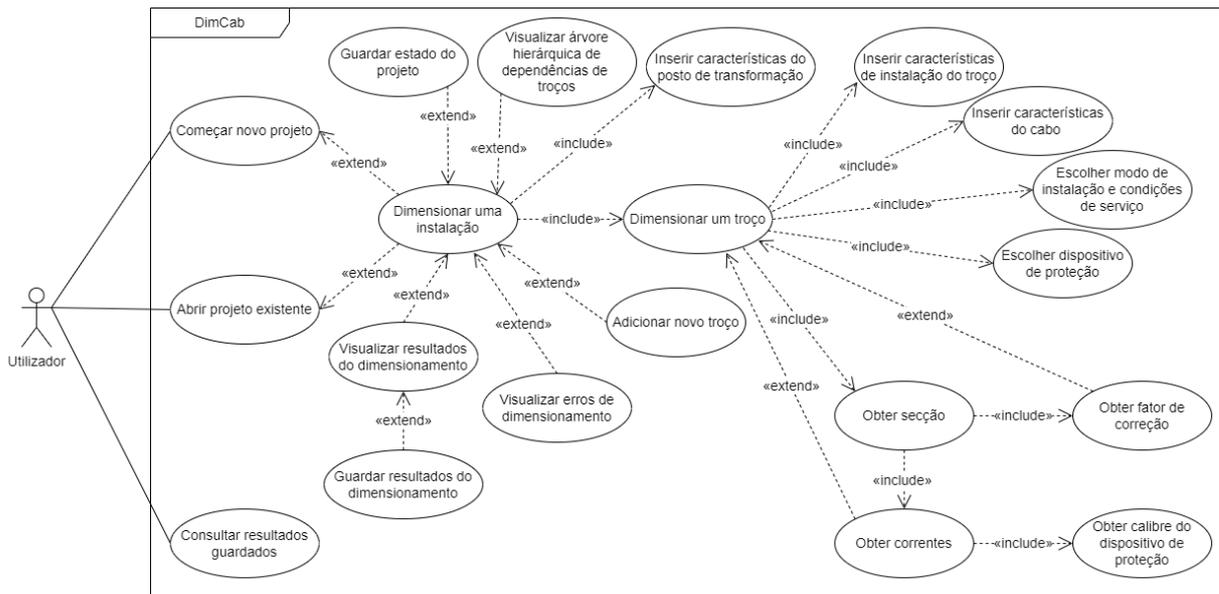


Figura 20 - Diagrama de casos de uso do DimCab.

Os casos de uso “abrir um novo projeto” e “abrir projeto existente”, tal como os nomes indicam, são referentes aquando do utilizador desejar começar ou carregar um projeto existente (RF 1). Contudo, isto não obriga a realização ou alteração do dimensionamento, justificando então a utilização dos «*extend*» com o caso de uso “Dimensionar uma instalação”. Por outro lado, no caso de uso “Consultar resultados guardados”, o utilizador tem a possibilidade de consultar os resultados de um dimensionamento já realizado, sem que para isso, seja carregado o respetivo projeto.

No processo de dimensionamento no DimCab (caso de uso “Dimensionar uma instalação”), deve ser possível guardar o estado de um projeto para utilização futura, adicionar um troço, visualizar a configuração dos troços (ramificação da instalação), verificar os resultados em tempo real e detetar erros de dimensionamento (RF 2). Por sua vez, o dimensionamento de um troço (caso de uso “Dimensionar um troço”) deve compreender o preenchimento de todos os dados de entrada, realização dos cálculos e obtenção dos resultados (caso de uso “Obter secção”). O utilizador deve conseguir obter valores de cálculos intermédios sem ser necessário obter uma secção. Por este motivo, são utilizados os «*extend*» nos casos de uso “Obter correntes” e “Obter fator de correção”.

Segundo o requisito funcional 3 da Tabela 8, o DimCab deve dispor da capacidade de exportar os resultados para um ficheiro *Excel* com a formatação comumente utilizada pelos responsáveis por este tipo de projetos (RF 3). Para a satisfação deste requisito, é inserido o caso de uso “Guardar resultados de dimensionamento” no diagrama da Figura 20.

### 4.3 Arquitetura

A arquitetura de *software* é a forma de como um sistema está organizado, incluindo todos os seus componentes e como estes interagem entre si. Atualmente, existem vários padrões arquiteturais estudados, testados e documentados que facilitam a alocação das funcionalidades aos diversos componentes [32]. A escolha de um padrão arquitetural de *software* está diretamente relacionada com alguns atributos definidos no capítulo 4.1 [33], pois a escolha de uma arquitetura influencia aspetos como o desempenho, a qualidade, facilidade de manutenção e escalabilidade. Neste projeto, foi utilizado o padrão arquitetural em camadas, que confere flexibilidade e portabilidade ao DimCab, resultando numa maior facilidade de manutenção e reuso de cada componente do sistema (RNF 3). Contudo, esta arquitetura poderá implicar alguma perda de desempenho, o que não é relevante para a aplicação em causa, pois será insignificante face aos tempos da interação com o utilizador.

Posto isto, na Figura 21 está apresentada a arquitetura do DimCab:

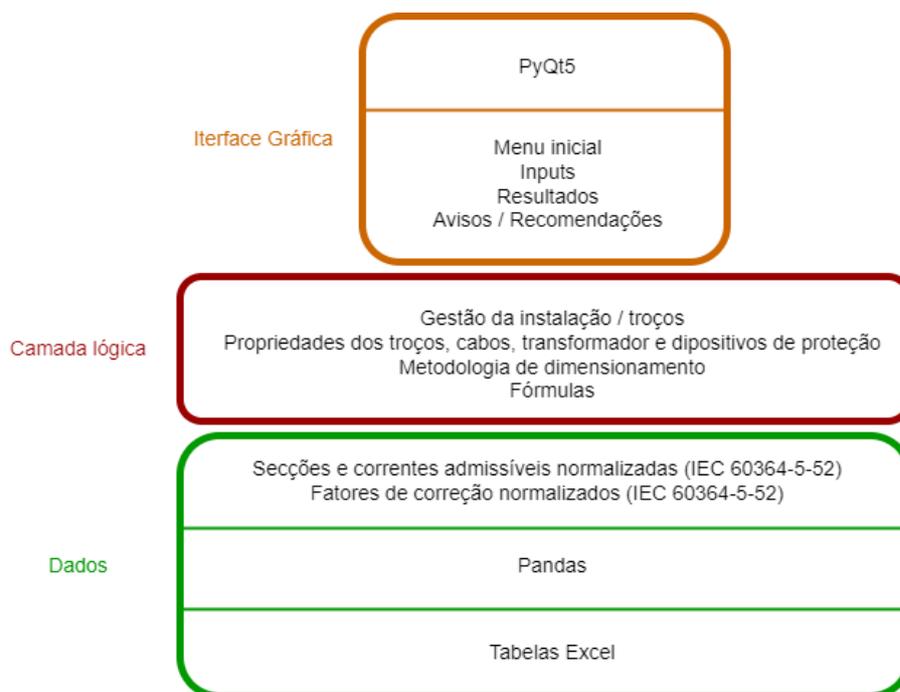


Figura 21 - Arquitetura em camadas do DimCab.

No desenvolvimento do DimCab, são utilizadas determinadas bibliotecas de forma a ter à disposição funcionalidades que possibilitam a realização de determinadas tarefas. Para o acesso a certas funções matemáticas, é utilizada a biblioteca nativa *math* [34]. Para o carregamento e acesso às tabelas de valores normalizados da camada “Dados”, é utilizada a biblioteca *Pandas* [35], na qual permite a criação de *Dataframes* (estruturas de dados bidimensionais) a partir de *datasets* provenientes de, por exemplo, base de dados *SQL*, ficheiros *CSV* e ficheiros *Excel*. Uma vez que os dados normalizados estão armazenados em ficheiros *Excel*, a utilização desta biblioteca torna-se essencial. Para a criação e ilustração da configuração dos troços é utilizada a biblioteca *Networkx* [36]. A criação e escrita do ficheiro *Excel*, que contém os resultados do dimensionamento, é realizada utilizando a biblioteca *x/wt* [37].

Em *Python* existem várias bibliotecas disponíveis para o desenvolvimento de interfaces gráficas. A sua escolha depende do que se pretende obter no *software* e do tipo de linguagem que o desenvolvedor se sente mais confortável. Neste projeto, foi utilizada a biblioteca *PyQt5* [38], devido ao facto de esta ser a que apresenta mais flexibilidade, variedade de *widgets* e melhores resultados visuais em relação a outras bibliotecas. O *Qt* é um *framework* multiplataforma para o desenvolvimento de interfaces gráficas em C++. Assim sendo, o *PyQt5* é uma biblioteca que permite a utilização do *Qt* [39] na linguagem de programação *Python*, apresentando também uma ampla variedade de APIs unificadas numa só, tais como *SQL*, banco de dados, *XML*, *JSON* e *threads* (RNF 4). Esta biblioteca possibilita a utilização da ferramenta *Qt Designer*, que torna o processo de desenvolvimento da interface gráfica mais simples e eficaz, através do método WYSIWYG (what-you-see-is-what-you-get) [40].

#### 4.4 Estrutura de dados

Tal como está representado na Figura 21, a camada lógica é responsável pelos diversos parâmetros de dimensionamento e pela gestão dos vários troços. Assim sendo, esta camada é dividida em várias classes correspondentes aos diversos componentes dimensionáveis de uma instalação elétrica, nomeadamente o cabo, o dispositivo de proteção, o transformador, o troço e a própria instalação elétrica (RNF 3).

Cada objeto contém como atributos os parâmetros físicos característicos do componente elétrico dessa classe. O material isolante, o material condutor, o comprimento e a secção são exemplos de atributos representativos dos parâmetros físicos do cabo. Na classe do dispositivo de proteção, os atributos são o calibre, o poder de corte, o tipo de dispositivo e a corrente convencional de funcionamento. Relativamente à classe do transformador, os atributos são a potência, a potência de curto-circuito a montante, o número de transformadores em paralelo, a tensão de curto-circuito, a

resistência e a reactância. Já a classe do troço contém como atributos, como por exemplo, o nome do troço, modo de instalação, temperatura, número de circuitos, tensão, correntes de curto-circuito, corrente de serviço e queda de tensão. Por fim, a classe da instalação é responsável pela organização e estruturação dos diferentes troços. É nesta classe que é definida e armazenada a ramificação da instalação elétrica através de, por exemplo, um dicionário, em que cada chave corresponde a um troço e a sua lista de valores os seus troços imediatamente a jusante.

## 5. IMPLEMENTAÇÃO

Neste capítulo é apresentado o desenvolvimento e implementação do DimCab, incluindo a estrutura interna e o comportamento individual de cada componente do *software*.

### 5.1 Algoritmo de dimensionamento de um trecho

Numa fase inicial deste projeto, foi desenvolvido um *script* no qual os *inputs* são inseridos através da linha de comandos do *Windows*. Este *script* teve como intuito representar o processo de dimensionamento simplificado de um único trecho, com base em documentos para dimensionamento de instalações elétricas. Além disto, com o desenvolvimento deste programa consola, foi possível gerar e testar o acesso aos ficheiros das tabelas de valores normalizados de correntes e fatores de correção que são usados como base de dados no DimCab.

Na Figura 22 está ilustrado o diagrama de atividades [41] representativo deste *script*, sendo que os subdiagramas correspondentes ao cálculo dos parâmetros de dimensionamento e à validação encontram-se apresentados na Figura 23.

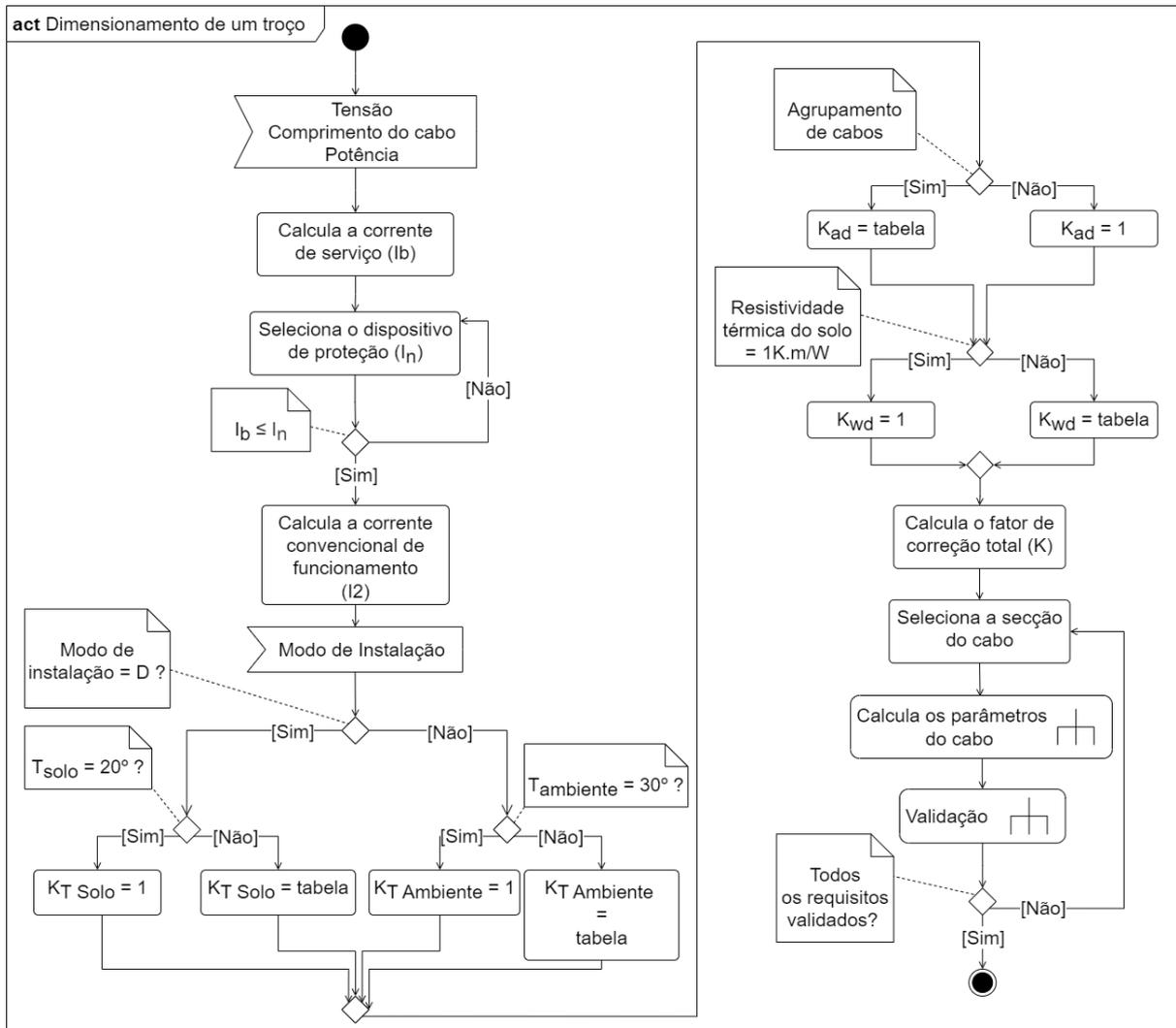


Figura 22 - Diagrama de atividades do *script* para o dimensionamento de um troço.

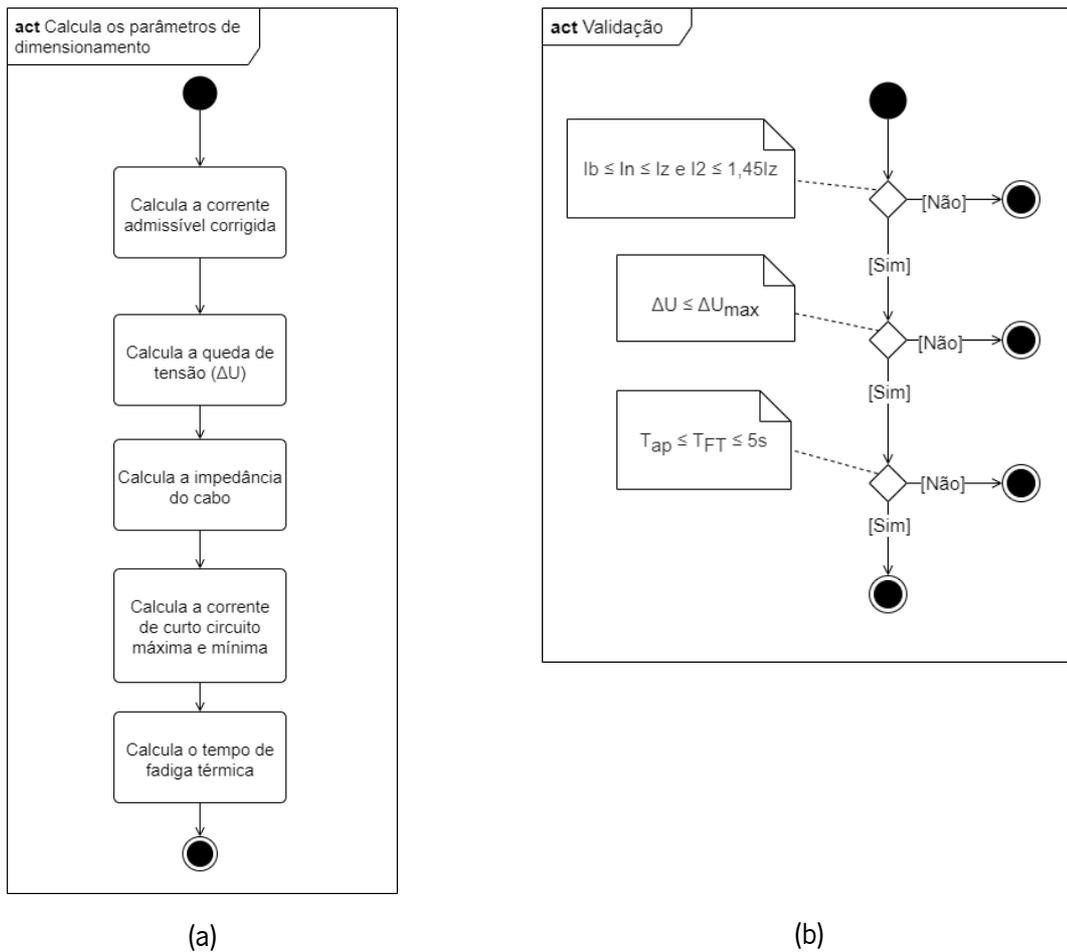


Figura 23 - Diagramas de atividades do (a) cálculo dos parâmetros de dimensionamento e da (b) validação de um trecho.

## 5.2 Camada lógica

A camada lógica, tal como foi mencionado no capítulo 4.4, é dividida em classes representativas da instalação, do trecho, do cabo, do dispositivo de proteção e do transformador. Uma instalação elétrica pode conter um ou mais trechos. Por sua vez, cada trecho contém um cabo, um dispositivo de proteção e um transformador (caso seja o primeiro trecho da instalação elétrica). Posto isto, na Figura 24 está ilustrado o diagrama de classes da camada lógica [42]:

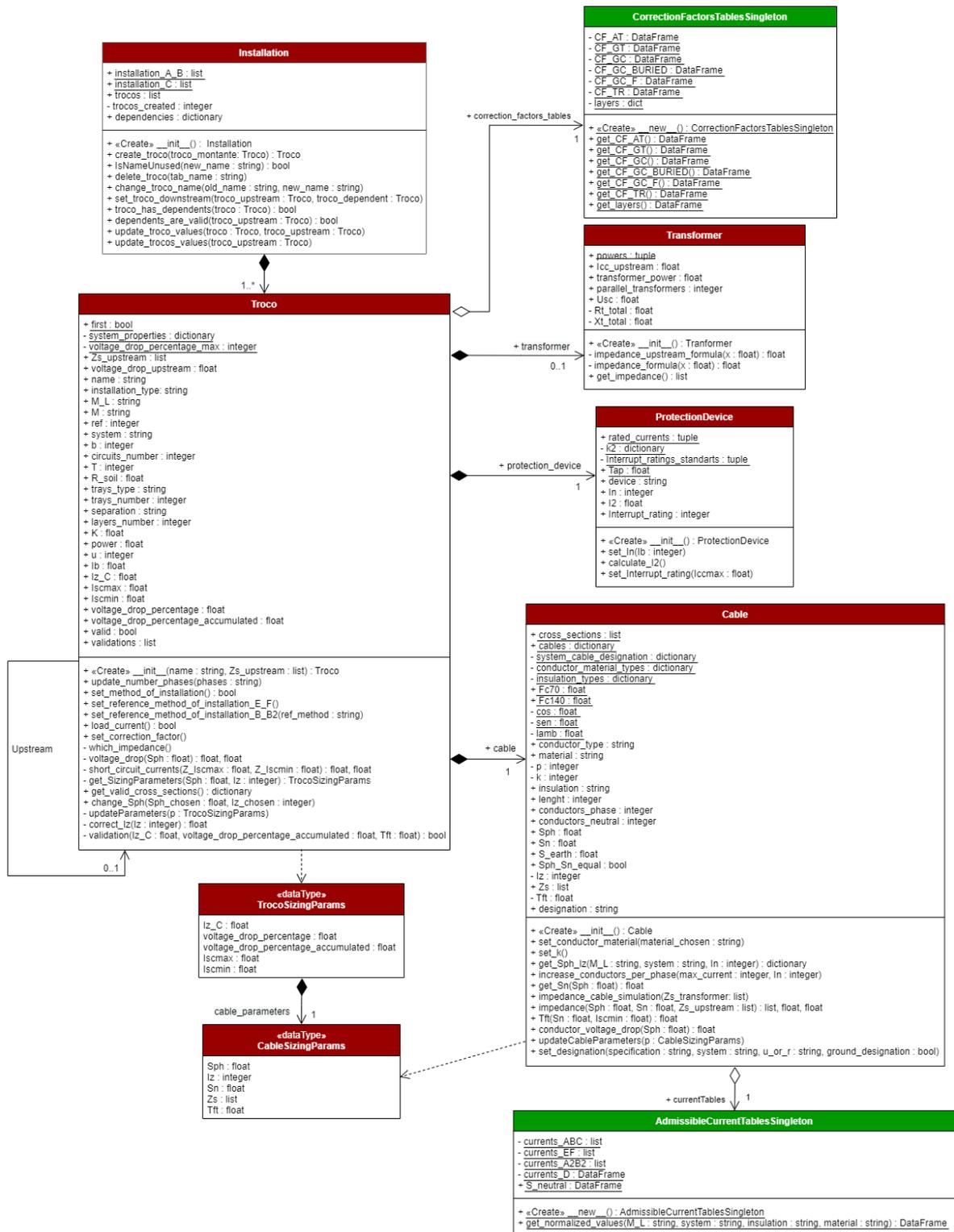


Figura 24 - Diagrama de classes da camada lógica.

A linguagem de programação *Python* não possui nenhum mecanismo que efetivamente restrinja o acesso a atributos ou métodos, ou seja, não existe a possibilidade de, numa classe, colocar uma variável ou função como privadas ou protegidas. Assim sendo, neste projeto não será considerado o conceito de encapsulamento característico da programação orientada a objetos. Contudo, os atributos ou métodos

que apenas são manipulados no interior da sua classe têm a sua visibilidade privada por convenção. Esta convenção resume-se a inserir dois *underscores* (“\_\_”) antes do nome do atributo ou método de forma a defini-los como privados.

A classe *Installation*, para além de ser responsável por gerir os troços da instalação elétrica (RF 1), é também responsável por atualizar os valores de queda de tensão e impedâncias, caso a origem dos troços seja alterada ou os valores de algum troço a montante sejam recalculados (RF 1.2). A classe Troco é responsável pela metodologia de dimensionamento, contendo métodos para, por exemplo, obter o fator de correção, calcular a corrente de serviço e validar o dimensionamento (RF 1.1). As classes *Cable*, *ProtectionDevice* e *Transformer* são responsáveis por fornecer ou calcular os parâmetros característicos de cada componente à classe Troco, tais como as secções dos condutores, o tempo de fadiga do cabo, a corrente convencional de funcionamento do dispositivo de proteção ou a impedância do transformador.

As tabelas com os valores normalizados de correntes e fatores de correção são colocadas em classes *Singleton*, de forma a garantir que estas são carregadas apenas uma vez durante a utilização do DimCab.

As *dataTypes TrocoSizingParams* e *CableSizingParams* correspondem a *namedtuples* que guardam os parâmetros do dimensionamento de uma determinada secção.

#### 5.2.1 Obter correntes

A corrente de serviço é calculada através do método *load\_current* da classe Troco. No DimCab, o valor máximo de calibre que um dispositivo de proteção pode ter é 4000 A. Segundo a condição 18, a intensidade de corrente de serviço terá que ser menor que o calibre do dispositivo de proteção. Assim sendo, no processo de cálculo da corrente de serviço, caso o valor obtido seja maior que 4000 A, a potência será recalculada para uma intensidade de corrente de serviço máxima de 3999 A.

Por sua vez, o calibre do dispositivo de proteção é obtido através do método *set\_In* da classe *ProtectionDevice*, onde é selecionado um valor normalizado imediatamente maior do que o da corrente de serviço. Isto faz com que parte da condição 18 seja forçosamente obedecida, evitando automaticamente este tipo de erros de dimensionamento (RNF 1). Em seguida, através do valor do calibre, é possível obter a corrente convencional de funcionamento com a execução do método *calculate\_I2*.

#### 5.2.2 Obter fator de correção

O fator de correção total é calculado no método *set\_correction\_factors* da classe Troco. O acesso às tabelas é realizado segundo o diagrama de sequência da Figura 25 [43].

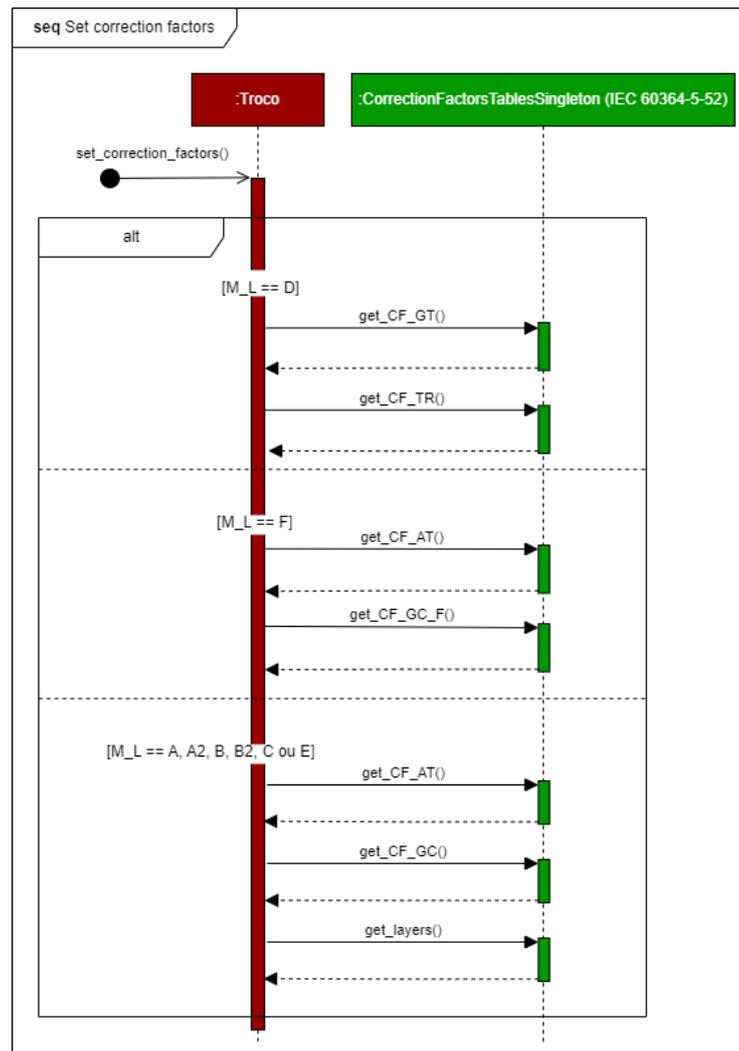


Figura 25 - Diagrama de seqüência do acesso às tabelas normalizadas de fatores de correção.

Todos os retornos presentes neste diagrama são *Dataframes* com os valores de fatores de correção correspondentes ao modo de instalação escolhido pelo utilizador. De seguida, através da propriedade *loc* da biblioteca *Pandas* e considerando vários *inputs* introduzidos pelo utilizador (temperatura, número de circuitos, material isolante e resistividade do solo), é possível obter os valores de fator de correção desejados ( $k_1$ ,  $k_2$ ,  $k_3$ ) (RNF 1). Por fim, é aplicada a Equação 2 para a obtenção do fator de correção total, atualizando-o no atributo do objeto Troco.

### 5.2.3 Obter secções válidas

O procedimento de obtenção da secção válida do condutor compreende a seleção de uma secção, seguida do cálculo de todos os seus parâmetros de dimensionamento e, por fim, a sua validação. A validação de uma secção implica que as secções com maior diâmetro também irão ser válidas. Deste

modo, para encontrar a secção válida mínima é utilizado um processo iterativo, tal como está representado no diagrama de sequência da Figura 26.

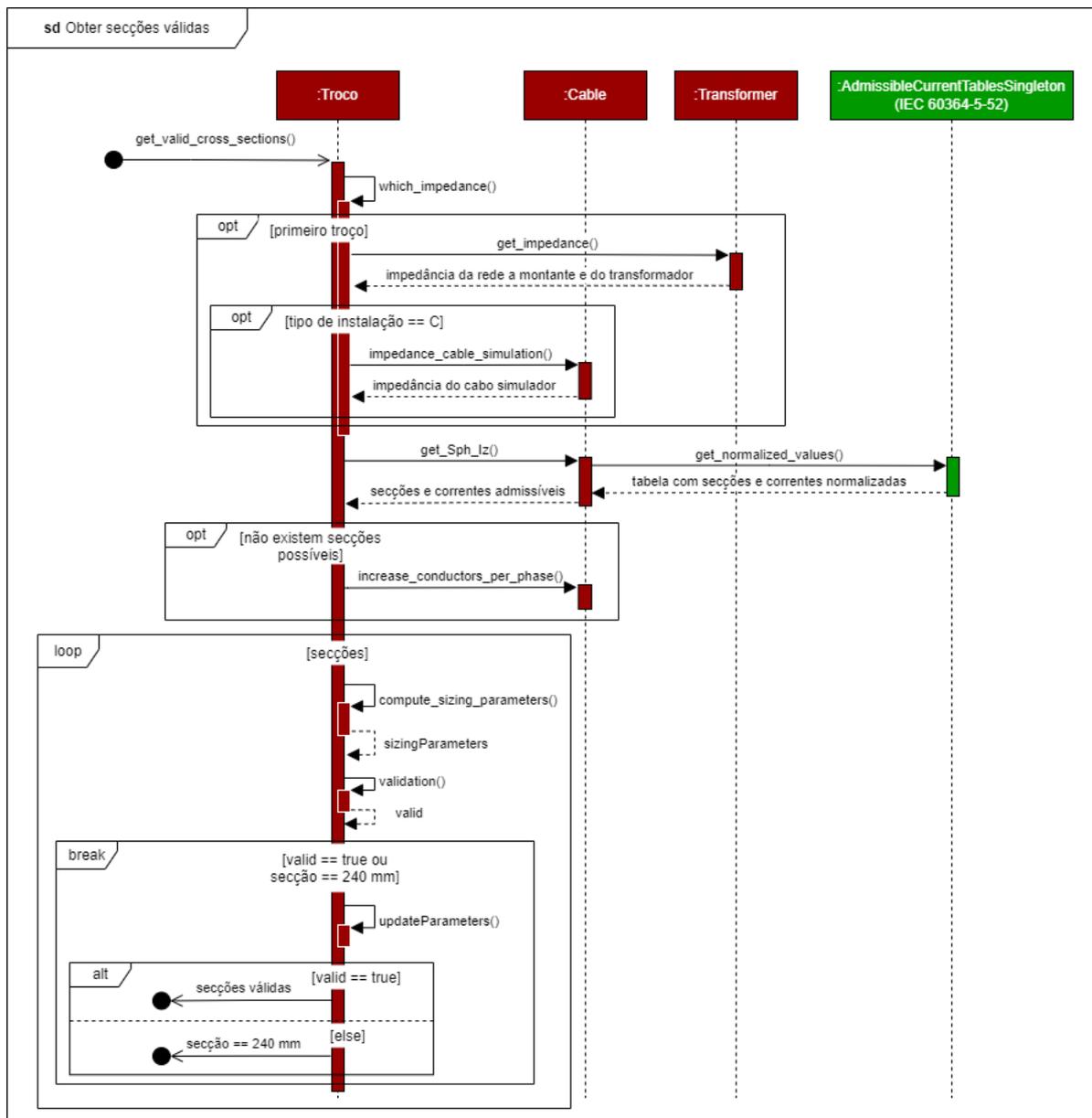


Figura 26 - Diagrama de sequência da obtenção das secções válidas.

Primeiramente, é verificado se o troço a ser dimensionado é o primeiro troço da instalação elétrica. Caso seja, são calculados os valores de impedância do transformador e da rede a montante da instalação. Para instalações elétricas do tipo C, é calculada a impedância do cabo do ramal (capítulo 3.6), através do método *impedance\_cable\_simulation*, sendo esta somada com as impedâncias do transformador e rede a montante anteriormente calculadas. De seguida, são consultadas as tabelas normalizadas de correntes admissíveis do objeto *Singleton*. Este objeto devolve uma coluna de valores

que são dependentes do modo de instalação, tipo de sistema (monofásico/trifásico), material isolante e material do condutor que o utilizador definiu nos dados de entrada (RNF 1). Já o objeto *Cable* devolve ao objeto Troco apenas os valores de corrente admissível maiores que o calibre do dispositivo de proteção, de forma a cumprir com a condição 18 (RNF 1). Na eventualidade de não existir nenhuma secção que satisfaça esta condição, o número de condutores por fase irá ser aumentado automaticamente para um valor que torne a corrente admissível total maior do que o valor do calibre do dispositivo de proteção.

Em seguida, é realizado o processo iterativo anteriormente mencionado, onde os parâmetros para cada secção são calculados (Figura 27) e consecutivamente validados (Figura 23 (b)).

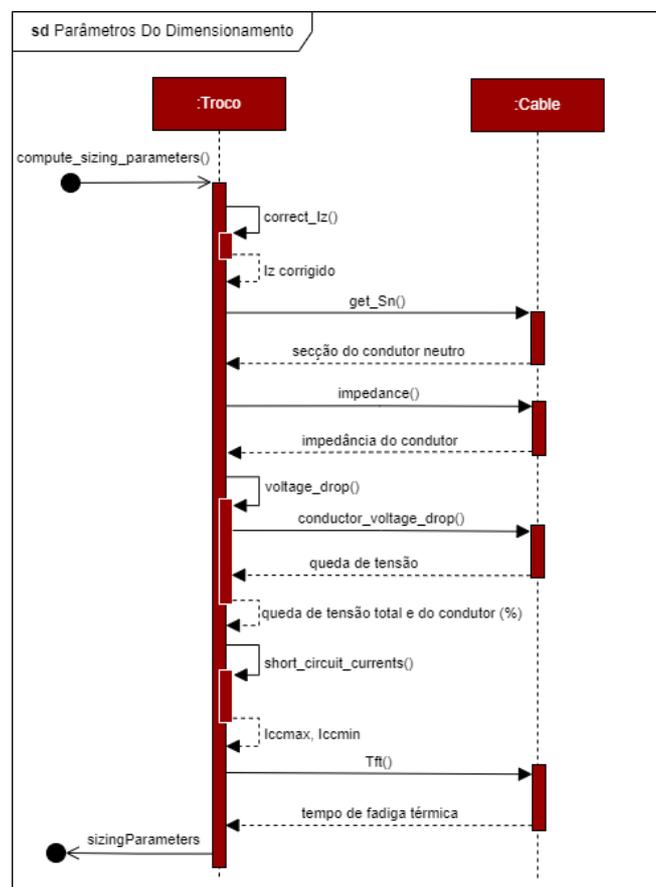


Figura 27 - Diagrama de sequência dos cálculos dos parâmetros do dimensionamento.

O processo iterativo termina logo que seja encontrada a primeira secção válida (retornando todas as secções válidas) ou quando nenhuma secção é válida (retornando apenas a secção de 240 mm ou 120 mm para os modos de instalação B e B2). Em cada iteração, os parâmetros do dimensionamento da última secção (*sizingParameters*) ficam guardados nas *namedtuples TrocoSizingParams* e *CableSizingParams*. Quando o processo iterativo acaba estas variáveis são usadas para atualizar todos os atributos dos respetivos objetos, através do método *updateParameters*.

### 5.3 Interface gráfica

A interface gráfica tem como principal objetivo a comunicação entre o utilizador e a camada lógica do sistema, através dos campos de *inputs*, janelas de resultados, avisos/recomendações, etc. Tal como foi referido no capítulo 4.3, para a sua construção e desenvolvimento, foi utilizada a biblioteca *PyQt5* auxiliada pela ferramenta *Qt Designer*. Na Figura 28 está representado o diagrama de classes da interface gráfica e como esta interage com a camada lógica, sendo que cada objeto corresponde a uma janela (diagrama completo no Apêndice 1):

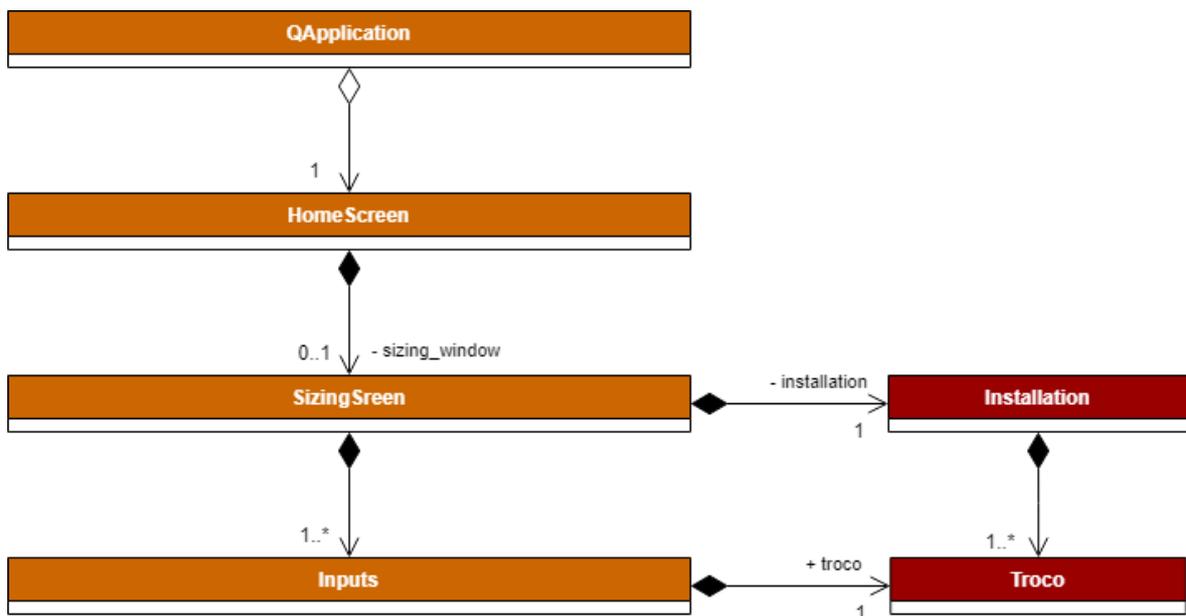


Figura 28 - Diagrama de classes da interação da interface gráfica com a camada lógica.

A classe *QApplication* gere o fluxo da interface gráfica do *software* e as suas principais configurações. Esta classe é responsável pela inicialização e encerramento da aplicação e por todos os eventos processados e enviados do sistema de janelas. Posto isto, qualquer interface gráfica contruída com a *framework Qt*, requer a existência de um objeto *QApplication*, independentemente do número de janelas que a aplicação poderá vir a ter.

No diagrama de classes da Figura 28 estão apresentadas apenas as classes das janelas principais do DimCab, sendo elas o menu inicial (*HomeScreen*), a página de dimensionamento (*SizingScreen*) e a janela dos *inputs* (*Inputs*). A classe *SizingScreen* instancia a classe *Installation* da camada lógica, sendo então responsável por conter e gerir todos os troços da instalação elétrica na interface gráfica. Por sua vez, a classe *Inputs* instancia a classe *Troco* da camada lógica, sendo então responsável por conter os dados de entrada e os resultados de cada troço.

Todos os *layouts* foram criados na ferramenta *Qt Designer*, na qual devolve um ficheiro *.ui* com a configuração desejada. Este ficheiro é carregado no construtor da classe através do método *loadUI* do *PyQt5*, responsável por gerar o respetivo código *Python*.

Por uma questão de simplicidade, nos diagramas de classes de cada janela, apenas serão ilustrados os atributos que correspondem à componente lógica da interface gráfica, ou seja, atributos relacionados com o *Qt*, tais como a criação de botões, tabelas, caixas de texto, entre outros, não estarão explícitos nesses mesmos diagramas.

### 5.3.1 Menu inicial

O menu inicial, criado pela classe *HomeScreen*, é a primeira janela que é apresentada ao utilizador aquando do arranque do DimCab. Esta classe é responsável por começar ou carregar um projeto de dimensionamento, sendo que em ambas as hipóteses, é criado um objeto da classe *SizingScreen*. Por outro lado, a classe *HomeScreen* é também responsável por criar um objeto da classe *PreviousSizingResults*, no caso do utilizador desejar consultar os resultados de um projeto de dimensionamento realizado anteriormente.

Deste modo, na Figura 29 está apresentado o diagrama de classes referente ao menu inicial (RF 4):

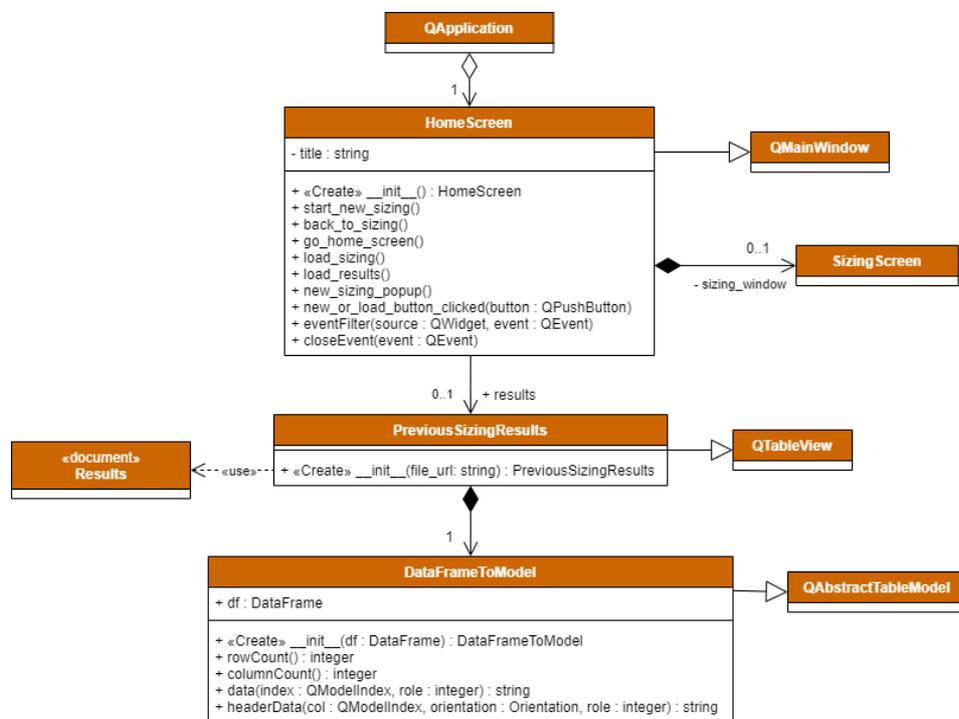


Figura 29 - Diagrama de classes do menu inicial.

A classe *HomeScreen* é constituída por um *QStackedWidget* com duas páginas. A primeira página contém o menu inicial, enquanto a segunda é destinada ao ecrã de dimensionamento (*SizingScreen*). Na circunstância de haver uma janela de dimensionamento aberta e o utilizador desejar abrir ou criar outra nova, o objeto *SizingScreen* antigo será destruído e será instanciado um outro da mesma classe.

A interface do menu inicial está apresentada na Figura 30, em que o primeiro botão é responsável por criar um novo projeto, o segundo por carregar um projeto, o terceiro por voltar ao projeto em curso (ativado quando há algum projeto aberto) e o quarto por carregar resultados.

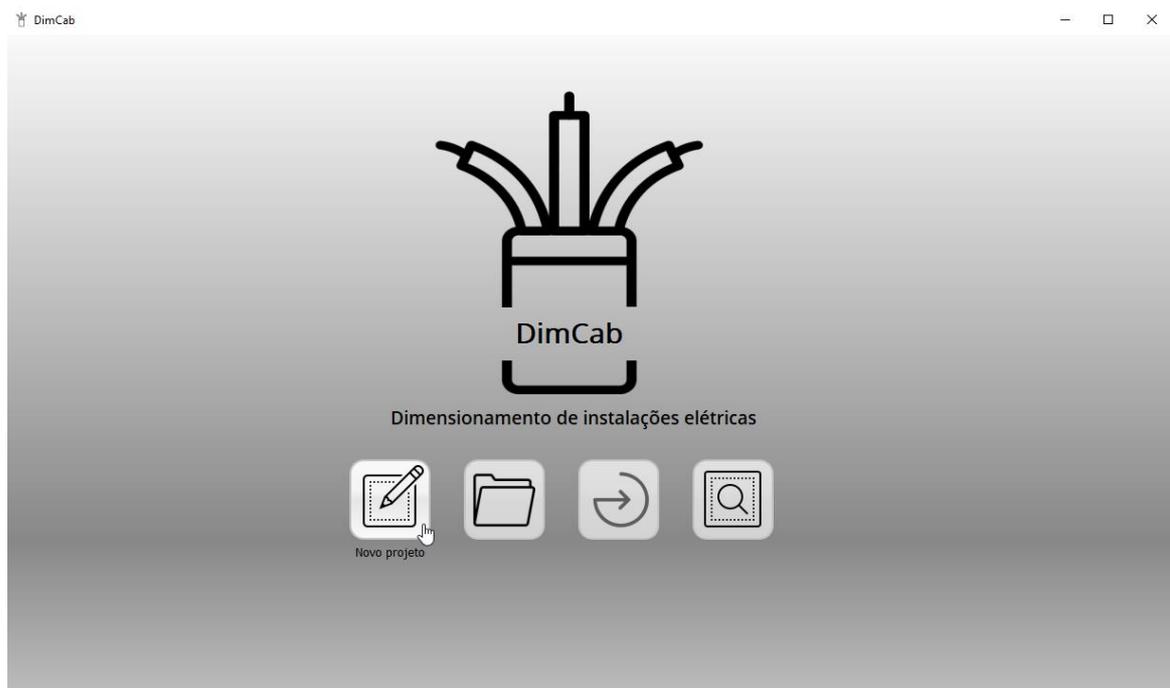


Figura 30 - Interface gráfica do menu inicial.

A classe *PreviousSizingResults*, que herda a classe *QTableView* do *PyQt5*, ilustra uma tabela com os resultados de um projeto de dimensionamento guardados em ficheiro *Excel*. Para ler o conteúdo do ficheiro é utilizada a biblioteca *Pandas*, obtendo assim um *DataFrame* que será convertido para um *model* na classe *DataFrameToModel* (reimplementação da classe *QAbstractTableModel*). Por fim, este *model* é utilizado para o preenchimento da *QTableView*.

### 5.3.2 Janela de *inputs*

A janela de *inputs* é responsável por conter todos os *widgets* para o dimensionamento de um troço, nomeadamente os dados de entrada, botões de dimensionamento e respetivos resultados (RF 1.1). Esta janela é implementada através da classe *Inputs*, na qual herda a classe *QWidget* do *PyQt5*, e o seu diagrama de classes está apresentado na Figura 31.

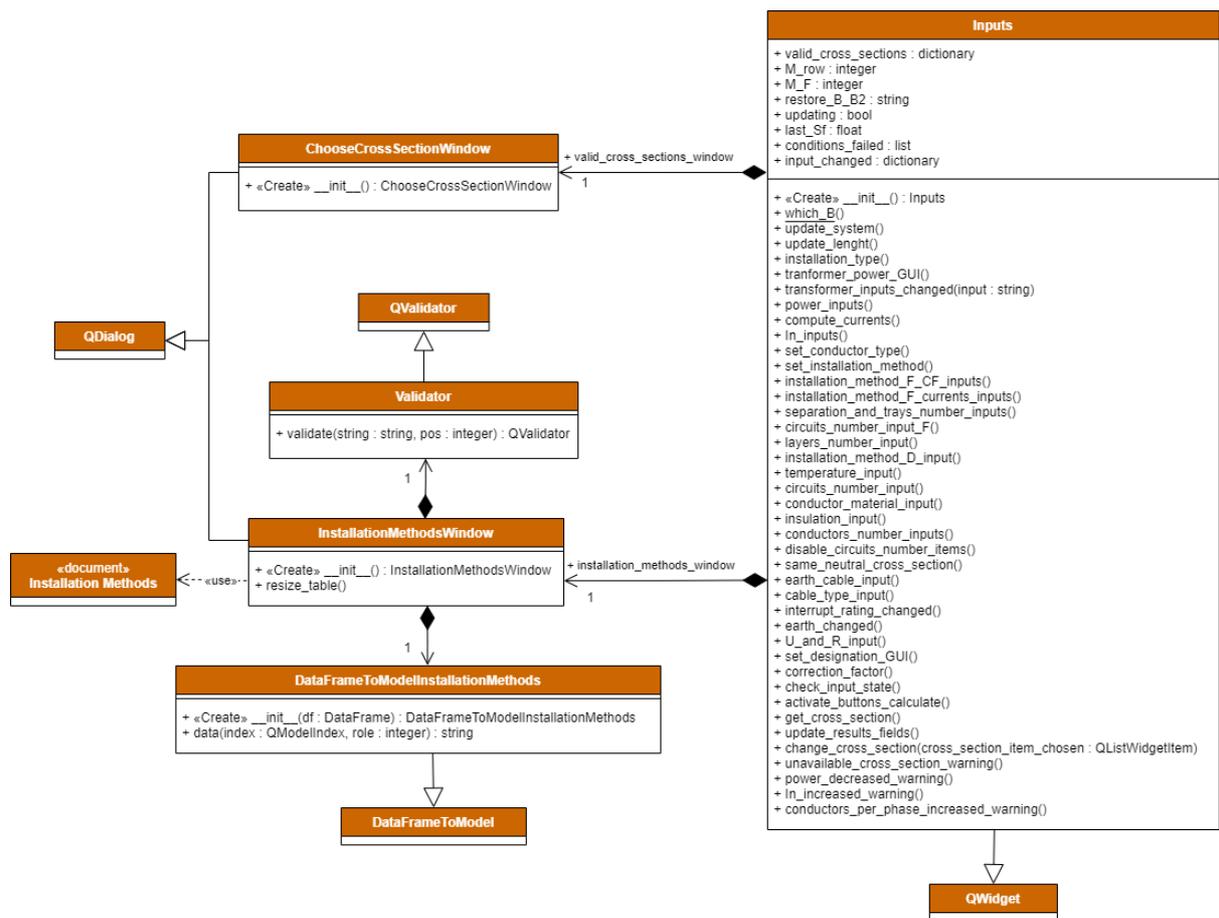


Figura 31 - Diagrama de classes da janela de *inputs*.

A classe *Inputs* corresponde à componente gráfica do objeto Troço da camada lógica, ou seja, a modificação de atributos e invocação de métodos deste objeto são realizados pelo utilizador através desta classe. O *layout* obtido para o dimensionamento de um troço encontra-se na Figura 32 (RNF 2):

The image shows a complex software interface for cable sizing, organized into several sections:

- Instalação:** Includes radio buttons for installation type (A, B, C), a system selection (Monofásico, Trifásico), a neutral scheme dropdown (TT), and a length input field.
- Posto de transformação (PT):** Contains fields for Ucc, Icc a montante, nominal transformer power (50 kVA), and a checkbox for normalized power.
- Cabo:** Divided into material (Cobre, Alumínio), insulation (PVC, XLPE), number of conductors per phase, and conductor type (Multicondutor, Monocondutor).
- Fatores de correção (FC):** Includes ambient temperature and number of circuits/cables.
- Dispositivo de proteção:** Features a dropdown for protection device (Disjuntor Compacto) and a checkbox for normalized current.
- Verificar correntes:** Input fields for admissible current, operating current, and protection device rating.
- Verificar FC:** A field for total correction factor with an edit icon.
- Obter Secção:** Input fields for phase, neutral, and earth conductor sections, and a dropdown for breaking capacity.
- Results:** Output fields for maximum and minimum Icc, and partial and total voltage drop.

Figura 32 - *Layout* da interface gráfica da janela de *inputs*.

Segundo esta figura, pode-se dividir o *layout* em duas partes:

- Dados de entrada (divisão superior) – contém os dados de entrada necessários para o dimensionamento de um troço. Estes encontram-se divididos em secções consoante a sua natureza, podendo ser relativos ao tipo de instalação, ao cabo, ao posto de transformação, ao dispositivo de proteção ou aos fatores de correção;
- Resultados (divisão inferior) – contém os botões para o dimensionamento do troço e os campos para a ilustração dos resultados.

De salientar que, o botão superior esquerdo da janela de *inputs* (Figura 32) tem a funcionalidade de voltar para o troço a montante, sendo a função apenas aplicável na classe *SizingScreen*.

Os *widgets* apresentados para o utilizador alteram conforme determinados dados de entrada. Exemplo disto é a seleção do modo de instalação, no qual influencia os dados de entrada para os fatores de correção. A título de exemplo, na Figura 33 estão apresentados os dados de entradas relativos aos fatores de correção para os modos de instalação B e F.

Figura 33 - Dados de entrada dos fatores de correção para os modos de instalação B(esquerda) e F(direita).

Além dos *widgets* apresentados, o seu conteúdo também altera consoante outros dados de entrada. Exemplos disto são o tipo de instalação e o número de condutores por fase. O tipo de instalação influencia as potências que podem ser selecionadas no campo “Potência contratada” [44]. Por sua vez, o número de condutores por fase influencia o número de circuitos ou cabos multicondutores que podem ser selecionados (Figura 34). O material condutor, material isolante, tipo de condutor, tipo de sistema e modo de instalação são outros exemplos de dados de entrada que possuem uma interdependência entre si.

Figura 34 - Dependência do número de circuitos ou cabos multicondutores em relação ao número de condutores por fase.

Se o cabo a dimensionar for multicondutor, as *checkboxes* relativas ao condutor terra e à secção do condutor neutro são seleccionadas e desativadas automaticamente (Figura 35). Esta implementação deve-se ao facto de se considerar que os cabos multicondutores apresentam sempre condutor terra e secções dos condutores fase e neutro iguais.

Figura 35 - Influência do tipo de condutor nos *inputs* "Condutor Terra" e "Secção Neutro = Secção Fase"

O tipo de instalação e o Posto de Transformação (PT) só são editáveis se o respetivo troço for o primeiro da instalação elétrica. Caso contrário, estes dados de entrada apenas apresentam os valores/ *inputs* utilizados no primeiro troço.

A potência contratada, potência do transformador e calibre do dispositivo de proteção apresentam valores normalizados que são exibidos nas *QComboBox*. Contudo, de modo a tornar o DimCab uma ferramenta de dimensionamento mais versátil, é dada a escolha ao utilizador usar estes valores normalizados fornecidos pelo *software* ou introduzir um outro valor à sua preferência, através das *QLineEdit* vizinhas (Figura 32).

A escolha do modo de instalação é realizada através da janela *InstallationMethodsWindow*, que herda a classe *QDialog* do *PyQt5*. Esta janela apresenta uma tabela *QTableView* onde se encontram todos os modos de instalação ilustrados no Anexo 4. Assim como acontece na classe *PreviousSizingResults*, o carregamento dos modos de instalação é realizado pela biblioteca *Pandas*, que acede ao ficheiro *Excel* onde estes estão armazenados (*Installation Methods*) e obtém a respetiva *DataFrame*, sendo esta convertida para um *model* através do objeto *DataFrameToModelInstallationMethods*, reimplementação da classe *DataFrameToModel* (Figura 29). É também implementada nesta janela uma *QLineEdit* com a função de filtrar os modos de instalação consoante o método de referência desejado, tal como está representado na Figura 36. Para isso, foi utilizada a classe *QSortFilterProxyModel* do *PyQt5* e um validador da classe *QValidator* responsável por assegurar que o *input* do utilizador vai de encontro com os métodos de referência existentes, obrigando a que a *QLineEdit* retorne sempre letras maiúsculas e que não contenha mais que dois caracteres.

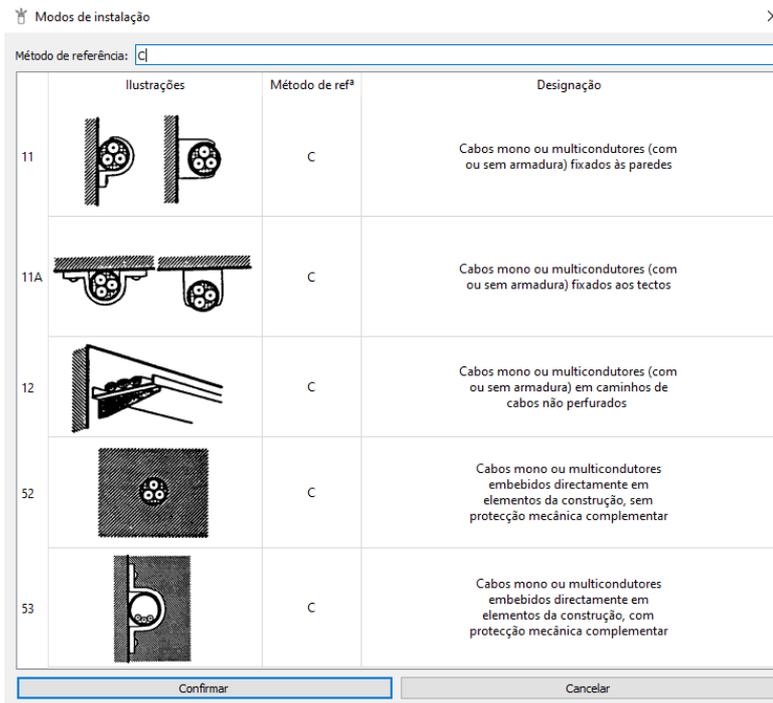


Figura 36 - Janela dos modos de instalação, com o filtro para o método de referência C.

Os botões “Verificar correntes” e “Verificar FC” têm como função a verificação dos valores de correntes ( $I_B$ ,  $I_2$  e  $I_n$ ) e do fator de correção, sem que para isso seja necessário obter a secção do condutor. Assim sendo, pode-se afirmar que estes botões são responsáveis por realizar operações intermédias no dimensionamento de um troço.

O clique no botão “Verificar correntes” executa o método *compute\_currents* e apresenta o fluxo apresentado no diagrama de atividades da Figura 37.

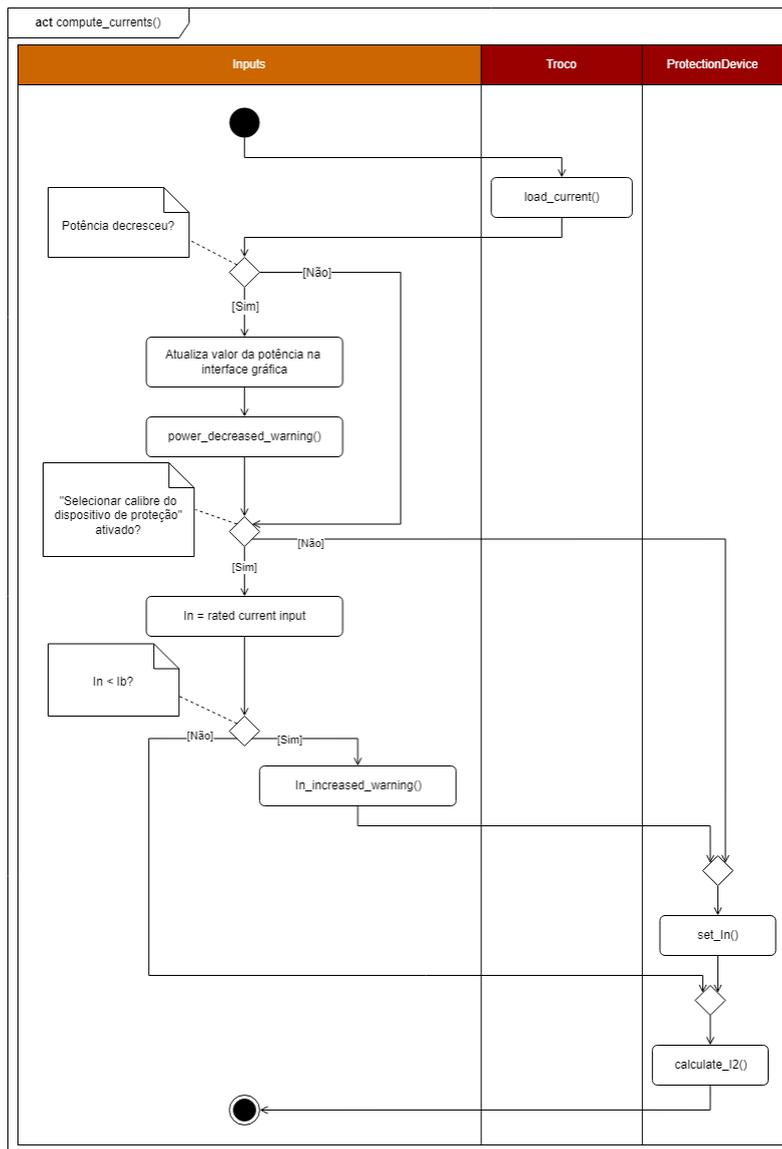


Figura 37 - Diagrama de atividades do método *compute\_currents* da classe *Inputs*.

Os métodos da camada lógica ilustrados no diagrama da Figura 37 foram explicados no capítulo 5.2.1. No cálculo da corrente de serviço, caso o valor da potência tenha sofrido alteração, este irá ser corrigido no respetivo campo da interface gráfica (“Potência Contratada”), ilustrando também um aviso ao utilizador com os valores da correção (RF 2).

O calibre do dispositivo de proteção pode ser obtido automaticamente ou manualmente, sendo a escolha dependente do estado da *QCheckBox* “Selecionar calibre do dispositivo de proteção” ilustrada na secção “Dispositivo de proteção” da Figura 32. Caso a *QCheckBox* não esteja selecionada, o calibre do dispositivo de proteção é obtido automaticamente através do método *set\_In*. Por outro lado, caso a *QCheckBox* esteja selecionada, este valor será definido através da seleção de um valor normalizado da *QComboBox* ou através da digitação do mesmo na *QLineEdit*. Contudo, na eventualidade de o utilizador

definir um valor que não obedeça à condição 18, este irá ser corrigido automaticamente através do método *set\_In*, ilustrando um aviso com o valor corrigido (RF 2). Por fim, é obtida a corrente convencional de funcionamento através do método *calculate\_I2*.

O clique no botão “Verificar FC” executa o método *set\_correction\_factors* explicado no capítulo 5.2.2. No entanto, é dada a escolha ao utilizador se deseja calcular o fator de correção consoante as condições externas ou inserindo-o manualmente, através do botão *toggle edit\_FC* representado na Figura 38.

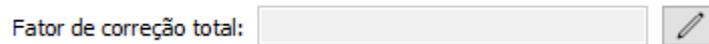


Figura 38 – *QLineEdit* para ilustração do resultado do fator de correção e botão *edit\_FC*.

O botão “Obter secção” não só executa todos os métodos dos dois botões anteriores, como também executa o método *get\_cross\_section*, responsável por obter a secção do condutor (Figura 39). De salientar que, estes três botões só são ativados quando os dados de entrada necessários para os respetivos cálculos já se encontram preenchidos pelo utilizador (através do método *activate\_buttons\_calculate* da classe *Inputs*).

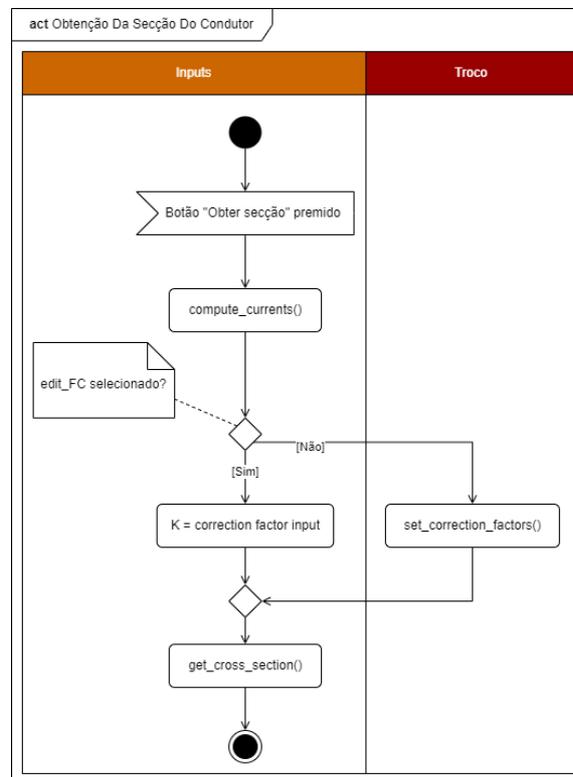


Figura 39 - Diagrama de atividades da obtenção da secção do condutor.

O método *get\_cross\_section* tem o papel de obter e apresentar ao utilizador todas as secções válidas. O fluxo de atividades deste método encontra-se apresentado no diagrama da Figura 40.

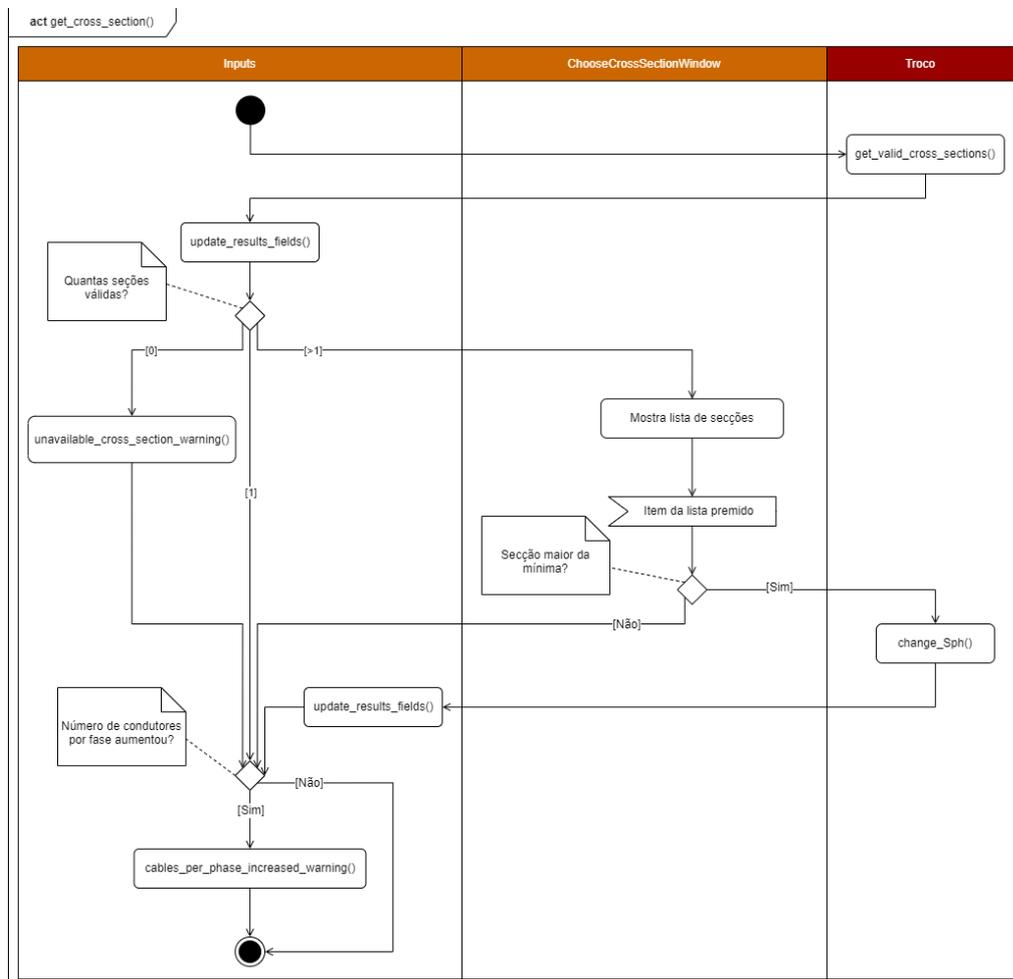


Figura 40 - Diagrama de atividades do método *get\_cross\_section* da classe *Inputs*.

De forma a obter as secções válidas, é executado o método *get\_valid\_cross\_sections* explicado no capítulo 5.2.3. De seguida, os campos dos resultados da janela de *inputs* são atualizados para a secção válida mínima, através do método *update\_results\_fields*. O método *get\_valid\_cross\_sections* retorna sempre uma ou mais secções. No caso de retornar uma secção (240 mm ou 120 mm para os modos de instalação B e B2) e esta não ser válida, aparecerá um aviso ao utilizador (*unavailable\_cross\_section\_warning*). Se houver mais do que uma secção válida retornada, aparecerá uma janela da classe *ChooseCrossSectionWindow* (representada no diagrama da Figura 31). Esta janela faz uso de uma *QListWidget*, responsável pela ilustração das secções válidas e seleção da secção desejada por parte do utilizador, tornando o processo de dimensionamento de índole económica à

responsabilidade do projetista (capítulo 3.1.3). A interface da classe *ChooseCrossSectionWindow* encontra-se apresentada na Figura 41.

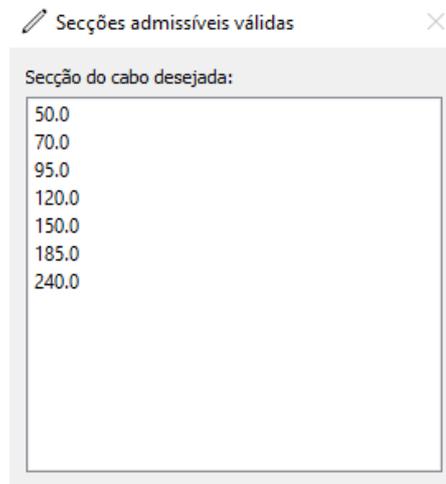


Figura 41 - Interface da classe *ChooseCrossSectionWindow*.

Neste ponto, todos os parâmetros de dimensionamento da secção válida mínima já estão calculados. Assim sendo, apenas serão feitos novos cálculos se a secção escolhida pelo utilizador for maior do que a mínima, através do método *change\_Sph* da classe Troco (especificado no diagrama de sequência da Figura 42). Após os recálculos, os campos dos resultados da janela de *inputs* são atualizados com os novos valores dos parâmetros de dimensionamento.

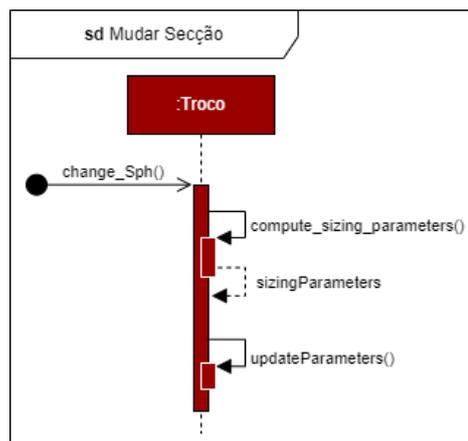


Figura 42 - Diagrama de sequência do método *change\_Sph* da classe Troco.

Se no processo de obter as secções válidas o número de condutores por fase tenha sido aumentado, aparecerá um aviso com os valores do respetivo aumento (RF 2).

Por fim, o botão “Obter secção” é desativado e é colocado um símbolo na secção dos resultados, referente à validação do dimensionamento, tal como está representado no exemplo da Figura 43.

The figure shows two instances of the 'Obter Secção' interface. The top instance has a green checkmark next to the 'Obter Secção' button, indicating a valid configuration. The bottom instance has a yellow warning icon next to the button, indicating an invalid configuration.

Input	Value	Status
Secção do condutor Fase:	185.0 mm	Valid (Green Checkmark)
Secção do condutor Neutro:	95.0 mm	Valid
Secção do condutor Terra:	[Dropdown]	Valid
Poder de corte:	15 kA	Valid
Icc máximo:	13.229 kA	Valid
Icc mínimo:	7.86 kA	Valid
Queda de tensão parcial:	0.09 %	Valid
Queda de tensão total:	0.09 %	Valid

Input	Value	Status
Secção do condutor Fase:	240.0 mm	Invalid (Yellow Warning Icon)
Secção do condutor Neutro:	120.0 mm	Invalid
Secção do condutor Terra:	[Dropdown]	Invalid
Poder de corte:	15 kA	Invalid
Icc máximo:	0.828 kA	Invalid
Icc mínimo:	0.246 kA	Invalid
Queda de tensão parcial:	6.934 %	Invalid
Queda de tensão total:	6.934 %	Invalid (Blue Info Icon)

Figura 43 - Resultados de um dimensionamento no ecrã de *inputs*. (acima: dimensionamento válido/abaixo: dimensionamento inválido)

Se, de seguida, algum dado de entrada for alterado, a secção dos resultados será rodeada por uma borda vermelha, de forma a alertar o utilizador que os resultados apresentados não correspondem aos dados de entrada atuais (Figura 44).

The screenshot shows the 'Obter Secção' interface with a red border around the results area, indicating that the results do not match the current input data.

Input	Value	Status
Secção do condutor Fase:	185.0 mm	Valid (Green Checkmark)
Secção do condutor Neutro:	95.0 mm	Valid
Secção do condutor Terra:	[Dropdown]	Valid
Poder de corte:	15 kA	Valid
Icc máximo:	13.229 kA	Valid
Icc mínimo:	7.86 kA	Valid
Queda de tensão parcial:	0.09 %	Valid
Queda de tensão total:	0.09 %	Valid

Figura 44 - Resultados não correspondentes aos dados de entrada atuais.

Depois de obter os resultados do dimensionamento de um troço, os valores do poder de corte do dispositivo de proteção e da secção do condutor terra (se aplicável) são determinados pelo utilizador nas respetivas *QComboBox* (Figura 43). Os valores normalizados do poder de corte encontram-se armazenados na variável *Interrupt\_ratings\_standarts* da classe *ProtectionDevice* (Figura 24), sendo que apenas são apresentados ao utilizador aqueles que são maiores que a corrente de curto-circuito máxima (mínimo 10 kA para esquemas TN). Caso contrário, haveria o risco de o utilizador selecionar um poder de corte que impossibilitasse a correta proteção do troço. Relativamente aos valores normalizados de secção do condutor terra, armazenados na variável *cross\_sections* da classe *Cable* (Figura 24), apenas são apresentados ao utilizador aqueles que obedecem às seguintes condições:  $S_{terra} \geq S_{fase}$  para  $S_{fase} \leq 25$  mm ou  $S_{terra} \geq S_{fase}/2$  para  $S_{fase} > 25$  mm.

### 5.3.3 Ecrã de dimensionamento

O ecrã de dimensionamento contém todos os *inputs* de cada troço e os botões para a gestão do projeto, tais como guardar o estado do projeto, adicionar um novo troço à instalação, consultar os

resultados, verificar erros/alterações do dimensionamento e aceder à configuração da instalação elétrica. A sua implementação é realizada através da classe *SizingScreen*, na qual herda a classe *QTabWidget* do *PyQt5*, tal como está apresentado no diagrama de classes da Figura 45.

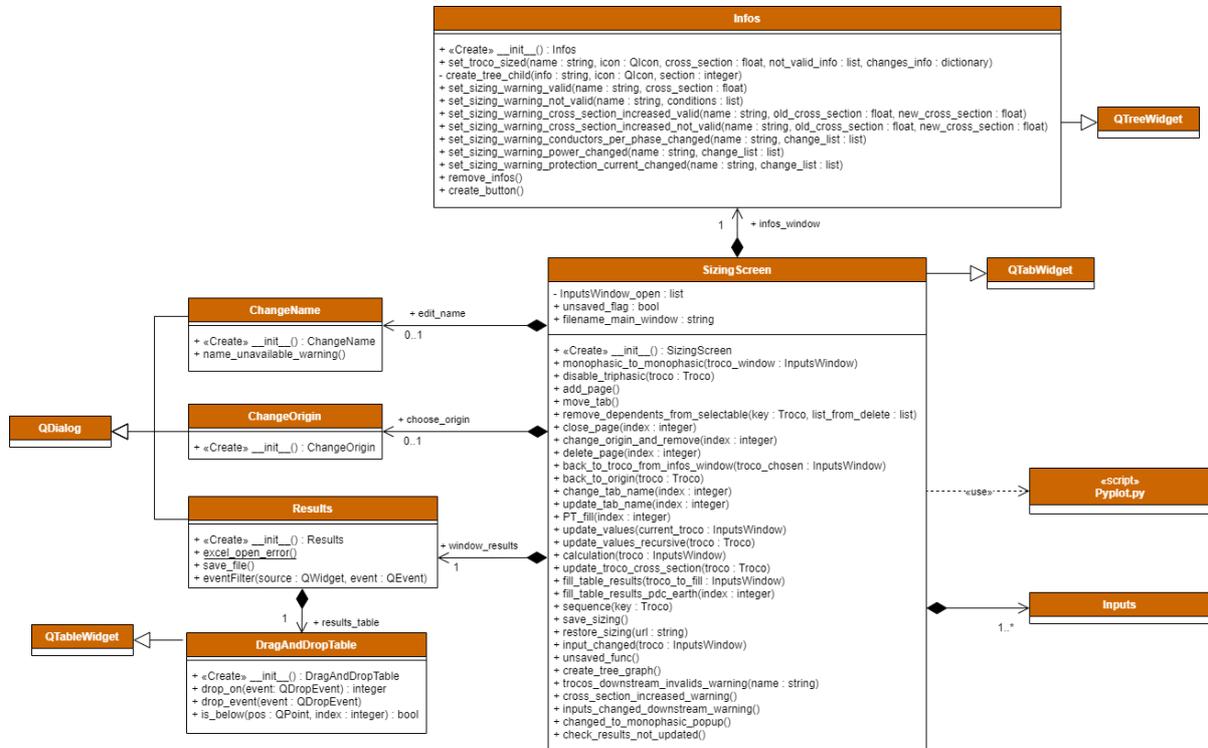


Figura 45 - Diagrama de classes do ecrã de dimensionamento.

A classe *QTabWidget* consiste num painel de separadores onde são instanciados os objetos da classe *Inputs*, ou seja, a cada separador corresponderá uma página de dimensionamento para um único troço (RF 1). Os botões destinados à gestão do projeto são objetos da classe *QToolButton*, e têm como funções retroceder para o menu inicial, guardar estado do projeto e dar acesso aos objetos das classes *Infos*, *Results* e script *Pyplot*. Além destes, é implementado outro botão, da mesma classe, responsável por adicionar novos separadores e, conseqüentemente, adicionar novos troços à instalação elétrica. Para isso, um menu com todos os troços existentes é ilustrado após o clique desse botão, onde o utilizador terá que definir qual deles será o troço a montante. Por outro lado, a remoção de um troço é realizada fechando o respetivo separador do *QTabWidget*. De salientar que o primeiro troço criado aquando da iniciação de um projeto nunca pode ser removido pelo utilizador, pois uma instalação elétrica deve ter pelo menos um circuito. Assim sendo, a interface gráfica do ecrã de dimensionamento encontra-se apresentada na Figura 46 (RF 1 e RNF 2).

DimCab - teste\_dimensionamento3.ini

QGBT QGBT-Q.E.01 QGBT-Q.E.02 Q.E.1-Q.D00.T05 Q.E.1-Q.E.20.T.01 Q.E.1-Q.E.30.T.01 Q.E.1-Q.C.00.T05 Q.E.1-Q.C.00.T05 Novo troço

← Origem: QGBT

**Instalação**

Tipo:  A  B  C

Sistema:  Monofásico  Trifásico

Esquema de neutro:  m

Comprimento da instalação:  m

Potência contratada:  kVA

Potência normalizada

Dispositivo de proteção:

Selecionar calibre do dispositivo de proteção

Calibre:  A

Calibre normalizado

**Posto de transformação (PT)**

Ucc:  %

Icc a montante:  MVA

Potência nominal do transformador:  /  kVA

Transformadores em paralelo:

Potência normalizada

Modo de instalação:

**Cabo**

Material (Alma):  Cobre  Alumínio

Isolamento:  PVC  XLPE

Número de condutores:

Condutores por fase:

Condutores neutros:

Tipo de condutor:  Multicondutor  Monocondutor

Especificações:   R > 6  U ≥ 6

**Fatores de correção (FC)**

Temperatura ambiente/solo:  °C

Número de circuitos ou cabos multicondutores:

Condutor Terra  Secção Neutro = Secção Fase

**Verificar correntes**

Corrente admissível:

Corrente convencional de funcionamento:

Calibre do dispositivo de proteção:

**Verificar FC**

Fator de correção total:

**Obter Secção**

Secção do condutor Fase:

Secção do condutor Neutro:

Secção do condutor Terra:

Poder de corte:

Icc máximo:

Icc mínimo:

Queda de tensão parcial:

Queda de tensão total:

Figura 46 - Interface gráfica do ecrã de dimensionamento.

O fecho de um separador executa o método *close\_page*, ilustrado no diagrama de sequência da Figura 47.

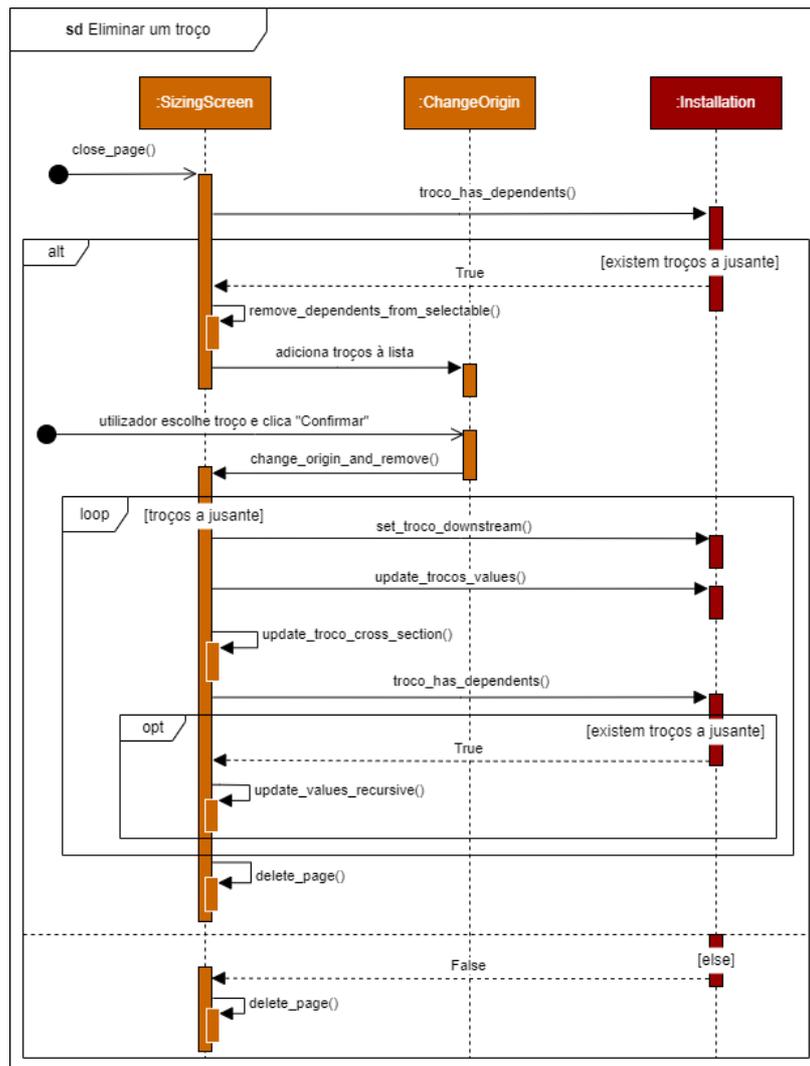


Figura 47 - Diagrama de sequência do fecho de um separador.

O método *troco\_has\_dependents* é responsável por verificar se o troço a ser eliminado contém troços a jusante. Em caso afirmativo, será apresentada uma janela implementada pela classe *ChangeOrigin* (Figura 48), onde é possível definir a nova origem destes circuitos. As possibilidades de escolha apresentadas ao utilizador são definidas pelo método *remove\_dependents\_from\_selectable*, no qual, numa lista com todos os troços da instalação elétrica, irá excluir todos aqueles que estão a jusante do troço a ser eliminado, impossibilitando de estes serem seleccionados como origem de si próprios.

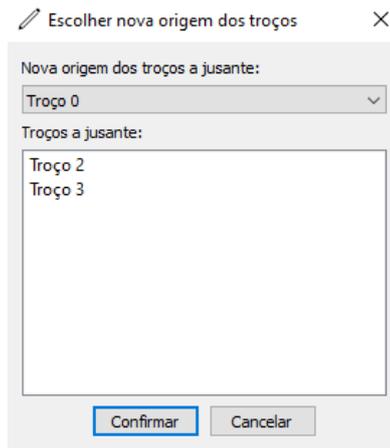


Figura 48 - Janela para escolher nova origem dos troços a jusante.

O método *set\_troco\_downstream* é responsável por mudar a origem dos troços a jusante, consoante a escolha do utilizador no passo anterior. Ao alterar a origem de um troço, os valores de impedância e queda de tensão a montante serão diferentes. Assim sendo, estes valores são atualizados através do método *update\_trocos\_values*. De modo a verificar se as secções dos troços continuam a ser válidas em resultado desta alteração, são executados os métodos *update\_troco\_cross\_section* e *update\_values\_recursive* (explicados mais à frente), que irão dimensionar novamente os troços, caso estes já tenham sido dimensionados (RF 1.2). Por fim, o método *delete\_page* é responsável por remover o troço e todos os dados a ele relativos.

São utilizados métodos recursivos com o propósito de percorrer todos os troços da instalação elétrica (atributo *dependencies* da classe *Installation*), tais como: *update\_values\_recursive*, *remove\_dependents\_from\_selectable* e *dependents\_are\_valid* (classe *Installation*).

A remoção de um troço altera os valores de impedância e queda de tensão a montante dos troços a jusante. Contudo, a mudança de secção de um condutor que contenha troços a jusante também irá alterar esses mesmos valores. Depois do dimensionamento de um troço (Figura 39), será executado o método *update\_values*, apresentado no diagrama de sequência da Figura 49.

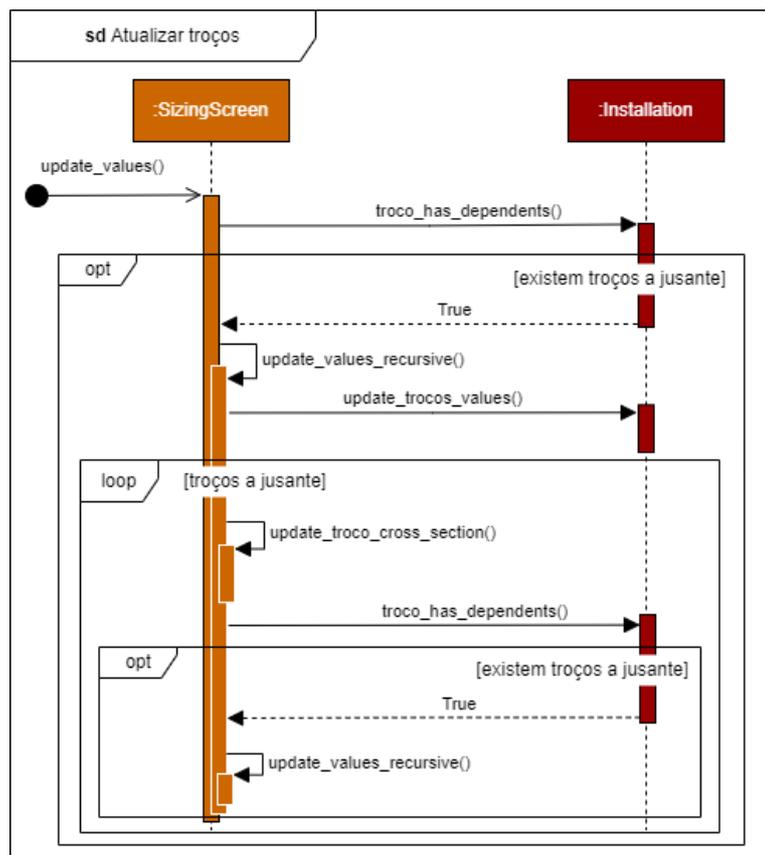


Figura 49 - Diagrama de sequência da atualização dos troços em resultado do dimensionamento de um troço a montante.

O método *update\_troco\_cross\_section* é responsável por dimensionar novamente um troço, caso este já possua uma secção (RF 1.2). No processo de redimensionamento, um ou mais troços que estavam anteriormente válidos podem ficar inválidos com a alteração do troço a montante, ou seja, a secção para qual o troço foi dimensionado já não cumpre todos os requisitos necessários para um correto funcionamento de uma instalação elétrica. Neste caso, as secções inválidas serão automaticamente aumentadas para a secção mínima válida. Contudo, nem sempre a secção máxima possível (240 mm ou 120 mm para os modos de instalação B e B2) valida o dimensionamento de um troço. Deste modo, é ilustrado um aviso ao utilizador (Figura 50) sobre os aumentos das secções e os seus impactos na validação do projeto (*cross\_section\_increased\_warning*) (RF 2).

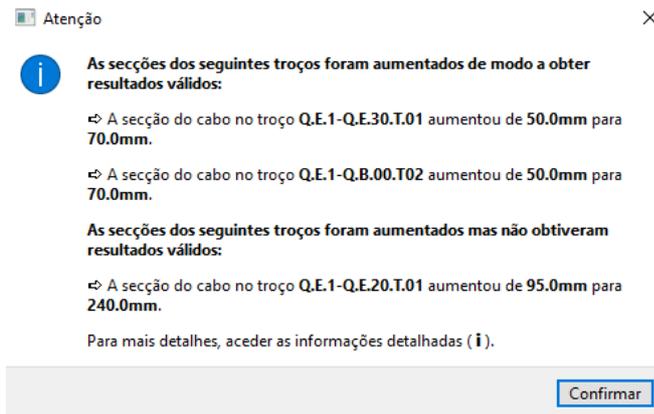


Figura 50 - Aviso de aumento de secções dos troços a jusante.

De modo a ter uma visão completa sobre o dimensionamento de um determinado troço, foi implementada a janela de informações detalhadas da classe *Infos*, que herda a classe *QTreeWidget* do *PyQt5* (RF 2). Esta janela é responsável por conter as informações mais relevantes do último troço dimensionado e a jusante, tais como:

- Troço dimensionado, nomeadamente a sua validação e possíveis alterações de dados de entrada (Ex: número de condutores por fase, potência contratada e calibre do dispositivo de proteção);
- Troços a jusante com secções válidas;
- Troços a jusante com secções inválidas;
- Secções dos troços a jusante que foram aumentadas e obtiveram resultado válido;
- Secções dos troços a jusante que foram aumentadas e não obtiveram resultado válido;
- Alterações de dados de entrada dos troços a jusante.

Nos campos relativos às secções inválidas, são apresentadas as condições que não foram validadas e, em cada item da *QTreeWidget*, são implementados botões da classe *QPushButton* responsáveis por abrir o separador dos respetivos troços no *QTabWidget* do ecrã de dimensionamento. Posto isto, na Figura 51 está apresentada a janela de informações detalhadas para um dimensionamento do troço QGTB.

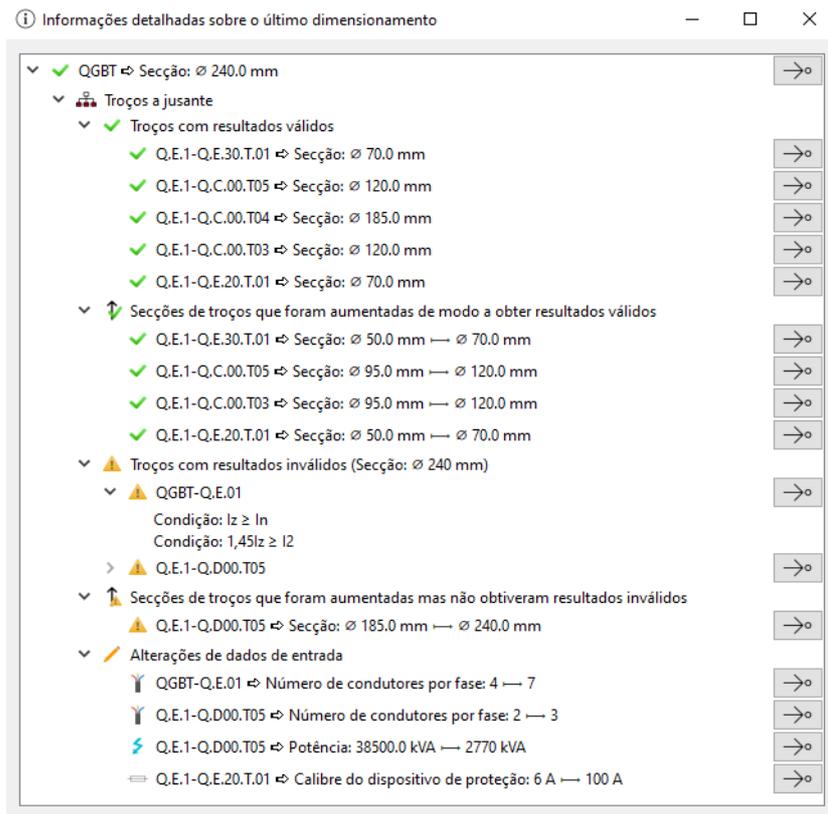


Figura 51 - Janela de informações detalhadas de um dimensionamento.

O método *monophasic\_to\_monophasic* obriga que todos os troços a jusante de um troço monofásico sejam também monofásicos. No caso de o utilizador mudar um troço de trifásico para monofásico, todos os troços a jusante serão verificados. Na existência de algum trifásico, será dada ao utilizador a escolha de prosseguir com a mudança ou não. Em caso afirmativo, os troços trifásicos serão automaticamente alterados para monofásicos e o botão para os colocar novamente como trifásicos será desativado.

Para alterar a denominação de um troço é necessário fazer um duplo clique no separador correspondente da *QTabBar*. De seguida, é ilustrada uma janela da classe *ChangeName* (Figura 52), na qual contém um *QLineEdit* onde o utilizador pode editar o nome do troço. O método *isNameUnused* da classe *Installation* é responsável por garantir que o nome introduzido está a desuso, verificando se este consta na lista “trocos” da classe *Installation*.

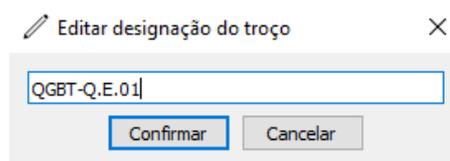
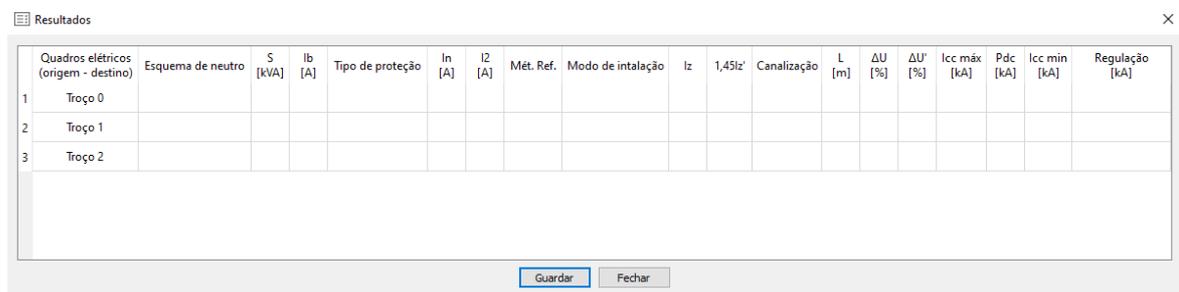


Figura 52 - Janela para mudar de nome de um troço.

A janela da classe *Results* (Figura 53), que herda a classe *QTableWidget* do *PyQt5*, é responsável pela apresentação de uma tabela com os resultados do projeto em curso, possibilitando também guardá-los num documento *Excel* através do método *save\_file* (RF 3). Aquando da criação de novos troços, são adicionadas novas linhas à tabela, sendo estas preenchidas com os resultados logo após o dimensionamento de um troço, através do método *fill\_table\_results*. A reimplementação da classe *QTableWidget*, denominada de *DragAndDropTable*, permite modificar a ordem pela qual os troços são apresentados na tabela.



	Quadros elétricos (origem - destino)	Esquema de neutro	S [kVA]	Ib [A]	Tipo de proteção	In [A]	I2 [A]	Mét. Ref.	Modo de instalação	Iz	1,45Iz'	Canalização	L [m]	ΔU [%]	ΔU' [%]	Icc máx [kA]	Pdc [kA]	Icc min [kA]	Regulação [kA]		
1	Troço 0																				
2	Troço 1																				
3	Troço 2																				

Figura 53 - Janela dos resultados do dimensionamento.

A configuração da instalação elétrica é apresentada numa janela do *script Pyplot* da biblioteca *networkx* e segundo o dicionário *dependencies* da classe *Installation*. Nesta janela (Figura 54), é possível editar o plano de visão (através de *zooms* e *moves*) e guardar a configuração numa imagem em formato PNG (.png).

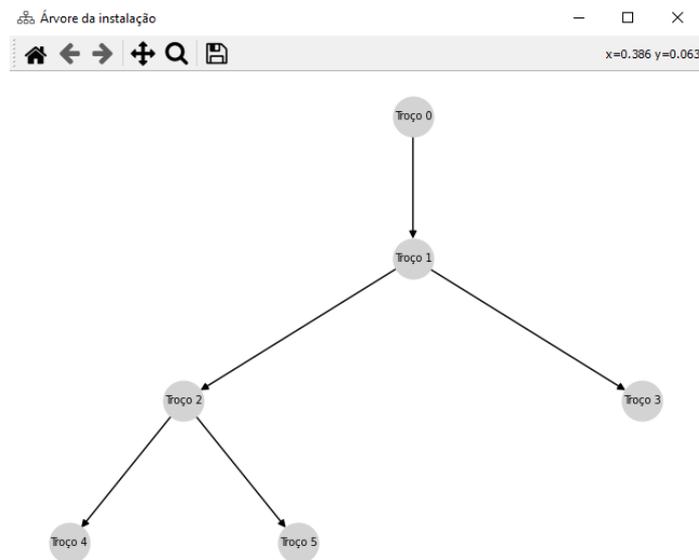


Figura 54 - Janela para apresentação da configuração da instalação elétrica.

Para a guardar o estado do projeto, é utilizado o método *save\_sizing* responsável por registar os valores de todos os *widgets* de cada separador num ficheiro com o formato de arquivo INI. Após premir o botão para guardá-lo, é aberto um *file dialog* onde é definida a designação e o local da gravação. Por sua vez, o método *restore\_sizing* é responsável por restabelecer o estado de um projeto. Para executá-lo, primeiramente, é necessário premir o respetivo botão de carregamento, presente no menu inicial do DimCab (Figura 30). De seguida, através do *file dialog*, é escolhido o ficheiro .ini correspondente ao projeto que o utilizador deseja abrir. Na execução deste método, os troços são criados com a respetiva designação, os *widgets* relativos aos *inputs* são colocados no respetivo estado e, em caso aplicável, são obtidas as secções para as quais os troços foram dimensionados aquando da gravação.

Durante a execução do método *save\_sizing*, são guardados os estados dos *widgets* e uma lista com uma sequência numérica, através do método recursivo *sequence*. Esta sequência não só diz respeito à ordem pela qual os troços devem ser criados durante a restabelecimento, de modo a garantir que um troço apenas é criado depois do seu montante, mas também à ordenação dos separadores no *QTabWidget* aquando da gravação.

Se forem feitas alterações nos *inputs* e não forem realizados os respetivos cálculos (clique botão “Obter Secção”), os resultados exibidos não estarão em conformidade com os novos dados de entrada (Figura 44). Assim sendo, se o projeto for gravado e fechado pelo utilizador, na próxima vez que este for carregado, os resultados serão calculados para os valores dos dados de entrada atualizados.

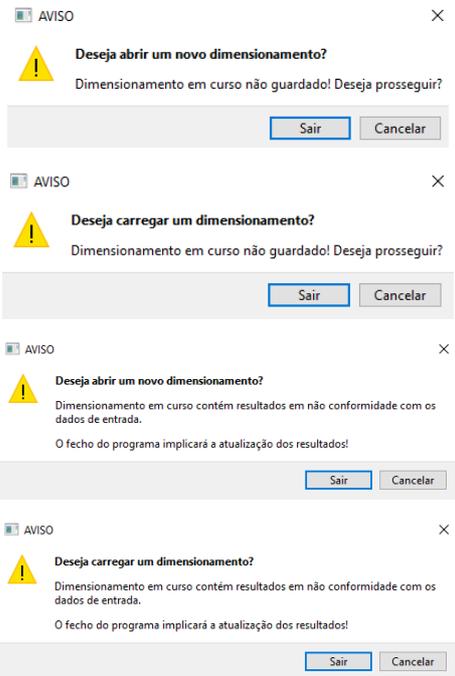
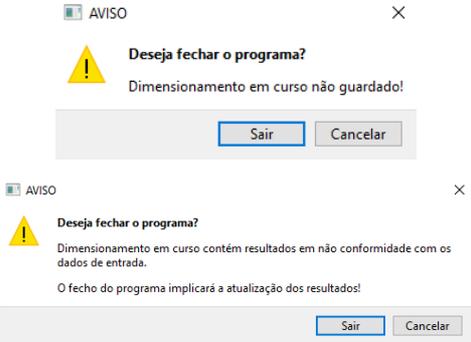
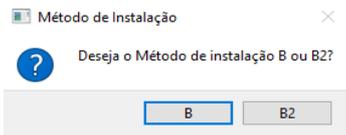
#### 5.3.4 Caixas de diálogo

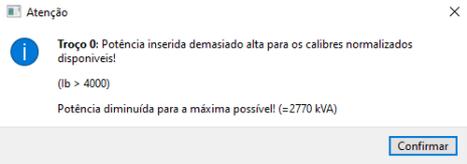
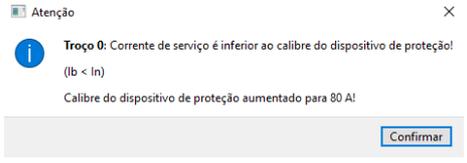
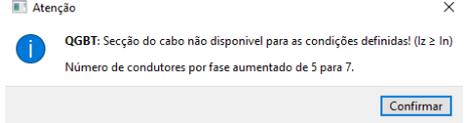
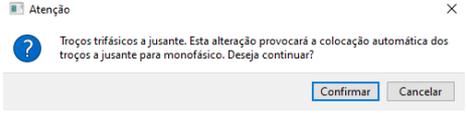
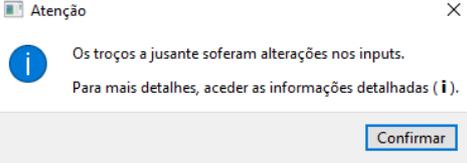
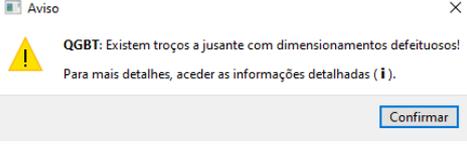
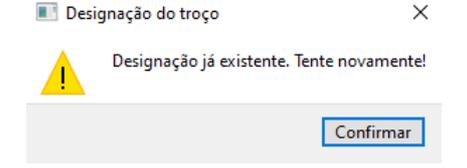
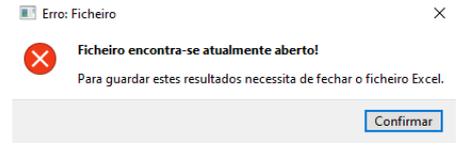
Durante a utilização do DimCab, são ilustradas várias caixas de diálogo implementadas através da classe *QMessageBox* do *PyQt5*, com o intuito de fornecer ou solicitar informação ao utilizador. Estas caixas de diálogo podem ser de quatro tipos:

- Question – Para perguntar questões ao utilizador;
- Information – Para transmitir informações ao utilizador sobre operações normais;
- Warning – Para avisar o utilizador sobre erros não críticos;
- Critical – Para avisar o utilizador sobre erros críticos.

Na Tabela 10 estão apresentadas as diversas caixas de diálogo do DimCab, os métodos que as executam e os objetivos para a sua implementação (exceto a caixa de diálogo do método *cross\_section\_increased\_warning* (Figura 50)):

Tabela 10 - Caixas de diálogo implementadas no DimCab.

Ilustração	Método	Objetivo
	<p>new_sizing_poput</p>	<p>Confirmar a criação/carregamento de um projeto de dimensionamento na eventualidade de estar um outro projeto em curso não guardado ou os seus resultados não estarem em conformidade com os dados de entrada</p>
	<p>closeEvent</p>	<p>Confirmar o encerramento do <i>software</i> na eventualidade do projeto em curso não estar guardado ou os seus resultados não estarem em conformidade com os dados de entrada</p>
	<p>which_B</p>	<p>Caso o utilizador escolha um modo de instalação correspondente a ambos os métodos de referência B e B2 na janela <i>InstallationMethodsWindow</i>.</p>

	power_decreased_warning	Aviso com os valores da correção da potência contratada
	In_increased_warning	Aviso com os valores da correção do calibre do dispositivo de proteção
	cables_per_phase_increased_warning	Aviso com os valores do aumento do número de condutores por fase
	changed_to_monophasic_popup	Confirmar a mudança dos troços a jusante trifásicos para monofásicos
	inputs_changed_downstream_warning	Aviso que houve inputs de troços a jusante que foram alterados
	trocós_downstream_invalids_warning	Aviso da existência de troços a jusante com dimensionamentos não validados
	name_unavailable_warning	Aviso de que a designação do troço inserida pelo utilizador já está em uso
	excel_open_error	Aviso de que o ficheiro Excel no qual serão guardados os resultados do dimensionamento está aberto

## 6. RESULTADOS

### 6.1 Executável e instalador

O DimCab é uma ferramenta de *software* que deve ser distribuída por vários utilizadores de forma a estes poderem utilizá-la no seu computador. Para tal, é criado o ficheiro executável (.EXE) com recurso à biblioteca *PyInstaller*, possibilitando a utilização do DimCab sem precisar de instalar o interpretador do *Python* ou quaisquer bibliotecas [45]. O ficheiro executável obtido está apresentado na Figura 55.



Figura 55 - Ficheiro executável do DimCab.

Além disso, é criado um instalador do DimCab através do *software NSIS (Nullsoft Scriptable Install System)*, que instala todos os ficheiros necessários no computador do utilizador.

### 6.2 Testes de dimensionamento

O processo de desenvolvimento de uma aplicação de *software* é designado por ciclo de vida e é constituído pelas etapas apresentadas no diagrama da Figura 56.

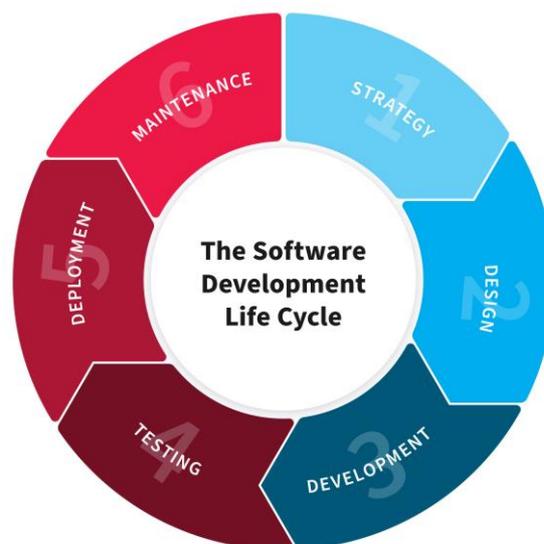


Figura 56 - Ciclo de vida do desenvolvimento de uma aplicação de *software*.

A etapa de testagem do *software* é fulcral para que o produto final disponha da qualidade adequada e para que este cumpra com os requisitos impostos pelo consumidor. De forma a testar e verificar se o DimCab é capaz de devolver os resultados esperados, são realizados neste *software* projetos a instalações elétricas previamente dimensionadas segundo métodos convencionais. Estes testes permitem não só identificar possíveis erros e *bugs* de funcionamento, mas também determinar a precisão, exatidão e qualidade do *software* desenvolvido [46]. De entre os vários testes realizados, um será apresentado neste capítulo, enquanto que os restantes são enviados para o Apêndice 2. O teste utiliza, como base, o dimensionamento de uma instalação elétrica de uma policlínica (tipo C) com as seguintes características:

Tabela 11 - Características da instalação elétrica da policlínica.

	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>
Potência (kVA)	217	20	90	10	10	18	75	14	14	7
Número de fases	3									
Material do condutor	Cobre									
Material isolante	XLPE									
Comprimento (m)	44	60	55	64	63	74	60	75	10	15
Modo de instalação	D	E	F	E	E	E	F	E	E	E
Fator de correção	0.8	0.73								
Dispositivo de proteção	Disjuntor Compacto									

A configuração da instalação elétrica e a correspondência com a Tabela 11 encontram-se apresentadas na Figura 57.

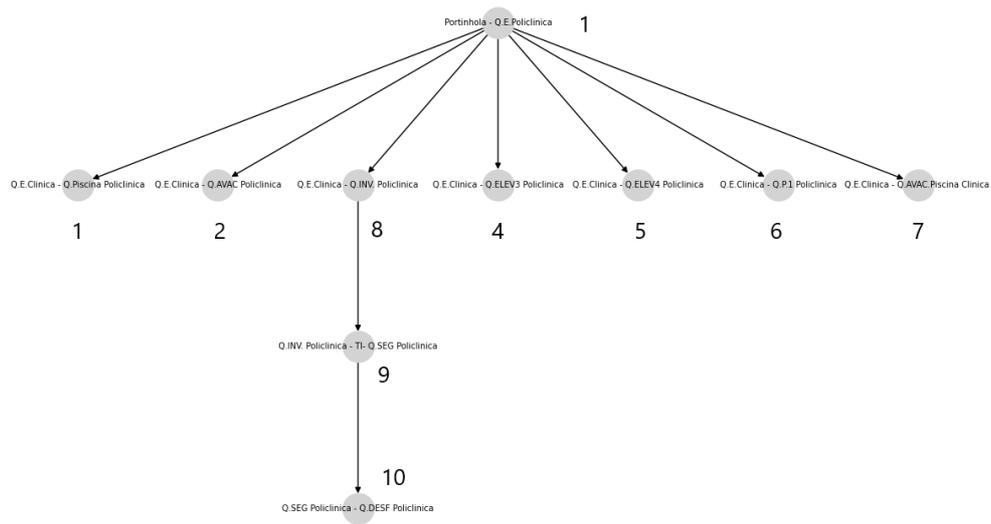


Figura 57 - Configuração da instalação elétrica da policlínica.

Os fatores de correção relativos à temperatura, agrupamento de cabos e resistividade do solo não são obtidos nestes testes, pois nos dimensionamentos utilizados como base, apenas é definido o fator de correção total. Contudo, a obtenção dos valores dos diferentes fatores de correção e o respetivo cálculo do fator de correção total foi testado no capítulo 5.1.

Na Figura 58 e Figura 59 estão apresentados os *inputs*, resultados e respetiva validação do dimensionamento do primeiro e terceiro troços da policlínica.

DimCab - Calculo electrico\_PoliClinicaV2.ini

Portinhola - Q.E.Policlinica Q.E.Clinica - Q.Piscina Policlinica Q.E.Clinica - Q.AVAC Policlinica Q.E.Clinica - Q.INV. Policlinica Q.INV. Policlinica - TI-Q.E.Clinica

Instalação

Tipo:  A  B  C

Sistema:  Monofásico  Trifásico

Esquema de neutro: TT

Comprimento da instalação: 44 m

Potência contratada: 1.15 217 kVA

Dispositivo de proteção: Disjuntor Compacto

Calibre: 6 A

Posto de transformação (PT)

Ucc: 4 % Icc a montante: 350 MVA Potência nominal do transformador: 630 630 kVA Transformadores em paralelo: 1

Material (Alma):  Cobre  Aluminio

Isolamento:  PVC  XLPE

Número de condutores: 2 Condutores por fase: 2 Condutores neutros: 2

Tipo de condutor:  Multicondutor  Monocondutor

Especificações: XZ1(ft, zh) R > 6

Fatores de correção (FC)

Temperatura ambiente/solo: 10 °C

Resistividade do solo: 1.0 K.m/W

Número de circuitos ou cabos multicondutores: 2

Verificar correntes

Corrente admissível: 313.213 A

Corrente convencional de funcionamento: 409.5 A

Calibre do dispositivo de proteção: 315 A

Verificar FC

Fator de correção total: 0.8

Obter Seção

Seção do condutor Fase: 70.0 mm

Seção do condutor Neutro: 70.0 mm

Seção do condutor Terra: 35.0 mm

Poder de corte: 15 kA

Icc máximo: 8.672 kA

Icc mínimo: 4.31 kA

Queda de tensão parcial: 0.771 %

Queda de tensão total: 0.771 %

Figura 58 - Inputs, resultados e validação do primeiro troço da instalação elétrica da policlínica.

DimCab - Calculo electrico\_PoliClinicaV2.ini

Portinhola - Q.E.Policlinica Q.E.Clinica - Q.Piscina Policlinica Q.E.Clinica - Q.AVAC Policlinica Q.E.Clinica - Q.INV. Policlinica Q.INV. Policlinica - TI-Q.E.Clinica

Origem: Portinhola - Q.E.Policlinica

Instalação

Tipo:  A  B  C

Sistema:  Monofásico  Trifásico

Esquema de neutro: TT

Comprimento da instalação: 55 m

Potência contratada: 1.15 90 kVA

Dispositivo de proteção: Disjuntor Compacto

Calibre: 6 A

Posto de transformação (PT)

Ucc: 4 % Icc a montante: 350 MVA Potência nominal do transformador: 630 630 kVA Transformadores em paralelo: 1

Material (Alma):  Cobre  Aluminio

Isolamento:  PVC  XLPE

Número de condutores: 1 Condutores por fase: 1 Condutores neutros: 1

Tipo de condutor:  Multicondutor  Monocondutor

Especificações: FXV XZ1(ft, zh) R > 6

Fatores de correção (FC)

Temperatura ambiente/solo: 10 °C

Resistividade do solo: 1.0 K.m/W

Número de circuitos ou cabos multicondutores: 1

Tipo de caminhos: Escadas (para cabos), consolas, etc.

Afastamento dos cabos: Cabos com afastamento entre si >= De e afastados dos elementos da construção de d >= 20 mm

Número de caminhos de cabos: 1

Tipo de montagem trifásica: Três condutores carregados em esteira (Sem afastamento)

Verificar correntes

Corrente admissível: 129.904 A

Corrente convencional de funcionamento: 208.0 A

Calibre do dispositivo de proteção: 160 A

Verificar FC

Fator de correção total: 0.73

Obter Seção

Seção do condutor Fase: 70.0 mm

Seção do condutor Neutro: 70.0 mm

Seção do condutor Terra: 35.0 mm

Poder de corte: 10 kA

Icc máximo: 5.145 kA

Icc mínimo: 2.315 kA

Queda de tensão parcial: 0.796 %

Queda de tensão total: 1.566 %

Figura 59 - Inputs, resultados e validação do terceiro troço da instalação elétrica da policlínica.

A avaliação da fiabilidade dos resultados obtidos no DimCab é realizada por comparação com os resultados de dimensionamento do documento base. Assim sendo, segundo a Figura 60 e Figura 61, pode-se concluir que quase todos os parâmetros estão em concordância, contudo, é possível observar que os valores de queda de tensão diferem. O motivo desta discordância resume-se no facto de que o método de cálculo da queda de tensão no DimCab corresponde à utilização da Equação 4, na qual calcula a impedância do condutor teoricamente. Por outro lado, nos documentos base, a impedância é obtida segundo valores normalizados fornecidos por fornecedores. Todavia, ambos os métodos são considerados válidos.

2 Dimensionamento das canalizações																			
Quadros elétricos (origem - destino)	Esque-ma de neutro	S [kVA]	Ib [A]	Tipo de proteção	In [A]	I2 [A]	Mét. Ref.	Modo de instalação	Iz [A]	1,45 Iz' [A]	Canalização		L [m]	ΔU [%]	ΔU' [%]	Icc máx [kA]	Pdc [kA]	Icc min [kA]	Regu-lação [kA]
Portinhola - Q.E.Policlinica	TT	217	314	Disjuntor	315	410	D	Enterrado	508	589	XZ1(frt, Zh) - 2x(R4x1x70)		44	0.90	0.90	8.67	15	4.31	-
Q.E.Clinica - Q.Piscina Policlinica	TT	20	29	Disjuntor	32	42	E	Caminho de Cabos	127	134	XZ1(frt, Zh) - R5G25		60	0.55	1.45	2.89	6	1.23	-
Q.E.Clinica - Q.AVAC Policlinica	TT	90	130	Disjuntor	160	208	F	Caminho de Cabos	279	295	XZ1(frt, Zh) - R4x1x70 + G35		55	0.93	1.83	5.14	10	2.32	-
Q.E.Clinica - Q.ELEV3 Policlinica	TT	10	14	Disjuntor	25	33	E	Caminho de Cabos	75	79	XZ1(frt, Zh) - R5G10		64	0.68	1.58	1.37	6	0.56	-
Q.E.Clinica - Q.ELEV4 Policlinica	TT	10	14	Disjuntor	25	33	E	Caminho de Cabos	75	79	XZ1(frt, Zh) - R5G10		63	0.67	1.57	1.39	6	0.57	-
Q.E.Clinica - Q.P.1 Policlinica	TT	18	26	Disjuntor	63	82	E	Caminho de Cabos	127	134	XZ1(frt, Zh) - R5G25		74	0.61	1.51	2.50	6	1.05	-
Q.E.Clinica - Q.AVAC.Piscina Clinica	TT	75	108	Disjuntor	125	163	F	Caminho de Cabos	279	295	XZ1(frt, Zh) - R4x1x70 + G35		60	0.85	1.75	4.96	10	2.22	-
Q.E.Clinica - Q.INV. Policlinica	TT	14	20	Disjuntor	32	42	E	Caminho de Cabos	75	79	XZ1(frt, Zh) - R5G10		75	1.12	2.02	1.20	10	0.49	-
Q.INV. Policlinica - TI - Q.SEG Policlinica	TT	14	20	Disjuntor	32	42	E	Caminho de Cabos	75	79	XZ1(frs, Zh) - R5G10		10	0.15	2.17	1.07	10	0.43	-
Q.SEG Policlinica - Q.DESF Policlinica	TT	7	10	Disjuntor	20	26	E	Caminho de Cabos	54	57	XZ1(frs, Zh) - U5G6		15	0.19	2.36	0.85	6	0.34	-

Figura 60 - Resultados do documento base, referentes à instalação elétrica da policlinica.

Resultados																				
	Quadros elétricos (origem - destino)	Esquema de neutro	S [kVA]	Ib [A]	Tipo de proteção	In [A]	I2 [A]	Mét. Ref.	Modo de instalação	Iz [A]	1,45 Iz' [A]	Canalização		L [m]	ΔU [%]	ΔU' [%]	Icc máx [kA]	Pdc [kA]	Icc min [kA]	Regulação [kA]
1	✓ Portinhola - Q.E.Policlinica	TT	217	313	Disjuntor Compacto	315	410	D	Enterrado	406	589	XZ1(frt, zh) - 2x(R4x1x70)		44	0.77	0.77	8.67	15	4.31	-
2	✓ Q.E.Clinica - Q.Piscina Policlinica	TT	20	29	Disjuntor Compacto	32	42	E	Caminhos de Cabos	93	134	XZ1(frt, zh) - R5G25		60	0.54	1.31	2.89	6	1.23	-
3	✓ Q.E.Clinica - Q.AVAC Policlinica	TT	90	130	Disjuntor Compacto	160	208	F	Caminhos de Cabos	204	295	XZ1(frt, zh) - R4x1x70 + G35		55	0.8	1.57	5.14	10	2.32	-
4	✓ Q.E.Clinica - Q.ELEV3 Policlinica	TT	10	14	Disjuntor Compacto	25	32	E	Caminhos de Cabos	60	87	XZ1(frt, zh) - R5G10		64	0.72	1.49	1.37	6	0.56	-
5	✓ Q.E.Clinica - Q.ELEV4 Policlinica	TT	10	14	Disjuntor Compacto	25	32	E	Caminhos de Cabos	60	87	XZ1(frt, zh) - R5G10		63	0.71	1.48	1.39	6	0.57	-
6	✓ Q.E.Clinica - Q.P.1 Policlinica	TT	18	26	Disjuntor Compacto	63	82	E	Caminhos de Cabos	102	147	XZ1(frt, zh) - R5G25		74	0.6	1.37	2.5	6	1.05	-
7	✓ Q.E.Clinica - Q.AVAC.Piscina Clinica	TT	75	108	Disjuntor Compacto	125	162	F	Caminhos de Cabos	214	311	XZ1(frt, zh) - R4x1x70 + G35		60	0.72	1.49	4.96	10	2.22	-
8	✓ Q.E.Clinica - Q.INV. Policlinica	TT	14	20	Disjuntor Compacto	25	32	E	Caminhos de Cabos	60	87	XZ1(frt, zh) - R5G10		75	1.18	1.95	1.2	10	0.49	-
9	✓ Q.INV. Policlinica - TI - Q.SEG Policlinica	TT	14	20	Disjuntor Compacto	25	32	E	Caminhos de Cabos	60	87	XZ1(frs, zh) - R5G10		10	0.16	2.11	1.07	10	0.43	-
10	✓ Q.SEG Policlinica - Q.DESF Policlinica	TT	7	10	Disjuntor Compacto	20	26	E	Caminhos de Cabos	43	63	XZ1(frs, zh) - U5G6		15	0.2	2.3	0.85	6	0.34	-

Figura 61 - Resultados do software DimCab, referentes à instalação elétrica da policlinica.

## 7. CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

### 7.1 Conclusões

No âmbito desta dissertação, foi desenvolvida uma aplicação de *software* para automatizar o dimensionamento de instalações elétricas, nomeadamente os cabos e os respetivos dispositivos de proteção.

O estudo e utilização dos documentos regulamentares e de projeto de dimensionamento, permitiram assegurar que todas as normas e critérios de seleção são cumpridos, obtendo resultados que garantem um funcionamento estável e seguro por parte das instalações elétricas.

O desenvolvimento do *software* DimCab foi realizado de acordo com os requisitos funcionais e não funcionais estipulados inicialmente, que, de seguida, permitiram definir a arquitetura e estrutura interna a implementar no mesmo. Contudo, ao longo deste trabalho, além dos requisitos definidos inicialmente, surgiram novas necessidades e funcionalidades que tornavam a experiência de utilização do DimCab mais simples e automatizada, diminuindo, por exemplo, o número de parâmetros dependentes do utilizador, que, conseqüentemente, reduz a probabilidade de erros de cálculo e o tempo de dimensionamento. Assim sendo, ao longo deste trabalho, a arquitetura do sistema sofreu várias reformulações de modo a esta apresentar uma estrutura bem organizada e funcional.

O DimCab possibilita o dimensionamento de instalações elétricas com vários troços e com as mais diversas configurações, facilmente editáveis pelo utilizador. Além disso, supostas mudanças nos parâmetros de dimensionamento num troço, provocam a atualização dos mesmos para todos os outros, tornando o processo de dimensionamento mais eficaz.

Devido à flexibilidade, variedade de *widgets* e respetivas qualidades visuais da biblioteca *PyQt5*, foi possível criar uma interface gráfica moderna e intuitiva, facilitando o processo de dimensionamento e a deteção de eventuais erros que possam surgir ao longo do mesmo, através dos campos de *inputs*, janelas de resultados, avisos/recomendações, etc.

Através dos documentos com projetos realizados por responsáveis qualificados, foi possível testar e assegurar a fiabilidade, precisão e exatidão dos resultados obtidos no DimCab, tornando a sua utilização viável. Além disso, pelo facto deste *software* ser multiplataforma e apresentar um instalador, existe uma maior facilidade na sua distribuição por vários utilizadores, independentemente do sistema operativo.

Deste modo, é possível concluir que o projeto desenvolvido e implementado, cumpre com os requisitos e necessidades impostas para a automatização do dimensionamento de instalações elétricas, cumprindo conseqüentemente com os objetivos propostos nesta dissertação.

## 7.2 Trabalhos Futuros

Todas as aplicações *software* apresentam um desenvolvimento gradual, ou seja, ao longo do tempo de vida do DimCab, são modificadas ou adicionadas novas funcionalidades de modo a tornar o processo de dimensionamento de instalações elétricas ainda mais simples, rápido e isento de erros de cálculo. Assim sendo, diversas atualizações deverão ser feitas a este *software* de modo a colmatar novas necessidades dos seus utilizadores.

O DimCab é uma ferramenta desenvolvida para o dimensionamento de instalações elétricas segundo as RTIEBT (Regras Técnicas das Instalações Elétricas de Baixa Tensão). Deste modo, para trabalhos futuros, será necessário reconfigurar este *software* para outros regulamentos, normas ou critérios de seleção, que irão diversificar a utilização desta ferramenta.

O dimensionamento dos dispositivos de proteção consiste, basicamente, na obtenção dos valores do calibre, da corrente convencional de funcionamento e do poder de corte. Contudo, existem vários tipos de disjuntores compactos, disjuntores modulares e fusíveis. Deste modo, é sugerida a implementação de uma base de dados que contenha todos os tipos de dispositivos de proteção disponíveis no mercado, dando ao utilizador uma escolha de quais deles poderia utilizar para instalar num determinado troço.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Ministérios da Indústria e Energia e do Equipamento Social, “Diário da República n.º 297/1984, Série I de 1984-12-26, páginas 3871 - 3924.” 1984.
- [2] Electrotechnik, “Cable Pro PC Software.” <https://elek.com.au/electrical-software/elek-cable-pro-au/> (accessed Apr. 15, 2021).
- [3] ETAP, “Cable Sizing Software.” <https://etap.com/product/cable-sizing-software> (accessed Apr. 15, 2021).
- [4] Modecsoft, “ElectricalOM”, [Online]. Available: [https://electricalom.com/site/cable\\_sizing\\_software.php](https://electricalom.com/site/cable_sizing_software.php)
- [5] ABB, “DOC.” <https://new.abb.com/low-voltage/solutions/selectivity/tools-support/doc> (accessed Apr. 15, 2021).
- [6] EATON, “CYME”, [Online]. Available: <https://www.cyme.com/software/cymelvcs/>
- [7] S. P. Zhu, J. Liu, K. C. Tan, and C. S. Tan, “PC-based tool to calculate voltage drops and select cables for final subcircuits,” in *Proceedings of the International Conference on Energy Management and Power Delivery, EMPD*, 1995, vol. 2, pp. 554–559. doi: 10.1109/empd.1995.500787.
- [8] A. Buratckii, “Cable Sizing Calculations in Industrial Installations,” 2020.
- [9] C. G. Saracin and M. Saracin, “Computer aided design of the electric power source of a water treatment station,” *2013 - 8th Int. Symp. Adv. Top. Electr. Eng. ATEE 2013*, pp. 23–26, 2013, doi: 10.1109/ATEE.2013.6563352.
- [10] C. L. Khang and Y. C. Liang, “Development of photovoltaic system planning software,” in *2012 IEEE Third International Conference on Sustainable Energy Technologies (ICSET)*, Sep. 2012, pp. 200–204. doi: 10.1109/ICSET.2012.6357398.
- [11] N. Belhaouas, S. Khechafi, F. Mehareb, H. Aseem, S. Bensalem, and A. H. Arab, “Electrical Standalone PV System Sizing with Graphic User Interface (GUI) based on UTE C15-712-2 Guide,” in *2019 7th International Renewable and Sustainable Energy Conference (IRSEC)*, Nov. 2019, vol. 1637, no. 1, pp. 1–5. doi: 10.1109/IRSEC48032.2019.9078201.
- [12] *Regras Técnicas das Instalações Eléctricas de Baixa Tensão (RTIEBT)*.
- [13] Ministério da Economia e da Inovação, “Portaria n.º 949-A/2006,” *Diário da República*, no. 2, p. 190, 2006.
- [14] A. A. A. Gomes and M. Pombeiro, “Instalações de Utilização de Energia Elétrica em Baixa Tensão Executadas ao Abrigo do Rsiuee e Rsiucee,” *Neutro à Terra*, no. 11, pp. 29–39, Jun. 2017, doi: 10.26537/neutroaterra.v0i11.482.
- [15] J. P. T. Saraiva, “Dimensionamento e Protecção de Canalizações Eléctricas em Baixa Tensão,” 2000.
- [16] Schneider Electric, *Electrical Installation Guide*. 2018.
- [17] ABB SACE - Electrical devices, *Electrical installation handbook*, vol. 2.
- [18] H. J. de J. R. da Silva, “Harmónicos em Instalações Eléctricas,” *Neutro à Terra*, no. 2, Jun. 2008, doi: 10.26537/neutroaterra.v0i2.287.
- [19] N. Kularatna, A. S. Ross, J. Fernando, and S. James, “Design of Transient Protection Systems,” Elsevier, 2019. doi: 10.1016/C2016-0-00423-0.
- [20] A. Sayem, A. Sayed, M. Al Amin, M. Rana, and T. Nahar, “Voltage drop,” *Int. J. Res. Adv. Eng. Technol.*, pp. 01–04, 2020.
- [21] A. A. A. Gomes, “Projetos de Instalações Eléctricas I,” 2016.
- [22] Littelfuse, *Electrical Safety Hazards Handbook*.

- [23] EDP Distribuição, *Ligação De Clientes De Baixa Tensão (DIT-C14-100/N)*, 4º. 2021. [Online]. Available: [http://www.elect.estgv.ipv.pt/dep/elect/lie/index\\_ficheiros/suporte\\_ficheiros/Projecto\\_ins\\_elect/complementos/edp\\_NormasligaoBT.pdf](http://www.elect.estgv.ipv.pt/dep/elect/lie/index_ficheiros/suporte_ficheiros/Projecto_ins_elect/complementos/edp_NormasligaoBT.pdf)
- [24] Cabelte, “Manual de Cabos Eléctricos de Baixa Tensão,”
- [25] J. N. dos Santos, “Condutores e Cabos de Energia,” *Fac. Eng. da Univ. do Porto*, 2005.
- [26] “Python 3.9.” <https://www.python.org/downloads/release/python-390/> (accessed Apr. 30, 2021).
- [27] R. Yilmaz, A. Sezgin, S. Kurnaz, and Y. Z. Arslan, “Object-Oriented Programming in Computer Science,” no. January, 2019, pp. 7470–7480. doi: 10.4018/978-1-5225-7598-6.ch106.
- [28] Object Management Group (OMG), *Unified Modeling Language (UML)*, 2.5.1. 2017.
- [29] H. Koç, A. M. Erdoğan, Y. Barjakly, and S. Peker, “UML Diagrams in Software Engineering Research: A Systematic Literature Review,” 2021, doi: 10.3390/proceedings2021074013.
- [30] B. Johansson and M. Lahtinen, “Getting the balance right between functional and non-functional requirements: The case of requirement specification in IT procurement,” *Int. J. Inf. Syst. Proj. Manag.*, vol. 1, no. 1, pp. 5–16, 2013, doi: 10.12821/ijispm010101.
- [31] S. Al-Fedaghi and A. Alrashed, “Schematizing UML use cases,” *Proc. - 2013 4th World Congr. Softw. Eng. WCSE 2013*, no. June 2015, pp. 35–41, 2013, doi: 10.1109/WCSE.2013.10.
- [32] H. Dhaduk, “10 Best Software Architecture Patterns You Must Know About,” 2020, [Online]. Available: <https://www.simform.com/blog/software-architecture-patterns/>
- [33] M. Kassab, M. Mazzara, J. Y. Lee, and G. Succi, “Software architectural patterns in practice: an empirical study,” *Innov. Syst. Softw. Eng.*, vol. 14, no. 4, pp. 263–271, 2018, doi: 10.1007/s11334-018-0319-4.
- [34] “Math library.” <https://docs.python.org/3/library/math.html> (accessed Jun. 20, 2021).
- [35] “Pandas.” <https://pandas.pydata.org/> (accessed Jun. 20, 2021).
- [36] “Networkx.” <https://networkx.org/> (accessed Jan. 06, 2022).
- [37] “xlwt.” <https://pypi.org/project/xlwt/> (accessed Dec. 15, 2021).
- [38] “PyQt5.” <https://pypi.org/project/PyQt5/> (accessed Oct. 20, 2021).
- [39] “Qt.” <https://www.qt.io/> (accessed Oct. 20, 2021).
- [40] “Qt Designer.” <https://doc.qt.io/qt-5/qt designer-manual.html> (accessed Oct. 20, 2021).
- [41] P. Wohed, W. M. P. Van Der Aalst, M. Dumas, A. H. M. Ter Hofstede, and N. Russell, “Pattern-based Analysis of UML Activity Diagrams,” *Technol. Manag.*, vol. 3716 LNCS, no. December 2004, pp. 1–22, 2004, doi: 10.1007/11568322\_5.
- [42] A. Souri, M. Ali Sharifloo, and M. Norouzi, “Formalizing class diagram in UML,” *ICSESS 2011 - Proc. 2011 IEEE 2nd Int. Conf. Softw. Eng. Serv. Sci.*, no. May 2014, pp. 524–527, 2011, doi: 10.1109/ICSESS.2011.5982368.
- [43] S. Al-Fedaghi, “UML Sequence Diagram: An Alternative Model,” *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 12, no. 5, pp. 635–645, 2021, doi: 10.14569/IJACSA.2021.0120576.
- [44] “Decreto-Lei nº96/2017 de 10 de agosto,” 2017, pp. 4654–4663.
- [45] D. Cortesi, “PyInstaller Documentation,” p. 133, 2018, [Online]. Available: <https://readthedocs.org/projects/pyinstaller/downloads/pdf/stable/>
- [46] Divyani Shivkumar Taley, “Comprehensive Study of Software Testing Techniques and Strategies: A Review,” *Int. J. Eng. Res.*, vol. V9, no. 08, pp. 817–822, Sep. 2020, doi: 10.17577/IJERTV9IS080373.



## APÊNDICE 2 – TESTES AO SOFTWARE DIMCAB

### Lar



## 2 Dimensionamento das canalizações

Quadros elétricos (origem – destino)	Esque-ma de neutro	S [kVA]	Ib [A]	Tipo de proteção	In [A]	I2 [A]	Mét. Ref.	Modo de instalação	Iz [A]	1,45 Iz' [A]	Canalização	L [m]	ΔU [%]	ΔU' [%]	Icc máx [kA]	Pdc [kA]	Icc min [kA]	Regu-lação [kA]
Portinhola - Q.E.Lar	TT	217	314	Disjuntor	315	410	D	Enterrado	508	589	XZ1(frt, Zh) - 2x(R4x1x70)	15	0.31	0.31	10.85	15	5.76	-
Q.E.Lar - Q.P.1 Lar	TT	120	173	Disjuntor	200	260	F	Caminho de Cabos	558	591	XZ1(frt, Zh) - 2x(R4x1x70 + G35)	68	0.77	1.08	6.82	10	3.22	-
Q.P.1 Lar - Q.Quarto Duplo - x 8	TT	7	30	Disjuntor	32	42	E	Caminho de Cabos	149	158	XZ1(frt, Zh) - R3G25	72	1.39	2.47	2.37	6	0.99	-
Q.P.1 Lar - Q.Quarto Simples - x11	TT	5	22	Disjuntor	25	33	E	Caminho de Cabos	115	122	XZ1(frt, Zh) - R3G16	72	1.54	2.61	1.73	6	0.71	-
Q.P.1 Lar - Q.COZ.- Lar	TT	40	58	Disjuntor	63	82	F	Caminho de Cabos	279	295	XZ1(frt, Zh) - R4x1x70 + G35	26	0.20	1.27	5.44	10	2.47	-
Q.E.Lar - Q.P.2 Lar	TT	25	36	Disjuntor	40	52	E	Caminho de Cabos	127	134	XZ1(frt, Zh) - R5G25	86	0.98	1.29	2.35	6	0.98	-
Q.E.Lar - Q.AVAC - Lar	TT	100	144	Disjuntor	160	208	F	Caminho de Cabos	279	295	XZ1(frt, Zh) - R4x1x70 + G35	75	1.41	1.72	4.99	10	2.24	-
Q.E.Lar - Q.ELEV1 - Lar	TT	10	14	Disjuntor	25	33	E	Caminho de Cabos	75	79	XZ1(frt, Zh) - R5G10	76	0.81	1.12	1.21	6	0.49	-
Q.E.Lar - Q.INV. Lar	TT	60	87	Disjuntor	100	130	F	Caminho de Cabos	176	186	XZ1(frt, Zh) - R4x1x35 + G35	60	1.22	1.53	3.87	10	1.68	-
Q.INV. Lar - TI- Q.SEG Lar	TT	60	87	Disjuntor	100	130	F	Caminho de Cabos	176	186	XZ1(frs, Zh) - R4x1x35 + G35	10	0.20	1.73	3.49	10	1.50	-
Q.SEG Lar - Q.DESF Lar	TT	30	43	Disjuntor	63	82	E	Caminho de Cabos	100	106	XZ1(frs, Zh) - R5G16	15	0.32	2.05	2.65	6	1.12	-
Q.SEG Lar - Q.ELEV2 Lar	TT	10	14	Disjuntor	25	33	E	Caminho de Cabos	100	106	XZ1(frs, Zh) - R5G16	30	0.21	1.94	2.14	6	0.89	-

Resultados

×

	Quadros elétricos (origem - destino)	Esquema de neutro	S [kVA]	Ib [A]	Tipo de proteção	In [A]	I2 [A]	Mét. Ref.	Modo de instalação	Iz	1,45Iz'	Canalização	L [m]	ΔU [%]	ΔU' [%]	Icc máx [kA]	Pdc [kA]	Icc min [kA]	Regulação [kA]
1	✓ Portinhola - Q.E.Lar	TT	217	313	Disjuntor Compacto	315	410	D	Enterrado	406	589	XZ1(frt, zh) - 2x(R4x1x70)	15	0.26	0.26	10.85	15	5.76	-
2	✓ Q.E.Lar - Q.P.1 Lar	TT	120	173	Disjuntor Compacto	200	260	F	Caminhos de Cabos	407	591	XZ1(frt, zh) - 2x(R4x1x70 + G35)	68	0.66	0.92	6.82	10	3.22	-
3	✓ Q.P.1 Lar - Q.Quarto Duplo - x 8	TT	7	30	Disjuntor Compacto	32	42	E	Caminhos de Cabos	109	158	XZ1(frt, zh) - R3G25	72	1.36	2.28	2.37	6	0.99	-
4	✓ Q.P.1 Lar - Q.Quarto Simples - x11	TT	5	22	Disjuntor Compacto	25	32	E	Caminhos de Cabos	84	122	XZ1(frt, zh) - R3G16	72	1.52	2.44	1.73	6	0.71	-
5	✓ Q.P.1 Lar - Q.COZ.- Lar	TT	40	58	Disjuntor Compacto	63	82	F	Caminhos de Cabos	196	284	XZ1(frt, zh) - R4x1x70 + G35	26	0.17	1.09	5.44	10	2.47	-
6	✓ Q.E.Lar - Q.P.2 Lar	TT	25	36	Disjuntor Compacto	40	52	E	Caminhos de Cabos	93	134	XZ1(frt, zh) - R5G25	86	0.97	1.23	2.35	6	0.98	-
7	✓ Q.E.Lar - Q.AVAC - Lar	TT	100	144	Disjuntor Compacto	160	208	F	Caminhos de Cabos	196	284	XZ1(frt, zh) - R4x1x70 + G35	75	1.21	1.47	4.99	10	2.24	-
8	✓ Q.E.Lar - Q.ELEV1 - Lar	TT	10	14	Disjuntor Compacto	25	32	E	Caminhos de Cabos	55	79	XZ1(frt, zh) - 5G10	76	0.85	1.11	1.21	6	0.49	-
9	✓ Q.E.Lar - Q.INV. Lar	TT	60	87	Disjuntor Compacto	100	130	F	Caminhos de Cabos	128	186	XZ1(frt, zh) - R4x1x35	60	1.16	1.42	3.87	10	1.68	-
10	✓ Q.INV. Lar - TI- Q.SEG Lar	TT	60	87	Disjuntor Compacto	100	130	F	Caminhos de Cabos	128	186	XZ1(frs, zh) - R4x1x35	10	0.19	1.61	3.49	10	1.5	-
11	✓ Q.SEG Lar - Q.DESF Lar	TT	30	43	Disjuntor Compacto	63	82	E	Caminhos de Cabos	73	106	XZ1(frs, zh) - R5G16	15	0.32	1.93	2.65	6	1.12	-
12	✓ Q.SEG Lar - Q.ELEV2 Lar	TT	10	14	Disjuntor Compacto	25	32	E	Caminhos de Cabos	73	106	XZ1(frs, zh) - R5G16	30	0.21	1.82	2.14	6	0.89	-

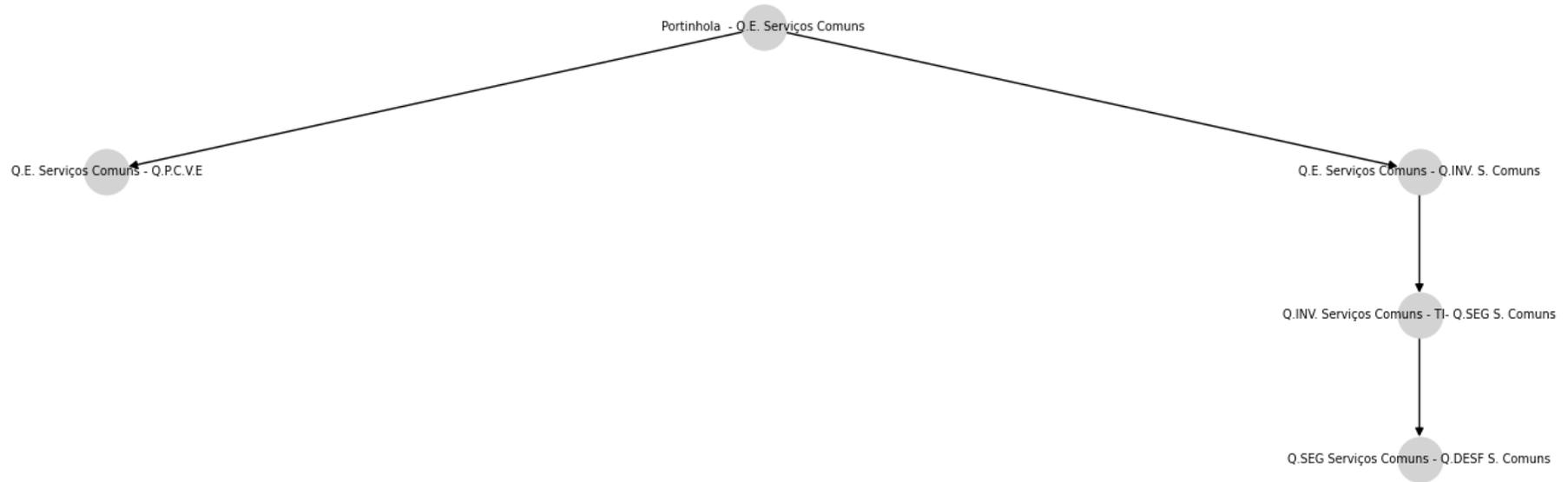
<

>

Guardar

Fechar

## Garagem de serviços comuns



### 2 Dimensionamento das canalizações

Quadros elétricos (origem – destino)	Esque-ma de neutro	S	Ib	Tipo de proteção	In	I2	Mét. Ref.	Modo de instalação	Iz	1,45 Iz'	Canalização	L	ΔU	ΔU'	Icc máx	Pdc	Icc min	Regu-lação
		[kVA]	[A]		[A]	[A]			[A]	[A]		[m]	[%]	[%]	[kA]	[kA]	[kA]	[kA]
Portinhola - Q.E. Serviços Comuns	TT	80	116	Disjuntor	160	208	D	Enterrado	508	589	XZ1(frt, Zh) - 2x(R4x1x70)	60	0.45	0.45	7.81	15	3.78	-
Q.E. Serviços Comuns - Q.P.C.V.E	TT	60	87	Disjuntor	100	130	F	Caminho de Cabos	176	186	XZ1(frt, Zh) - R4x1x35 + G35	18	0.37	0.82	5.65	10	2.57	-
Q.E. Serviços Comuns - Q.INV. S. Comuns	TT	60	87	Disjuntor	100	130	F	Caminho de Cabos	176	186	XZ1(frt, Zh) - R4x1x35 + G35	49	1.00	1.45	3.81	10	1.65	-
Q.INV. Serviços Comuns - TI- Q.SEG S. Comuns	TT	60	87	Disjuntor	100	130	F	Caminho de Cabos	176	186	XZ1(frs, Zh) - R4x1x35 + G35	10	0.20	1.65	3.44	10	1.48	-
Q.SEG Serviços Comuns - Q.DESF S. Comuns	TT	33	48	Disjuntor	63	82	E	Caminho de Cabos	100	106	XZ1(frs, Zh) - R5G16	15	0.35	2.00	2.63	6	1.11	-

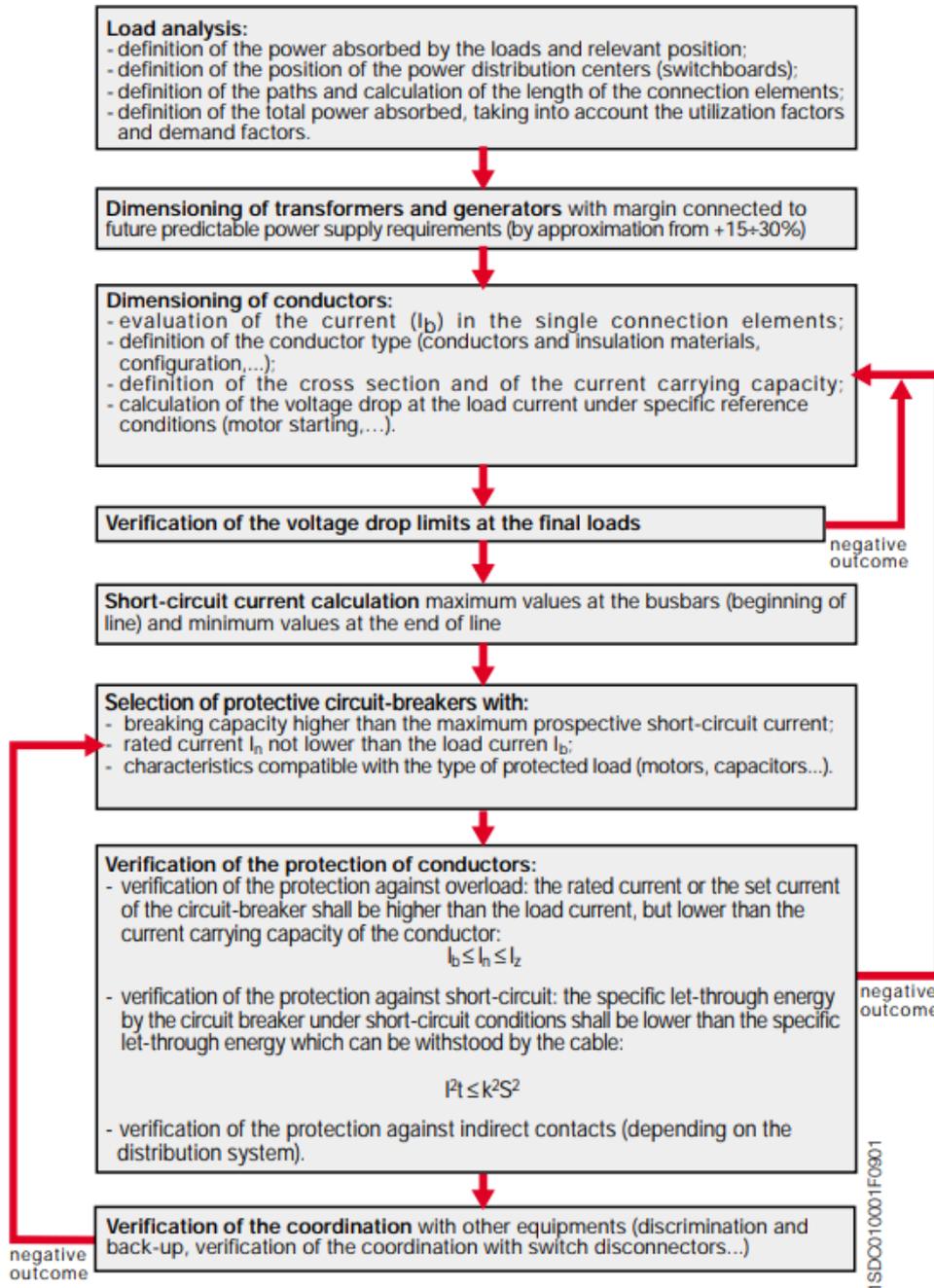
	✓	Quadros elétricos (origem - destino)	Esquema de neutro	S [kVA]	Ib [A]	Tipo de proteção	In [A]	I2 [A]	Mét. Ref.	Modo de instalação	Iz	1,45Iz'	Canalização	L [m]	ΔU [%]	ΔU' [%]	Icc máx [kA]	Pdc [kA]	Icc min [kA]	Regulação [kA]
1	✓	Portinhola - Q.E. Serviços Comuns	TT	80.4	116	Disjuntor Compacto	160	208	D	Enterrado	406	589	XZ1(frt, zh) - 2x(R4x1x70)	60	0.39	0.39	7.81	15	3.78	-
2	✓	Q.E. Serviços Comuns - Q.P.C.V.E	TT	60	87	Disjuntor Compacto	100	130	F	Caminhos de Cabos	128	186	XZ1(frt, zh) - R4x1x35 + G35	18	0.35	0.74	5.65	10	2.57	-
3	✓	Q.E. Serviços Comuns - Q.INV. S. Comuns	TT	60	87	Disjuntor Compacto	100	130	F	Caminhos de Cabos	128	186	XZ1(frt, zh) - R4x1x35 + G35	49	0.94	1.33	3.81	10	1.65	-
4	✓	Q.INV. Serviços Comuns - TI- Q.SEG S. Comuns	TT	60	87	Disjuntor Compacto	100	130	F	Caminhos de Cabos	128	186	XZ1(frs, zh) - R4x1x35 + G35	10	0.19	1.53	3.44	10	1.48	-
5	✓	Q.SEG Serviços Comuns - Q.DESF S. Comuns	TT	33	48	Disjuntor Compacto	63	82	E	Caminhos de Cabos	73	106	XZ1(frs, zh) - R5G16	15	0.35	1.87	2.63	6	1.11	-

< >

Guardar

Fechar

# ANEXO 1 – FLUXOGRAMA PARA O DIMENSIONAMENTO DE UM CABO ELÉTRICO E RESPECTIVO DISPOSITIVO DE PROTEÇÃO SEGUNDO A ABB SACE



## ANEXO 2 – VALORES NORMALIZADOS DE CORRENTES ADMISSÍVEIS DAS RTIEBT

### Métodos de referência A, B e C – Monofásico – PVC

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

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

### Método de referência A, B e C – Monofásico – XLPE

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

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

## Métodos de referência A, B e C – Trifásico – PVC

Secção nominal dos condutores (mm <sup>2</sup> )	Método de referência		
	A	B	C(*)
<i>Condutores de cobre</i>			
1,5	13,5	15,5	17,5
2,5	18,0	21	24
4	24	28	32
6	31	36	41
10	42	50	57
16	56	68	76
25	73	89	96
35	89	110	119
50	108	134	144
70	136	171	184
95	164	207	223
120	188	239	259
150	216	-	299
185	245	-	341
240	286	-	403
300	328	-	464
<i>Condutores de alumínio</i>			
2,5	14,0	16,5	18,5
4	18,5	22	25
6	24	28	32
10	32	39	44
16	43	53	59
25	57	70	73
35	70	86	90
50	84	104	110
70	107	133	140
95	129	161	170
120	149	186	197
150	170	-	227
185	194	-	259
240	227	-	305
300	261	-	351

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

## Métodos de referência A, B e C – Trifásico – XLPE

Secção nominal dos condutores (mm <sup>2</sup> )	Método de referência		
	A	B	C(*)
<i>Condutores de cobre</i>			
1,5	17,0	20,0	22
2,5	23	28	30
4	31	37	40
6	40	48	52
10	54	66	71
16	73	88	96
25	95	117	119
35	117	144	147
50	141	175	179
70	179	222	229
95	216	269	278
120	249	312	322
150	285	-	371
185	324	-	424
240	380	-	500
300	435	-	576
<i>Condutores de alumínio</i>			
2,5	19,0	22	24
4	25	29	32
6	32	38	41
10	44	52	57
16	58	71	76
25	76	93	90
35	94	116	112
50	113	140	136
70	142	179	174
95	171	217	211
120	197	251	245
150	226	-	283
185	256	-	323
240	300	-	382
300	344	-	440

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

## Métodos de referência E e F – Cobre – PVC

Secção nominal dos condutores (mm <sup>2</sup> )	Cabos multicondutores		Cabos monocondutores				
	Dois condutores carregados <sup>(1)</sup>	Três condutores carregados <sup>(1)</sup>	Dois condutores carregados	Três condutores carregados em triângulo	Três condutores carregados em esteira		
					Sem afastamento <sup>(2)</sup>	Com afastamento <sup>(2)</sup>	
Mét. ref. <sup>⇒</sup>	E	E	F	F	F	Horizontal	Vertical
Coluna.⇒	1	2	3	4	5	6	7
1,5	22	18,5	-	-	-	-	-
2,5	30	25	-	-	-	-	-
4	40	34	-	-	-	-	-
6	51	43	-	-	-	-	-
10	70	60	-	-	-	-	-
16	94	80	-	-	-	-	-
25	119	101	131	110	114	146	130
35	148	126	162	137	143	181	162
50	180	153	196	167	174	219	197
70	232	196	251	216	225	281	254
95	282	238	304	264	275	341	311
120	328	276	352	308	321	396	362
150	379	319	406	356	372	456	419
185	434	364	463	409	427	521	480
240	514	430	546	485	507	615	569
300	593	497	629	561	587	709	659
400	-	-	754	656	689	852	795
500	-	-	868	749	789	982	920
630	-	-	1 005	855	905	1 138	1 070

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

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

## Métodos de referência E e F – Alumínio – PVC

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

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

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

## Métodos de referência E e F – Cobre – XLPE

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

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

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

## Métodos de referência E e F – Alumínio – XLPE

Secção nominal dos condutores (mm <sup>2</sup> )	Cabos multicondutores		Cabos monocondutores				
	Dois condutores carregados <sup>(1)</sup>	Três condutores carregados <sup>(1)</sup>	Dois condutores carregados	Três condutores carregados em triângulo	Três condutores carregados em esteira		
					Sem afastamento <sup>(2)</sup>	Com afastamento <sup>(2)</sup>	
Mét. ref <sup>a</sup> →	E	E	F	F	F	Horizontal	Vertical
Coluna →	1	2	3	4	5	6	7
2,5	28	24	-	-	-	-	-
4	38	32	-	-	-	-	-
6	49	42	-	-	-	-	-
10	67	58	-	-	-	-	-
16	91	77	-	-	-	-	-
25	108	97	121	103	107	138	122
35	135	120	150	129	135	172	153
50	164	146	184	159	165	210	188
70	211	187	237	206	215	271	244
95	257	227	289	253	264	332	300
120	300	263	337	296	308	387	351
150	346	304	389	343	358	448	408
185	397	347	447	395	413	515	470
240	470	407	530	471	492	611	561
300	543	471	613	547	571	708	652
400	-	-	740	663	694	856	792
500	-	-	856	770	806	991	921
630	-	-	996	899	942	1 154	1 077

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

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

## Métodos de referência A2 e B2 – PVC

Secção nominal dos condutores (mm <sup>2</sup> )	Dois condutores carregados		Três condutores carregados		
	Mét. ref.⇒	A2	B2	A2	B2
	Coluna.⇒	2	3	4	5
<i>Condutores de cobre</i>					
1,5	14	16,5	13	15	
2,5	18,5	23	17,5	20	
4	25	30	23	27	
6	32	38	29	34	
10	43	52	39	46	
16	57	69	52	62	
25	75	90	68	80	
35	92	111	83	99	
50	110	133	99	118	
70	139	168	125	149	
95	167	291	150	179	
120	192	232	172	206	
150	219	-	196	-	
185	248	-	223	-	
240	291	-	261	-	
300	334	-	298	-	
<i>Condutores de alumínio</i>					
2,5	14,5	17,5	13,5	15,5	
4	19,5	24	17,5	21	
6	25	30	23	27	
10	33	41	31	36	
16	44	54	41	48	
25	58	71	53	62	
35	71	86	65	77	
50	86	104	78	92	
70	108	131	98	116	
95	130	157	118	139	
120	150	181	135	160	
150	172	-	155	-	
185	195	-	176	-	
240	229	-	207	-	
300	263	-	237	-	

## Métodos de referência A2 e B2 – XLPE

Secção nominal dos condutores (mm <sup>2</sup> )	Dois condutores carregados		Três condutores carregados		
	Mét. ref.⇒	A2	B2	A2	B2
	Coluna.⇒	2	3	4	5
<i>Condutores de cobre</i>					
1,5	18,5	22	16,5	19,5	
2,5	25	30	22	26	
4	33	40	30	35	
6	42	51	38	44	
10	57	69	51	60	
16	76	91	68	80	
25	99	119	89	105	
35	121	146	109	128	
50	145	175	130	154	
70	183	221	164	194	
95	220	265	197	233	
120	253	305	227	268	
150	290	-	259	-	
185	329	-	295	-	
240	386	-	346	-	
300	442	-	396	-	
<i>Condutores de alumínio</i>					
2,5	19,5	23	18	21	
4	26	31	24	28	
6	33	40	31	35	
10	45	54	41	48	
16	60	72	55	64	
25	78	94	71	84	
35	96	115	87	103	
50	115	138	104	124	
70	145	175	131	156	
95	175	210	157	188	
120	201	242	180	216	
150	230	-	206	-	
185	262	-	233	-	
240	307	-	273	-	
300	352	-	313	-	

## Métodos de referência D

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

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

## ANEXO 3 – VALORES NORMALIZADOS DE FATORES DE CORREÇÃO DAS RTIEBT

### Temperatura ambiente

Temperatura ambiente (°C)	Isolamento	
	PVC	XLPE/EPR
10	1,22	1,15
15	1,17	1,12
20	1,12	1,08
25	1,06	1,04
30	1,00	1,00
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	0,50	0,71
65	-	0,65
70	-	0,58
75	-	0,50
80	-	0,41
85	-	-
90	-	-
95	-	-

### Temperatura do solo

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

## Agrupamento de cabos – A, B, C, E e F

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

## Agrupamento de cabos – D

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

## Agrupamento de cabos – F

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

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

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

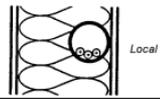
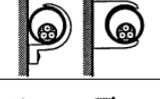
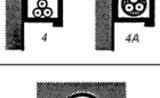
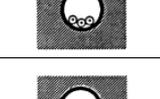
(3) - Cada circuito é constituído por três cabos monocondutores em esteira vertical.

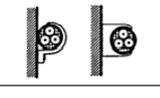
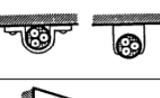
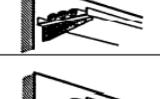
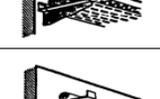
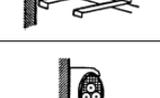
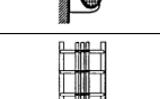
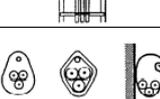
(4) - Cada circuito é constituído por três cabos monocondutores em triângulo.

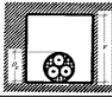
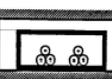
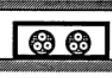
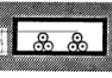
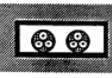
## Resistividade do solo

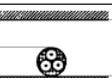
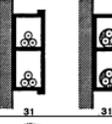
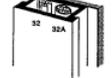
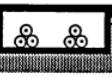
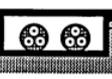
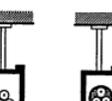
Resistividade térmica do terreno (K.m/W)	Factor de correcção	Observações	
		Humidade	Natureza do terreno
0,40	1,25	Cabo imerso	Lodo
0,50	1,21	Terreno muito húmido	Areia
0,70	1,13	Terreno húmido	Argila e Calcário
0,85	1,05	Terreno normal	
1,00	1,00	Terreno seco	
1,20	0,94	Terreno muito seco	Cinzas
1,50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

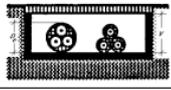
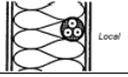
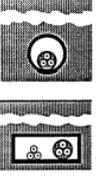
## ANEXO 4 – MODOS DE INSTALAÇÃO DAS RTIEBT

Exemplo	Designação	Ref <sup>(1)</sup>	Método de ref <sup>(1)</sup>
1	2	3	4
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) embebidas em elementos da construção, termicamente isolantes	1	A
	Cabos multicondutores em condutas circulares (tubos) embebidas em elementos da construção, termicamente isolantes	2	A2
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) montadas à vista	3	B
	Cabos mono ou multicondutores em condutas circulares (tubos) montadas à vista	3A	(em estudo)
	Condutores isolados em condutas não circulares montadas à vista	4	B2
	Cabos mono ou multicondutores em condutas não circulares montadas à vista	4A	(em estudo)
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) embebidas nos elementos da construção, em alvenaria	5	B
	Cabos mono ou multicondutores em condutas circulares (tubos) embebidas nos elementos da construção, em alvenaria	5A	(em estudo)

Exemplo	Designação	Ref <sup>(1)</sup>	Método de ref <sup>(1)</sup>
1	2	3	4
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) fixados às paredes	11	C
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) fixados aos tectos	11A	C [3]
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) em caminhos de cabos não perfurados	12	C [2] <sup>(3)</sup>
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) em caminhos de cabos perfurados	13	E ou F [4] <sup>(3)</sup>
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) em consolas	14	E ou F [4] ou [5] <sup>(2)(3)</sup> G
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) fixados por braçadeiras e afastados dos elementos da construção	15	E ou F [4] ou [5] <sup>(2)(3)</sup> G
	Cabos mono ou multicondutores (com ou sem armadura) em escadas (para cabos)	16	E ou F [4] ou [5] <sup>(2)(3)</sup> G
	Cabos mono ou multicondutores auto-sustentados ou suspensos por fiadores	17	E ou G

Exemplo	Designação	Ref <sup>o</sup>	Método de ref <sup>o</sup> (1)
1	2	3	4
	Condutores nus ou isolados assentes sobre isoladores	18	G
	Cabos mono ou multicondutores em ocios da construção	21	B2 para: $1,5D_e \leq V < 5D_e$ B para: $5D_e \leq V < 50D_e$ (4)
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) em ocios da construção	22	B2 para: $1,5D_e \leq V < 20D_e$ B para: $20D_e \leq V < 50D_e$ (4)
	Cabos mono ou multicondutores em condutas circulares (tubos) em ocios da construção	22A	(em estudo)
	Condutores isolados em condutas não circulares em ocios da construção	23	B2 para: $1,5D_e \leq V < 20D_e$ B para: $20D_e \leq V < 50D_e$ (4)
	Cabos mono ou multicondutores em condutas não circulares em ocios da construção	23A	(em estudo)
	Condutores isolados em condutas não circulares embebidas durante a construção do edifício	24	B2 para: $1,5D_e \leq V < 5D_e$ B para: $5D_e \leq V < 50D_e$ (4)
	Cabos mono ou multicondutores em condutas não circulares embebidas durante a construção do edifício	24A	(em estudo)

Exemplo	Designação	Ref <sup>o</sup>	Método de ref <sup>o</sup> (1)
1	2	3	4
	Cabos mono ou multicondutores em tectos falsos ou suspensos	25	B2 para: $1,5D_e \leq V < 5D_e$ B para: $5D_e \leq V < 50D_e$ (4)
	Condutores isolados ou cabos mono ou multicondutores em calhas fixadas a elementos da construção em percursos horizontais	31	B(5/8)
	Condutores isolados ou cabos mono ou multicondutores em calhas fixadas a elementos da construção em percursos verticais	32	B(5/8)
	Condutores isolados em calhas embebidas nos pavimentos e nas paredes	33	B(5)
	Cabos mono ou multicondutores em calhas embebidas nos pavimentos e nas paredes	33A	B2
	Condutores isolados em calhas suspensas	34	B(5)
	Cabos mono ou multicondutores em calhas suspensas	34A	B2
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) ou cabos multicondutores em caleiras fechadas, em percursos horizontais ou verticais	41	B2 para: $1,5D_e \leq V < 20D_e$ B para: $20D_e \leq V < 50D_e$ (4)

Exemplo	Designação	Ref <sup>º</sup>	Método de ref <sup>º</sup> (1)
1	2	3	4
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) em caleiras ventiladas	42	B(6)/(8)
	Cabos mono ou multicondutores em caleiras abertas ou ventiladas	43	B(6)
	Cabos multicondutores embecidos directamente em elementos da construção, termicamente isolantes	51	A
	Cabos mono ou multicondutores embecidos directamente em elementos da construção, sem protecção mecânica complementar	52	C
	Cabos mono ou multicondutores embecidos directamente em elementos da construção, com protecção mecânica complementar	53	C
	Cabos mono ou multicondutores, em condutas enterradas	61	D(7)
	Cabos mono ou multicondutores enterrados, sem protecção mecânica complementar	62	D(7)

Exemplo	Designação	Ref <sup>º</sup>	Método de ref <sup>º</sup> (1)
1	2	3	4
	Cabos mono ou multicondutores enterrados, com protecção mecânica complementar	63	D(7)
	Condutores isolados em calhas de rodapé	71	A(9)
	Condutores isolados ou cabos mono ou multicondutores em calhas de rodapé dotadas de separadores (* - compartimento para cabos de comunicações e de transmissão de dados)	72	B(8)
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) ou cabos mono ou multicondutores, protegidos pelos aros das portas	73	A(9)
	Condutores isolados em condutas circulares (tubos) ou cabos mono ou multicondutores, protegidos pelos aros das janelas	74	A(9)

*Nota:* O algarismo indicado dentro de [ ] corresponde ao da referência do quadro 52E1 (factores de correcção).  
*V* - é a menor dimensão ou o diâmetro do oco ou a dimensão vertical do bloco alvéolar do oco do pavimento ou do lecto.  
*D<sub>o</sub>* - é o diâmetro exterior dos cabos multicondutores ou o diâmetro equivalente dos cabos monocondutores ou o diâmetro exterior da conduta ou do bloco alvéolar, quando os cabos monocondutores forem colocados em triângulo  $D_o = 2,2d$  e quando forem colocados em linha  $D_o = 3d$  (*d* - é o diâmetro exterior de um cabo monocondutor);

(1) - Veja-se o Anexo III.  
(2) - Para certas aplicações, pode ser mais adequado utilizar factores de correcção específicos, como por exemplo, os indicados nos quadros 52E4 e 52E5.  
(3) - Os valores das correntes admissíveis podem também ser usados para os percursos verticais; quando as condições de ventilação forem limitadas a temperatura na parte superior do percurso vertical pode tornar-se muito elevada.  
(4) - Para  $V > 50D_o$  devem ser usados os métodos de referência C, E ou F.  
(5) - Os valores das correntes admissíveis indicados para o método de referência B são válidos para um único circuito, quando se utilizar mais do que um circuito, devem ser aplicados os factores de correcção indicados no quadro 52E1, mesmo se houver divisórias ou separadores.  
(6) - Recomenda-se limitar a utilização destes modos de instalação aos locais acessíveis apenas a pessoas autorizadas.  
(7) - Em estudo; provisoriamente aplica-se o método D do Anexo III.  
(8) - Para os cabos multicondutores utilizar o método de referência B2.  
(9) - Quando a construção destas calhas for termicamente equivalente às utilizadas nos métodos de instalação 31 e 32, podem ser usados os métodos de referência B e B2 (veja-se a nota 7).