

INVESTIGAÇÃO & DESENVOLVIMENTO DE QUADROS ELÉTRICOS MODULARES DE BAIXA TENSÃO

MONIQUE VIEIRA PONTES

novembro de 2022

DESENVOLVIMENTO DE QUADROS ELÉTRICOS MODULARES DE BAIXA TENSÃO

Monique Vieira Pontes



Instituto Superior de
Engenharia do Porto

Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2022

Dissertação do Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

Candidato: Monique Vieira Pontes, Nº 1190039, 1190039@isep.ipp.pt

Orientação científica: José António Beleza Carvalho, jbc@isep.ipp.pt

Empresa: Jayme da Costa

Coorientador: Alexandre Alves dos Santos, alexandre.santos@jaymedacosta.pt



Departamento de Engenharia Eletrotécnica

Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia

2022

“Se a educação sozinha não pode transformar a sociedade, tampouco sem ela a sociedade muda”

Paulo Freire

Agradecimentos

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus, que me mostra os caminhos a seguir, todos os dias, com discernimento, coragem e sabedoria.

À minha mãe e meu pai, principais responsáveis pela minha formação, pela forma como vejo a vida e por serem sempre os meus pilares. Aos meus irmãos e cunhados, pessoas fundamentais na minha vida, que sempre foram exemplos, acreditaram no meu potencial e me apoiaram em tudo. Ao meu namorado que esta sempre a ressaltar a minha força.

Ao Engenheiro Professor Doutor José António Beleza Carvalho pela orientação, ensinamentos, confiança e incentivo. Além de mostrar-se sempre disposto a ajudar na minha jornada académica e profissional.

Ao Engenheiro Alexandre Alves dos Santos pelo apoio, experiência partilhada e sugestões para concretização dessa dissertação, e ao Engenheiro Rui Cardoso por dar-me a oportunidade de fazer parte da Jayme da Costa e por confiar no meu potencial.

A todos da equipa Jayme da Costa que estiveram sempre ao meu lado e de forma prática ensinaram o necessário para dar andamento ao tema proposto e, em específico, ao Projetista Manuel António o qual continuamente demonstra parceria e comprometimento no desenvolvimento deste projeto.

A todos os professores responsáveis pela minha jornada no Mestrado em Engenharia Eletrotécnica – Sistemas Elétricos de Energia. E ao Instituto Superior de Engenharia do Porto e ao Departamento de Engenharia Eletrotécnica, pela oportunidade.

Resumo

Com o desenvolvimento tecnológico e a busca por manter as condições favoráveis, de forma sustentável, houve a percepção da demanda de novas fontes energéticas, e investimento nestas. Desencadeada devido a crescente necessidade mundial de conexões rápidas através de dispositivos eletrônicos. No entanto, com a expansão energética, é necessário pensar em toda a rede de distribuição de energia para que a utilização desta, pelo consumidor, seja realizada de forma segura, tanto para as pessoas quanto para o ambiente. Logo, o estudo e atualização dos equipamentos desde o início da cadeia energética até o final, conforme norma, torna-se fundamental. É neste contexto de praticidade e avanço tecnológico que como solução de gestão de tempo em fábrica e minimização de *stock*, os quadros elétricos modulares passaram a ser cada vez mais utilizados por grandes fabricantes e quadristas. No entanto, foi verificada a pouca abordagem deste tema em pesquisas, e com isso, identificou-se a necessidade desta contribuição científica. Logo este trabalho de dissertação propõe-se investigar e desenvolver o estudo de quadros elétricos modulares de baixa tensão, através da abordagem de definição científica gradual, ou seja, foi verificado desde a gestão de desdobramento do produto, a passar pela análise de mercado e de seguida na construção do protótipo de acordo com a investigação e aplicação de cálculos normativos, conforme IEC 61439-1 & 2. O objetivo foi auxiliar pesquisadores e trabalhadores na área, no desenvolvimento de um quadro elétrico modular de baixa tensão, o qual possui importância na distribuição de energia elétrica, seja em indústrias, lojas, empresas ou residências de forma segura. Foi perceptível, com esse estudo, concluir que há muitas vertentes envolvidas para a construção do protótipo de modularização de um quadro elétrico de baixa tensão, seja da parte elétrica, seja da parte mecânica e industrial. O conjunto de diretrizes necessárias para sua certificação, conforme últimas atualizações normativas e fundamentais para aplicação no mercado industrial também foram de suma importância. Logo foi possível verificar que gradualmente, e tendo em consideração os pontos cruciais normativos, é viável a confecção do quadro elétrico modular de BT.

Palavras-Chave

Quadros elétricos de baixa tensão, Modularização, I&D, Normalização.

Abstract

With technological development and search to maintain favourable conditions, in a sustainable manner, there was the perception of new energy sources and their investment engagement. Due to the world's need to connect quickly through electronic devices. However, with the energy transition expansion, it is necessary to think about the whole energy distribution network. Therefore, being used by the consumer it is performed safely for people and environments, without damage. Therefore, the study and updating of the equipment from the beginning of the energy chain to the end, according to the norm, becomes fundamental. On this context of practicality and technological advancement that as a solution for managing time in the factory and minimizing stock modular switchboards have been increasingly used by large manufacturers and quadrants. However, it was verified the little approach of this subject in researches, and with that the necessity of this scientific contribution. Therefore, this dissertation work proposes to investigate and develop the study of low voltage modular switchboards, through the approach of gradual scientific definition, i.e., it was verified since the product deployment management, passing through the market analysis and then in the prototype construction according to the investigation and application of normative calculations, according to IEC 61439-1 and 2. The objective was to assist researchers and workers in the area, in the development of a low voltage modular switchboard which has importance in the distribution of electric power, whether in industries, shops, companies or residences in a safe way. It was possible to perceive with this study that there are many aspects involved in the construction of the prototype of a modular low voltage switchboard, whether the electrical, mechanical or industrial part. It was also taken into account the set of guidelines necessary for its certification, according to the latest normative and fundamental updates for application in the industrial market. Thus, it was possible to verify that, gradually and taking into consideration the crucial normative points, the production of the modular LV switchboard is feasible.

Keywords

Low voltage switchboards, Modularisation, R&D, Standardisation.

Índice

AGRADECIMENTOS.....	I
RESUMO	II
ABSTRACT.....	III
ÍNDICE DE FIGURAS.....	VI
ÍNDICE DE TABELAS	X
ACRÓNIMOS	XIV
1. INTRODUÇÃO	1
1.1.CONTEXTUALIZAÇÃO	1
1.2.OBJETIVOS.....	2
1.3.CALENDARIZAÇÃO	3
1.4.APRESENTAÇÃO DA EMPRESA.....	4
1.5.ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO.....	5
2. QUADROS ELÉTRICOS MODULARES DE BT	6
2.1.HISTÓRIA DOS QUADROS ELÉTRICOS DE BT.....	6
2.2.CONSTITUIÇÃO DOS QUADROS ELÉTRICOS DE BT	7
2.2.1. <i>Invólucro</i>	7
2.2.2. <i>Bastidor</i>	8
2.2.3. <i>Componentes dos quadros elétricos</i>	8
2.2.3.1. Equipamentos elétricos.....	8
2.2.3.2. Materiais.....	10
2.3.TENDENCIAS TECNOLÓGICAS	12
2.3.1. <i>Automatização</i>	13
2.3.2. <i>Redundância</i>	14
2.4.NORMAS TÉCNICAS.....	15
2.5.ASPECTOS REGULAMENTARES PARA OS QUADROS ELÉTRICOS.....	16
2.5.1. <i>Sobre a estrutura</i>	16
2.5.2. <i>Design externo e interno</i>	18
2.5.3. <i>Tipo de instalação</i>	22
2.5.4. <i>Tipo de material ou envolvente</i>	22
2.5.5. <i>Classe de proteção</i>	22
2.5.6. <i>Elementos</i>	24
2.5.7. <i>Divisão interna</i>	24
2.5.8. <i>Proteção contra contactos</i>	26
2.6.UNIDADES FUNCIONAIS	28
2.7.SISTEMA DE VENTILAÇÃO E COMPENSAÇÃO DE ENERGIA REATIVA.....	32

2.8.PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DOS QUADROS MODULARES DE BT	34
2.9.CONCLUSÃO	35
3. ESTUDO DE CASO DO QUADRO MODULAR DE BT	36
3.1.ENQUADRAMENTO.....	36
3.2.GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DO QUADRO MODULAR DE BT.....	36
3.3.ANÁLISE DE MERCADO.....	39
3.3.1. <i>Análise de empresas (Benchmarking)</i>	39
3.3.2. <i>Informações de Mercado</i>	46
3.3.3. <i>Quadro elétrico modular de BT antigo</i>	49
3.4.ESTRUTURA PROPOSTA PARA ADEQUAÇÃO DO NOVO PROTÓTIPO AO MERCADO.....	53
3.4.1. <i>Estudo dos Barramentos</i>	53
3.4.2. <i>Cálculos da modularização</i>	63
3.4.3. <i>Definição funcional</i>	69
3.5.ORÇAMENTAÇÃO	74
3.6.CONCLUSÃO	80
4. ENSAIOS IEC 61439-1 & 2 PARA QUADROS ELÉTRICOS MODULARES DE BT.....	81
4.1.ENQUADRAMENTO.....	81
4.2.ENSAIOS IEC 61439- 1 & 2.....	81
4.2.1. <i>Verificações de ensaios</i>	83
4.2.2. <i>Verificações de rotina</i>	88
4.3.CONCLUSÃO	91
5. CONCLUSÕES.....	92
ANEXOS	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	101

Índice de Figuras

Figura 1-Invólucro de um QGBT, Fonte: Jayme da Costa.	7
Figura 2-Bastidor de um quadro aberto, Fonte: Jayme da Costa.	8
Figura 3-Componentes elétricos. Fonte Própria.	10
Figura 4- Barramento em um quadro modular de BT. Fonte: Jayme da Costa	11
Figura 5-Exemplo de Bornes de alimentação e repicagem. Fonte própria.	12
Figura 6- Acompanhamento das revoluções industriais, Fonte [14].	13
Figura 7-Evolução da IEC 61439 em comparação a NP, Fonte[[15]	15
Figura 8- Conjunto elétrico ABB. Fonte:[16]	16
Figura 9- Quadro elétrico Sivacon da Siemens, Fonte[17]	17
Figura 10-Compartimentos, Fonte[18].	18
Figura 11- Exemplo de montagem aberta. Fonte: Jayme da Costa	19
Figura 12-Exemplo de montagem parcialmente aberta. Fonte: Jayme da Costa	19
Figura 13-Montagem do tipo de superfície montado na parede, Fonte[21].	20
Figura 14- Montagem do tipo para embutir em parede, Fonte: [21].	21
Figura 15-Sistemas de calhas e de barras coletoras. Fonte[22].	21
Figura 16-Separação interna e forma construtiva, Fonte[25].	24
Figura 17-Formas construtivas, Fonte[24].	25
Figura 18- Exemplo da classe II - isolamento, Fonte[20].	28
Figura 19- Exemplo da coexistência entre os diversos ELTs[30].	29
Figura 20-Exemplo de esquema de Ligação à Terra TT[9].	30

Figura 21-Exemplo de esquema de Ligação à Terra TN-C[9].	30
Figura 22-Exemplo de esquema de Ligação à Terra TN-C-S[9].	31
Figura 23-Exemplo de esquema de Ligação à Terra IT, com e sem neutro[9].	31
Figura 24-Exemplo de ventilação forçada da Schneider electric[31].	32
Figura 25- Pannel para correção da energia reativa. Fonte:[32]	33
Figura 26-Tendências globais do mercado de Switchgear, Fonte[34].	39
Figura 27- Quadro elétrico Siemens[17]	40
Figura 28- Quadro elétrico Schneider Electric[31]	41
Figura 29- Quadro elétrico ABB[18]	41
Figura 30- Quadro elétrico Logstrup[35]	41
Figura 31- Quadro elétrico Eaton[36]	42
Figura 32-Exemplos de estruturas externas de quadros elétricos modulares de BT, Fonte [17], [18], [31], [35].	42
Figura 33- Modularização da Logstrup, Fonte[35].	43
Figura 34- Exemplo de distribuição de barramentos Siemens, Fonte[17].	44
Figura 35- Exemplo de compartimento de cabos da Eaton, Fonte[36].	44
Figura 36- Características técnicas do quadro modular de BT antigo, Fonte Jayme da costa.	
49	
Figura 37- Compartimentação e dimensões do quadro antigo, Fonte: Jayme da Costa.	50
Figura 38- Exemplo do compartimento de cabos antigo, Fonte: Jayme da Costa.	51
Figura 39- Exemplo de coluna de entrada, Fonte: Jayme da Costa.	52
Figura 40- Exemplo de disposição do barramento principal[38].	55

Figura 41- Firmeza Eletrodinâmica, Fonte[39].	59
Figura 42- Exemplo de um Rack unit, Fonte[41].	63
Figura 43-Exemplo de furação dos suportes do Rack, Fonte[41].	63
Figura 44- Esquema elétrico do quadro geral de BT com função de entrada, Fonte Jayme da Costa.	64
Figura 45- Exemplo de cubículos de entrada para modularização. Fonte própria.	65
Figura 46-Simulação do compartimento do barramento no SolidWorks. Fonte Jayme da Costa.	66
Figura 47-Simulação do compartimento de equipamentos modulares no SolidWorks. Fonte Jayme da Costa.	66
Figura 48- Simulação da vista traseira do compartimento de seccionamento no SolidWorks. Fonte Jayme da Costa.	67
Figura 49-Simulação da vista frontal do compartimento de MCCB no SolidWorks. Fonte Jayme da Costa.	68
Figura 50-Simulação da vista frontal do compartimento de passagem de cabos no SolidWorks. Fonte Jayme da Costa.	68
Figura 51- Vista da simulação do quadro geral modular de BT no SolidWorks. Fonte Jayme da Costa.	69
Figura 52- Fluxograma da responsabilidade dos ensaios de tipo e rotina, fonte própria.	82

Índice de Tabelas

Tabela 1- Calendarização do projeto	3
Tabela 2-Normas para quadros de BT. Fonte própria.	15
Tabela 3-Grau de proteção contra contatos acidentais e corpos estranhos: primeiro dígito de referência, Fonte[15].	23
Tabela 4-Grau de proteção contra água: segundo dígito de referência, Fonte[15].	23
Tabela 5-Descrição do tipo de ligações elétricas, Fonte[7].	24
Tabela 6- Fases projeto de I&D, Fonte própria.	37
Tabela 7-Caraterísticas elétricas dos fabricantes de quadros elétricos de BT, Fonte própria	44
Tabela 8-Quadro modular de BT, versão antiga, Fonte própria.	45
Tabela 9- Caraterísticas construtivas dimensionais dos fabricantes de quadros elétricos de BT, Fonte própria.	45
Tabela 10-Caraterísticas normativas dos fabricantes de quadros elétricos de BT, Fonte própria.	45
Tabela 11-Grau de proteção dos quadros elétricos de BT, Fonte própria.	46
Tabela 12-Saídas e entradas por ramo de atividade – Janeiro até Setembro 2021, Fonte [37].	46
Tabela 13-Perspetiva mundial, Fonte[37].	47
Tabela 14- Instaladores e quadristas de BT em Portugal, Fonte Própria.	48
Tabela 15-Segmentação de atuação dos principais fabricantes, Fonte própria.	48
Tabela 16- Tabela geral de corrente suportável para barramento de cobre, Fonte: Jayme da Costa.	54

Tabela 17-Tabela de corrente suportável para barramento de cobre da Legrand, Fonte[38].

55

Tabela 18-Valores de χ e n 57

Tabela 19-Cálculo do fator adimensional “m”, Fonte: Jayme da Costa. 60

Tabela 20- Cálculo do fator adimensional “n”, Fonte: Jayme da Costa. 60

Tabela 21- Equipamentos definidos para simulação da modularização. Fonte própria. 65

Tabela 22-Tabelas de dimensões dos equipamentos MCCB – Geral. Fonte Própria. 67

Tabela 23- Divisão de colunas modulares, por função e por dimensão, Fonte: Jayme da Costa. 70

Tabela 24-Biblioteca de subdivisão de colunas modulares, Fonte: Jayme da Costa. 71

Tabela 25- Quantidade de material da estrutura base, fonte própria. 74

Tabela 26- Quantidade de material do rodapé, fonte própria. 75

Tabela 27-Quantidade de material da porta exterior, fonte própria. 75

Tabela 28- Quantidade de material do compartimento de barramento, fonte própria. 75

Tabela 29- Quantidade de material elétrico do compartimento de barramento, fonte própria.
76

Tabela 30-Quantidade de material do compartimento de passagem de cabos, fonte própria.
76

Tabela 31- Quantidade de material do compartimento de equipamentos modulares, fonte
própria77

Tabela 32- Quantidade de material elétrico do compartimento de equipamentos modulares,
fonte própria. 77

Tabela 33- Quantidade de material do compartimento de seccionamento, fonte própria.78

Tabela 34- Quantidade de material elétrico do compartimento de seccionamento, fonte própria. 78

Tabela 35- Quantidade de material do compartimento MCCB, fonte própria. 79

Tabela 36- Quantidade de material elétrico do compartimento MCCB, fonte própria. 79

Tabela 37- Lista de verificações a serem realizadas conforme norma IEC 61439-1, Fonte[10]
83

Acrónimos

A-Ampère;

BT- Baixa Tensão;

DR-Diferencial Residual;

ELT-Esquema de Ligação à Terra;

IEC- International Electrotechnical Commission;

IT- Isolamento de todas as partes ativas em relação à terra ou ligação de um ponto à terra por meio de uma impedância I e Massa Conectada a Terra(T);

JdC- Jayme da Costa;

NP- Normas Portuguesas;

PLC- Controlador Lógico Programável;

QGBT- Quadro Geral de Baixa Tensão;

QUELMOD- Quadro Elétrico Modular de Baixa Tensão da Jayme da Costa;

TN -Transformador Conectado a Terra (T) e Massa com Ligação Elétrica Direta ao Ponto da Alimentação Ligado à Terra (N);

TN-C- é TN mais a função de neutro e proteção em um único condutor;

TN-C-S- são os TN-S e TN-C em conjunto no mesmo esquema elétrico;

TN-S- é TN mais a função de neutro e proteção em condutores distintos;

TT- Transformador Conectado a Terra(T) e Massa Conectada a Terra(T);

UPS- Uninterruptible power supply;

V-Volt.

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTUALIZAÇÃO

O profissional técnico responsável por um projeto de execução de instalações elétricas, seja no âmbito de equipamentos, seja no conjunto de soluções, terá sempre intrínseco no seu papel encontrar a melhor solução técnico-económica para a instalação em questão, tendo em consideração a segurança de pessoas e bens [1].

Neste contexto, desde o esquema elétrico até à disponibilização dos quadros modulares, é importante ter em consideração que houve um conjunto de etapas para garantir a distribuição equilibrada de energia elétrica, com a maior fiabilidade e segurança possíveis[1]. Os quadros elétricos modulares de baixa tensão possuem papel fundamental, pois são estruturas que possibilitam a distribuição de energia elétrica ao realizar o monitoramento de máquinas, equipamentos, motores e acionamento de aparelhos, através do seu sistema de proteção, comando e controle.

Para a confecção dos quadros elétricos modulares há uma série de profissionais qualificados envolvidos, pois existe a necessidade de ter conhecimento das atualizações das normas vigentes para o tipo de solução desejada pelo cliente, que nos dias atuais busca cada vez mais automatização e redundância do sistema. Dada a importância deste tema será realizado neste projeto o desenvolvimento técnico e normativo dos quadros elétricos modulares de baixa tensão com a análise exemplificada através de um estudo de caso deste tipo de produto na empresa Jayme da Costa, denominado QUELMOD.

1.2. OBJETIVOS

O objetivo principal desta dissertação é o desenvolvimento da especificação técnica e normativa dos quadros elétricos modulares de baixa tensão, com a exemplificação e aplicação do produto na empresa Jayme da Costa. Devido à complexidade inerente a este objetivo, foi essencial subdividir em múltiplas tarefas de realização mais simples, tais como:

- Realizar o estudo e enquadramento dos quadros elétricos modulares de BT e normas aplicáveis;
- Realizar o estudo e enquadramento da empresa Jayme da Costa e sua atuação no mercado versus a da concorrência;
- Analisar a solução existente do quadro modular de baixa tensão modular da Jayme da Costa e sua aplicabilidade atual versus a da concorrência;
- Definição de parâmetros aplicáveis para a padronização do QUELMOD de acordo com normas atuais vigentes;
- Elaboração do documento de especificação técnica, de acordo com estudos e cálculos para padronização do quadro modular de baixa tensão.

1.3. CALENDARIZAÇÃO

A calendarização deste trabalho de dissertação é apresentada na tabela 1. Esta inclui um conjunto de tarefas, como por exemplo: o estudo da documentação teórica, ou seja, toda documentação pesquisada relevante para o projeto, como livros, dissertações, artigos e normas; a verificação de dados para compor o projeto, relativos a projetos anteriores do quadro modular de baixa tensão da Jayme da Costa e material já existente, além de realização das modificações técnicas necessárias de acordo com norma vigente com cálculos envolvidos para composição do documento de especificação técnica.

Tabela 1- Calendarização do projeto

Nome das etapas	Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro
Definição da vertente de investigação do projeto					
Estudo da documentação teórica					
Estudo e análise das normas vigentes					
Verificação do estudo de caso e desenvolvimento das novas aplicações técnicas					
Escrita da dissertação					

1.4. APRESENTAÇÃO DA EMPRESA

A empresa Jayme da Costa, cuja sigla atual utilizada é JdC foi instituída em 1916 por Artur Augusto dos Santos, Joaquim Mendes da Costa e Artur Martins Nogueira, a qual teve a sua origem com a denominação social de “Santos, Costa & Nogueira, Lda.”. Foi nesta época sediada em Lisboa e em seguida inaugurava instalações no Porto, atualmente em Grijó. O foco neste início era o fabrico e a comercialização de equipamento elétrico de baixa e média tensão, de motores e outros equipamentos industriais. Logo de seguida o sócio Jayme da Costa, entra e realiza um papel primordial no desenvolvimento da sociedade e altera a denominação social para “Jayme da Costa, Limitada” [2].

Houve reconhecimento imediato sobre seus produtos e serviços, tendo sido um dos principais fornecedores na eletrificação do país, além de ter manuais desenvolvidos e utilizados na formação de muitos engenheiros e eletricistas nas universidades do País. É um dos principais fornecedores das companhias de eletricidade nacionais, agrupadas na atual EDP – Energias de Portugal. Obteve certificação de qualidade, pela norma EN NP ISO 9002, e foi uma das primeiras empresas do sector a atingi-lo e no ano de 1998 também alcançou a certificação segundo a norma NP EN ISO [2].

Após crise e reestruturação, recentemente a JdC sofreu alteração na sua estrutura acionista com a entrada da Core Capital e no ano de 2020 com a Visabeira, o que permite acelerar a trajetória de crescimento. Atualmente a JdC mostra-se como um dos principais competidores na área da produção de energias renováveis e da distribuição de energia em Portugal. Como foco há o desenvolvimento e expansão da atividade sistemista para a área de infraestruturas de transportes e ampliação da área de produtos[2].

1.5. ORGANIZAÇÃO DO DOCUMENTO

No Capítulo 2 será apresentado a definição de quadros elétricos modulares de BT e normas aplicáveis, para devido enquadramento do leitor e melhor entendimento do estudo de caso posteriormente. No capítulo 3, será abordado o enquadramento do estudo de caso do quadro modular de BT, no capítulo 4, serão demonstrados os parâmetros de ensaios técnicos a realizar, de acordo com as normas vigentes, para a padronização do quadro modular de baixa tensão e suas aplicações, no capítulo 5 serão apresentados as conclusões finais e o proposto como continuação para trabalhos futuros. Logo após haverá os anexos do protótipo realizado e as referências bibliográficas utilizadas como base para o este projeto.

2. QUADROS ELÉTRICOS MODULARES DE BT

Em algum momento da sua carreira um engenheiro depara-se com a seguinte situação: é preciso fazer algum equipamento ou quadro, aperfeiçoar um sistema ou programa e com isso ter conhecimento das normas técnicas vigentes no país[3]. O conhecimento das normas elétricas e sua aplicação é de suma importância para que os quadros elétricos, objeto de estudo desta dissertação, sejam confeccionados de maneira fiável e segura, tanto para os eletricitistas envolvidos quanto para os operadores do sistema em que for instalado[3].

Neste capítulo será abordado desde o conceito histórico dos quadros elétricos modulares, até sua definição e composição, com embasamento nas normas vigentes da IEC, para que o leitor possa compreender a base dos aspectos técnicos desenvolvidos nos capítulos posteriores.

2.1. HISTÓRIA DOS QUADROS ELÉTRICOS DE BT

O surgimento dos quadros elétricos de baixa tensão ou também denominados quadros de distribuição de energia, veio da necessidade de fornecer a energia necessária para utilização nas indústrias, casas, instalações de iluminação, dentre outros, de maneira segura, sem que as pessoas ou o estabelecimento sofram danos por fugas de corrente ou curto-circuito.

De maneira histórica consta que nos primórdios dos anos de 1900, os painéis utilizados nas nossas residências eram de 120V e 30A, nos quais utilizavam fusíveis e um interruptor tipo faca para desligar a energia de todo o painel. Tendo em consideração o avanço tecnológico e a necessidade do uso de equipamentos eletrônicos de modo atual e a quantidade de cargas elétricas que é utilizado, esse painel não conseguiria suportar[4].

Na década de 1960, os painéis de baixa tensão com disjuntores se tornaram obrigatórios, conforme a norma, e são utilizados até hoje por questões de segurança. O avanço da informática aliado com a necessidade do desenvolvimento da eletrônica fez com que os painéis elétricos seguissem o mesmo caminho, rumo à automatização dos processos

industriais, tendo a necessidade de suportar cargas cada vez maiores, através de produtos cada vez menores, mas com capacidade suficiente de resistência[4].

2.2. CONSTITUIÇÃO DOS QUADROS ELÉTRICOS DE BT

2.2.1. INVÓLUCRO

Os invólucros são estruturas, também conhecidas como cubículos ou caixas, que são utilizadas para suportar o conjunto de equipamentos elétricos, nos quais possuem espaço interno suficiente para a correta operação do conjunto de equipamentos elétricos[5]. Pode também ser mencionado como a unidade que assegura as proteções dos equipamentos contra ações externas e contactos diretos[6].

Conforme norma IEC 62208 podem classificar-se de acordo com os seguintes itens[5]:

- Tipo de material: pode ser isolante, metálico ou uma combinação de ambos;
- Método de fixação: fixado no chão, na parede, no poste, ou encastrado.
- Localização: interior ou exterior;
- Proteção: IP conforme IEC 60529 ou IK de acordo com IEC 62262;
- Tensão de isolamento nominal (quando feitos de materiais isolantes).



Figura 1-Invólucro de um QGBT, Fonte: Jayme da Costa.

Na figura 1 é apresentado um exemplo de invólucro de um QGBT montado na Jayme da Costa, vista de frente e interna, com a disposição dos equipamentos elétricos.

2.2.2. BASTIDOR

A denominação de bastidor dá-se ao item de junção do quadro que é destinado a realizar a fixação dos equipamentos elétricos e assentar a estrutura, ou seja, é necessário suportar de forma que não haja variações de deformidade com a manutenção e manobra dos equipamentos, conforme figura 2. São constituídos por elementos como perfis e calhas[7].



Figura 2-Bastidor de um quadro aberto, Fonte: Jayme da Costa.

2.2.3. COMPONENTES DOS QUADROS ELÉTRICOS

Designa-se por componentes do quadro elétrico todos os itens que compõem o mesmo, sendo aplicados de maneira interna ou encastrada no quadro, os quais formam o conjunto que permitem a passagem de corrente elétrica e detecção de possíveis falhas de sobrecarga no sistema.

2.2.3.1. EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Os equipamentos elétricos são itens constituintes de uma instalação elétrica que são utilizados de maneira essencial para o bom funcionamento do sistema. Possuem como função serem integrados no circuito elétrico com o objetivo de garantir a proteção, comando, seccionamento ou conexão entre os componentes [6]. Dentre os mais utilizados na BT é possível salientar os disjuntores, os fusíveis, os interruptores, os dispositivos de comando, os dispositivos de interface e os dispositivos diferenciais residuais[8].Conforme é possível verificar na figura 3.

-Disjuntores e Fusíveis

O disjuntor é um dispositivo capaz de fazer cessar a continuidade da circulação de corrente no qual o valor pode chegar até à corrente de curto-circuito. O fusível também interrompe por fusão de um ou mais elementos fabricados para esse efeito, no entanto a diferença comparado ao disjuntor é que não há número de manobras, caso chegue na corrente máxima suportável é preciso trocar por outro[6], [8].

- Dispositivos de Interface

Com o avanço tecnológico e a automatização dos processos os dispositivos de interface são cada vez mais utilizados, não apenas pela monitorização dos quadros, mas pela opção de fazê-lo de forma remota. São dispositivos de interface aqueles que interagem com o ser humano através do sistema de informação eletrónico, ou seja, no caso dos quadros elétricos modulares é mencionado como dispositivo de interface os voltímetros, amperímetros, analisadores de energia, dentre outros.

- Dispositivos de manobra e comando

Equipamentos de comando e manobra são itens relevantes no quadro elétrico, pois é com os mesmos que o circuito é acionado ou interrompido. Por esse motivo, é fundamental que a acessibilidade para esses dispositivos seja realizadas através de especialistas autorizados na sua manobra, dentre os exemplos desses dispositivos há sinalizadores, contadores, botões de comando, dentre outros.

- Dispositivos diferenciais

Os dispositivos diferenciais são equipamentos indicados para interromper o circuito quando atingir a corrente diferencial-residual de acordo com o valor atribuído ao projeto. Esses aparelhos podem ser interruptores diferenciais ou disjuntores diferenciais, ou até um conjunto de elementos com essa finalidade[6].

Esse dispositivo é fundamental para a proteção de pessoas e conforme a norma IEC 60479 a tensão máxima admissível, pelo período de 5 segundos, é o valor de 50 V em locais sem riscos específicos, e 25 V nos locais de risco elevado. Devido a isso é tomada a medida de proteção contra pessoas através da interrupção da alimentação com os DRs sensíveis à corrente diferencial residual de elevada sensibilidade, de 30 mA ou até valores menores.

Uma vez que na IEC menciona que os equipamentos de alta sensibilidade (30 mA) tem de ser utilizados para proteção de circuitos terminais com corrente nominal inferior a 20 A[9]. Segundo a norma os equipamentos diferenciais estão divididos por “sensibilidades”, associadas ao valor da sua corrente diferencial estipulada ($I\Delta n$). Tendo que satisfazer a condição abaixo[9]:

$$I\Delta n \leq UL / Ra$$

UL- Tensão limite convencional

RA- resistência do elétrico de terra das massas

- Interruptores

Os interruptores são equipamentos que tem a capacidade de suportar, de determinar e de suspender correntes nas condições normais do circuito, que de maneira eventual faz-se as condições especificadas de sobrecarga em serviço. Pode também resistir, por um tempo especificado, as correntes nas condições anormais especificadas para o circuito, tais como as resultantes de um curto-circuito[6].



Figura 3-Componentes elétricos. Fonte Própria.

2.2.3.2. MATERIAIS

São diversos os materiais necessários para conexão e eletrificação dos equipamentos elétricos com a finalidade de formar a escada de distribuição e proteção dentro dos invólucros. Para melhor entendimento do leitor será mencionado os mais relevantes para esse projeto que são os barramentos, isoladores e bornes.

✓ Barramento

Refere-se a um condutor de corrente elétrica de baixa impedância, que pode ser ligado de maneira separada a vários circuitos elétricos[10, p. 24]. Há o barramento principal no qual podem estar interligados vários barramentos de serviço de distribuição ou mesmo blocos de entradas e saídas, como também existe o barramento de distribuição que é a derivação do barramento principal, ligada ao mesmo[10, p. 24].

O material com alta condutividade é o cobre, o que caracteriza na grande maioria dos barramentos utilizados nos quadros elétricos, no entanto há também a opção de barramentos de alumínio. Além do tipo de material o barramento pode ser de cobre isolado ou não-isolado o que diferencia que o primeiro possui maior segurança na utilização, no entanto o não isolado tem capacidade maior de energia, sendo recomendado para correntes elevadas, conforme a figura 4.



Figura 4- Barramento em um quadro modular de BT. Fonte: Jayme da Costa

✓ Isoladores

São equipamentos fixados na estrutura dos painéis que possui como função o isolamento elétrico entre os barramentos condutores, são presentes tanto nas construções em alvenaria como nas de chapa metálica e devem ser dimensionados para suportar a intensidade das forças, uma vez que podem ocorrer esforços mecânicos e elétricos[11].

✓ Bornes

São dispositivos que fazem a interligação entre um circuito e outro, através de fios condutores, em um sistema elétrico, conforme figura 5. São fundamentais para isolamento dos circuitos no momento de testes e manutenção e possível reparação do defeito.

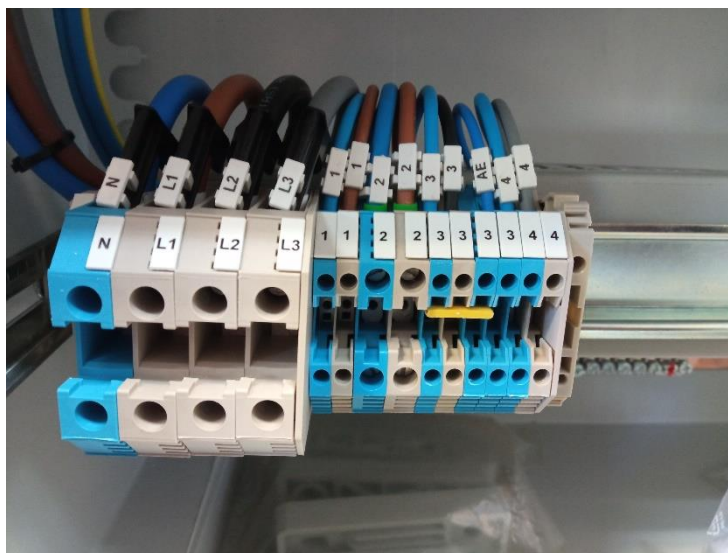


Figura 5-Exemplo de Bornes de alimentação e repicagem. Fonte própria.

2.3. TENDENCIAS TECNOLÓGICAS

Não é possível mencionar tendências tecnológicas sem pôr em assunto as revoluções industriais. É dito por muitos professores, pesquisadores e grandes líderes que estamos hoje a passar pela quarta revolução.

A designação revolução advém de transformação que traz impacto na sociedade, na forma que vivemos e produzimos as coisas, bens essenciais de sobrevivência. A primeira foi a revolução industrial que no âmbito da agricultura possibilitou a produção em alta escala de alimentos com o surgimento da mecanização e com isso a possibilidade do consolidação populacional e formação de sociedades maiores. A segunda ocorreu no final do século XIX e início de século XX com o surgimento do aperfeiçoamento da eletricidade, que passou a ser usada para funcionamento de motores e linhas de montagem que geravam mais produtividade nas indústrias e com isso foi iniciado o surgimento de soluções eletromecânicas para a automatização de processos[12] [13].

Em continuidade a terceira Revolução Industrial, após a segunda guerra mundial, também chamada como era computacional ou revolução digital, ocorreu em meados de 1970 e junto

com isso veio a expansão da internet, a globalização e encurtamento da distância geografia[12].

Todas essas revoluções anteriores foram fundamentais para o desenvolvimento tecnológico e social e trazem-nos ao cenário atual. De acordo com alguns cientistas hoje é vivenciada a quarta revolução industrial apenas no início, com a inteligência artificial, robótica, internet das coisas, veículos autônomos, impressão em 3D, computação quântica e outros desenvolvimentos tecnológicos que ainda se aperfeiçoarão e levará a conexão ampla entre seres humanos e sistemas criados para facilitar o dia a dia da população[12].

2.3.1. AUTOMATIZAÇÃO

No contexto anterior a nível de escala, pode ser dito que a automatização surgiu desde o início, ou seja, na primeira revolução industrial com a mecanização dos sistemas. No entanto da maneira que ela é vista hoje e ao analisar a definição da sua nomenclatura a considerar que é todo sistema automatizado tem a capacidade de responder a estímulos, comandos pré-selecionados e se autorregular, a automação eletromecânica veio um pouco depois, como é possível verificar na figura 6 [13].



Figura 6- Acompanhamento das revoluções industriais, Fonte [14].

A automatização dos processos no setor elétrico trouxe para as indústrias a capacidade de perceber falhas em equipamentos ou na cadeia produtiva de maneira rápida e sem causar maiores danos ao sistema. Com elementos de controle, é possível fazer o monitoramento do processo e dar ordens remotas para que retomem a sua produção de forma segura. É comum que essa cadeia de processo funcione em malha fechada e sua tecnologia seja independente da categoria do processo que é automatizado.

Neste contexto de automação dos processos, os quadros elétricos BT também seguem no mesmo caminho, uma vez que passam de um simples quadro que exercem sua função de

proteção de sistemas e pessoas para painéis com monitoramento, supervisão e tecnologias avançadas que interligam todo o sistema e permitem com que o operador possa corrigir defeitos e receber informações de forma remota.

Assim aparece o quadro elétrico inteligente, o qual faz a integração da proteção, conforme mencionado anteriormente, com equipamentos como por exemplo disjuntores e fusíveis, com dispositivos mais recentes e programáveis, como o PLC, que trazem a possibilidade de intercambio de informações e de comunicação, em um movimento que converte o painel elétrico em uma composição que controla os gastos energéticos e monitora constantemente, com a detecção rápida de possíveis problemas no futuros[14].

2.3.2. REDUNDÂNCIA

Um sistema elétrico redundante nada mais é do que um sistema em que caso ocorra uma falha em um equipamento há outro com a mesma função que pode suprir a necessidade e não acarretar em uma paragem inesperada da fábrica na indústria, o que gera maior confiabilidade. As empresas estão cada vez mais preocupadas em garantir a sua atividade de forma continua e sem interrupções, visto que as paragens não programadas podem provocar a perda alguns milhares de euros.

No contexto dos quadros elétricos, por exemplo, é normalmente justificável a utilização da redundância quando o equipamento a ser protegido é muito relevante para o sistema e possui um custo elevado. A ação seletiva é o que caracteriza a principal maneira atual de operação. Por exemplo, um disjuntor geral é responsável pela proteção de diversos equipamentos, no entanto a utilização de disjuntores em específico para cada sistema, faz com que mesmo com a interoperabilidade de algum equipamento em específico, não afete o restante do sistema. É perceptível, que o custo desse tipo de aplicação seria muito alto, com isso as UPS são bastante utilizadas para que o abastecimento de energia seja continuo.

2.4. NORMAS TÉCNICAS

Para confeccionar quadros elétricos modulares de BT é necessário seguir algumas normas da IEC, Comissão Eletrotécnica Internacional, com a finalidade de assegurar que todos os fabricantes de quadros estejam a seguir os mesmos padrões de segurança tanto a nível de fornecimento como para garantir a segurança dos seus utilizadores. Na tabela 2 é demonstrado as normas que darão embasamento aos cálculos mencionados posteriormente no presente documento.

Tabela 2-Normas para quadros de BT. Fonte própria.

Normas	Nomenclatura
IEC 61439-1	Regras Gerais
IEC 61439-2	CONJUNTOS de comando e distribuição de energia
IEC 61439-3	Quadros de distribuição
IEC 61 439-4	Conjuntos para obra
IEC 61 439-5	CONJUNTOS para distribuição de energia
IEC 61 439-6	Sistemas de calha electrificada pré-montados
IEC 61439-7	Veículos elétricos

Todas as normas listadas acima ao serem utilizadas em Portugal são transpostas para a Norma nacional iniciada pelas sigas NP EN e de seguida com a numeração da IEC. Por exemplo a NP EN 61439-1 é a norma nacional transposta da IEC 61439-1. Em caso de ausência da NP ou desatualização é recomendado a utilização da IEC.

IEC 61439

Timings | Portugal

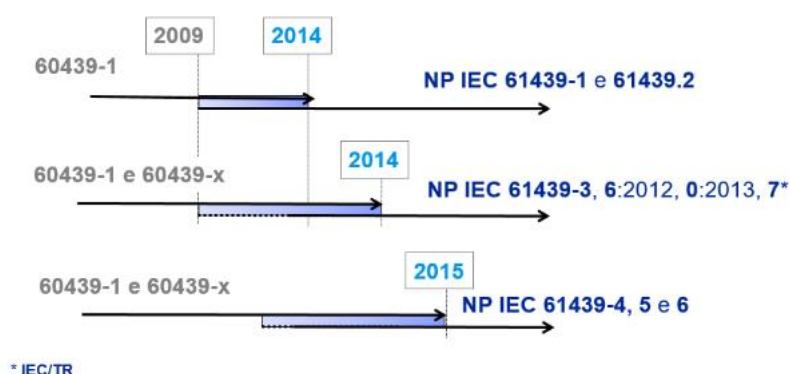


Figura 7-Evolução da IEC 61439 em comparação a NP, Fonte[[15]

2.5. ASPECTOS REGULAMENTARES PARA OS QUADROS ELÉTRICOS

2.5.1. SOBRE A ESTRUTURA

De acordo com a ABB, um conjunto elétrico de aparelhagem de potência, comando e controlo de baixa tensão é uma combinação de várias unidades funcionais[16].



Figura 8- Conjunto elétrico ABB. Fonte:[16]

Segundo com a IEC 61439-1 um “CONJUNTO” trata-se de uma conjunção de um ou mais dispositivos de comutação de baixa tensão juntamente com controle associado, equipamentos de medição, sinalização, proteção, regulação, com todos os equipamentos elétricos e interconexões mecânicas e peças estruturais[10]. Ou seja, tudo que engloba o quadro elétrico, seja peças elétricas com ou sem automatização, seja a parte mecânica e física.

Cada fabricante de quadros elétricos possui sua forma de realizar a montagem de sistema em específico. É necessário ter atenção aos requisitos pressupostos pela norma com a finalidade de garantir a fiabilidade do sistema, no entanto com os tópicos essenciais garantidos cada um tem seu sistema de montagem próprio. A Gama de componentes elétricos e mecânicos, como exemplo dos armários, barramentos, unidades funcionais, dentre outros, de acordo com a definição do fabricante original para produzir CONJUNTOS, pode ser montado de

acordo com as diretrizes do fabricante original, conforme o conceito de sistema de montagem pela IEC 61439-1[10].

De maneira estrutural os quadros elétricos são divididos por secções e subsecções:

- Seção: trata-se da unidade construtiva de um CONJUNTO entre duas demarcações verticais sucessivas[17], representado pelo número 1 da figura 9;
- Subseções: é a unidade construtiva de um CONJUNTO entre duas delineações horizontais ou verticais sucessivas dentro de uma seção[3], representado pelos números 2 da figura 9;

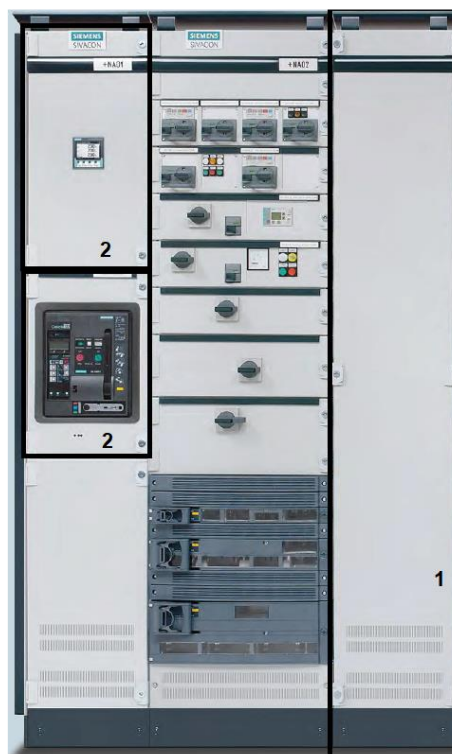


Figura 9- Quadro elétrico Sivacon da Siemens, Fonte[17]

Em concordância com a regulamentação item 3.2.9, os compartimentos de um quadro de baixa tensão são as seções ou subseções quase totalmente fechada, exceto para aberturas necessárias para interligação, controle ou ventilação[10, p. 17]. Um exemplo é a figura 3 que demonstra os tipos de compartimentos, o número 1 é o compartimento de equipamentos, o número 2 é o compartimento de cabos e o número 3 compartimento de barramento[18].



Figura 10-Compartimentos, Fonte[18].

Logo a unidade funcional trata-se de parte de um CONJUNTO que compreende todos os elementos elétricos e mecânicos, incluindo a comutação. Ou seja, os dispositivos que contribuem para o cumprimento da mesma função[10, p. 16].

A classificação de um conjunto pode ser realizada de acordo com requerimentos básicos como: Estrutura e design externo, tipo de instalação, tipo de material, classe de proteção, elementos, divisão interna, e proteção contra contactos diretos e contra contactos indiretos[19].

2.5.2. DESIGN EXTERNO E INTERNO

Pode ser uma montagem do tipo aberta, ou seja, *Open-type assembly*, ou parcialmente aberta, apenas com cobertura frontal, ou seja, *Dead-front assembly*. Nesse tipo de montagem há acessibilidade as partes vivas dos equipamentos elétricos, logo a nível de segurança operacional apenas pode ser utilizado em situações onde pessoas qualificadas tenham acesso[19].

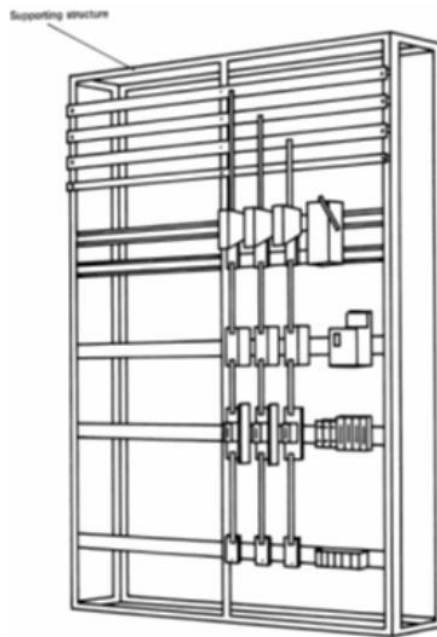


Figura 11- Exemplo de montagem aberta. Fonte: Jayme da Costa

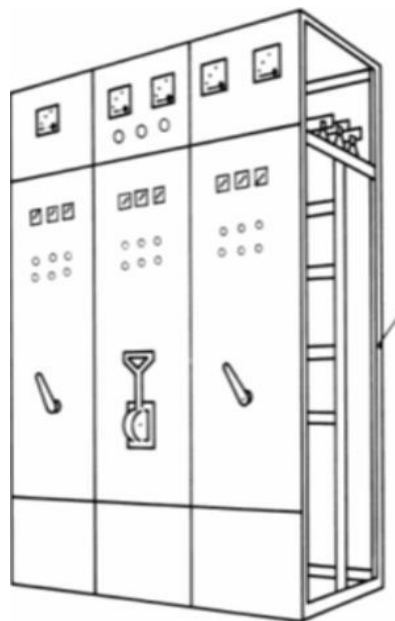


Figura 12-Exemplo de montagem parcialmente aberta. Fonte: Jayme da Costa

Conforme a tipologia Standard da norma IEC 61439-1, além da estrutura aberta há também os conjuntos tipo fechados, as quais são cobertos em todos os lados com a possível exceção da sua superfície de montagem, na qual é possível fornecer um grau de proteção definido[10, p. 18]. Pode ser dividido em:

- Conjunto do tipo cubículo- é a montagem fechada do tipo de pavimento que pode incluir várias secções, subsecções ou compartimentos[10, p. 18];

- Conjunto de tipo cubículo múltiplo- é a junção de conjuntos do tipo cubículo unidos de maneira mecânica[10, p. 18];
- Conjunto Modular – é um quadro fechado tipo armário que pode ser dividido em vários módulos conforme função a desempenhar[20];
- Conjunto de tipo de mesa- é a montagem fechada com um painel de controlo horizontal, inclinado ou ambos, que engloba controlo, medição, aparelhos de sinalização, dentre outros[10, p. 18];
- Conjunto de tipo de caixa- é a montagem fechada com a intenção de estar montada em plano vertical[10, p. 18];
- Conjunto de tipo de caixa múltipla- é a junção de conjuntos tipo caixa mecanicamente unidos, com ou sem um comum quadro de apoio, as ligações elétricas passando entre duas caixas adjacentes através aberturas nos rostos adjacentes[10, p. 18];
- Montagem do tipo de superfície montado na parede- é um quadro que sua montagem é feita instalando-se na superfície de uma parede[10, p. 18];
- Montagem do tipo embutida em parede- é quando a montagem do quadro é realizada no interior de uma parede[10, p. 18].



Figura 13-Montagem do tipo de superfície montado na parede, Fonte[21].



Figura 14- Montagem do tipo para embutir em parede, Fonte: [21].

- Sistemas de calhas e de barras coletoras - é uma estrutura de sistema de distribuição de energia que é montada para proteger barramentos e pessoas[22].

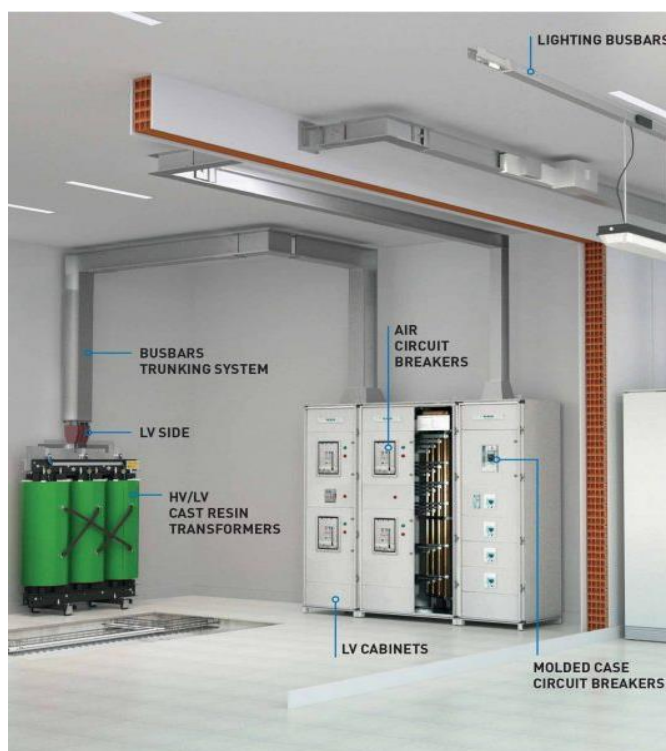


Figura 15-Sistemas de calhas e de barras coletoras. Fonte[22].

2.5.3. TIPO DE INSTALAÇÃO

- Montagem para instalação interna- Trata-se de quando um CONJUNTO é projetado para uso em locais onde existe a possibilidade de operar em condições normais de serviço em uso interno, conforme especificado em 7.1 são cumpridos referentes a norma IEC 61439-1[10, p. 20].
- Montagem para instalação externa - Trata-se de quando um CONJUNTO é projetado para uso em locais onde existe a possibilidade de operar em condições normais de serviço em uso externo, conforme especificado em 7.1 são cumpridos referentes a norma IEC 61439-1[10, p. 20].

De acordo com a norma é importante ressaltar que se forem utilizados nos CONJUNTOS componentes como relés e equipamentos eletrônicos os quais não foram projetados para essas condições, medidas adequadas devem ser tomadas para garantir a operação com fiabilidade[10, p. 33].

Há também a possibilidade de ser um tipo de CONJUNTO fixo, ou seja, fixado no local da instalação, no chão ou parede, para ser utilizado no mesmo local, ou um tipo de CONJUNTO móvel, no qual existe a probabilidade de ser facilmente movido do recinto, como por exemplo um quadro de emergência[19].

2.5.4. TIPO DE MATERIAL OU ENVOLVENTE

É possível ser com parte externa envolvente ou sem. No caso de ser protegida pelo invólucro é permissível ser de um metal ou material isolante. O tipo de material escolhido é importante nos ensaios de rotina, por exemplo, uma vez que se destinam a verificar o isolamento, a excelência dos materiais isolantes e conexão correta do equipamento que está sendo testado [19].

2.5.5. CLASSE DE PROTEÇÃO

A classe ou grau de proteção é a adequação, de acordo com a norma IEC 60529, dos produtos, neste caso do quadro elétrico, em ambientes fechados que possa ter alguma influência ou perigo. Seu código começa com as letras “IP” e segue com dois números, ou seja, indicado por 2 dígitos, no qual se um deles for 0 seria não protegido[23].

Tabela 3-Grau de proteção contra contatos acidentais e corpos estranhos: primeiro dígito de referência, Fonte[15].

Primeiro Dígito de referência	Descrição	Definição
1	Proteção contra corpos estranhos sólidos com 50 mm de diâmetro ou maiores	A sonda objetiva, esfera com 50 mm de diâmetro, não deve penetrar por completo ¹⁾ .
2	Proteção contra corpos estranhos sólidos com 12,5 mm de diâmetro ou maiores	A sonda objetiva, esfera com 12,5 mm de diâmetro, não deve penetrar por completo ¹⁾ . O corpo de teste articulado deve penetrar até no máx. 80 mm; porém, é preciso que seja mantida distância suficiente.
3	Proteção contra corpos estranhos sólidos com 2,5 mm de diâmetro ou maiores	A sonda objetiva, esfera com 2,5 mm de diâmetro, não deve penetrar de forma alguma ¹⁾ .
4	Proteção contra corpos estranhos sólidos com 1,0 mm de diâmetro ou maiores	A sonda objetiva, esfera com 1,0 mm de diâmetro, não deve penetrar de forma alguma ¹⁾ .
5	Proteção contra pó	A entrada de pó na caixa não é totalmente impedida; porém, o pó não pode entrar na caixa em quantidades que prejudiquem o funcionamento satisfatório e a segurança do equipamento.
6	Vedação contra pó	Não há qualquer entrada de pó na caixa com uma baixa pressão de 20 mbar.

¹⁾ O diâmetro total da sonda objetiva não deve penetrar através de uma abertura da caixa.

Tabela 4-Grau de proteção contra água: segundo dígito de referência, Fonte[15].

Segundo Dígito de referência	Descrição	Definição
1	Proteção contra gotejamento	O gotejamento vertical não deve ter efeitos nocivos.
2	Proteção contra gotejamento no caso de a caixa ter uma inclinação de até 15°	O gotejamento vertical não deve ter efeitos nocivos no caso de a caixa ter um ângulo de inclinação de até 15° em ambos os lados da vertical.
3	Proteção contra borrifos de água	Água borrifada em um ângulo de até 60° em ambos os lados da vertical não deve ter efeitos nocivos.
4	Proteção contra respingos de água	A água respingada de qualquer direção contra a caixa não deve ter efeitos nocivos.
5	Proteção contra jatos de água	Os jatos de água vindos de qualquer direção contra a caixa não devem ter efeitos nocivos.
6	Proteção contra jatos fortes de água	Os jatos fortes de água vindos de qualquer direção contra a caixa não devem ter efeitos nocivos.
7	Proteção contra os efeitos da submersão da caixa na água por algum tempo	A água não deve entrar na caixa em quantidades que possam ter efeito nocivo quando a caixa é submersa em água por tempo limitado sob condições padronizadas de pressão e tempo.
8	Proteção contra os efeitos da submersão da caixa na água por tempo prolongado	A água não deve entrar na caixa em quantidades que possam ter efeito nocivo quando a caixa é submersa em água por tempo prolongado sob condições a serem determinadas entre o fabricante e o usuário. As condições devem ser, porém, mais difíceis do que as indicadas no dígito de referência 7.
9	Água no caso de limpeza a alta pressão/jato de vapor	Os jatos de água vindos de qualquer direção com pressão elevada contra a caixa não devem ter efeitos nocivos.

2.5.6. ELEMENTOS

Relacionado ao tipo de montagem ou elementos, a sua conjunção designa-se de forma específica com um total de três letras, no qual refere-se ao tipo de ligações elétricas das unidades funcionais. A primeira é relativa ao circuito principal de entrada, a segunda ao circuito principal de saída e a terceira aos circuitos auxiliares[20].

Tabela 5-Descrição do tipo de ligações elétricas, Fonte[7].

Letra	Referente
F	ligações fixas
D	ligações desconectáveis
W	ligações extraíveis

2.5.7. DIVISÃO INTERNA

Os quadros elétricos, conforme norma, subdividem-se dentro da montagem, através de barreiras ou divisórias, com materiais metálicos ou não metálicos[19]. Essa situação ocorre com a finalidade de que haja uma proteção contra contato direto, em caso de acessibilidade ao CONJUNTO isolado da fonte de alimentação e na ocorrência de arco elétrico, não acontecer a propagação[19].

A norma IEC 61439-2 menciona através de imagens os tipos de divisões existentes, ao considerar o barramento, o invólucro externo e a separação interna como meios a serem compartilhados ou não com a unidade funcional e a conexão externa[24, p. 29].

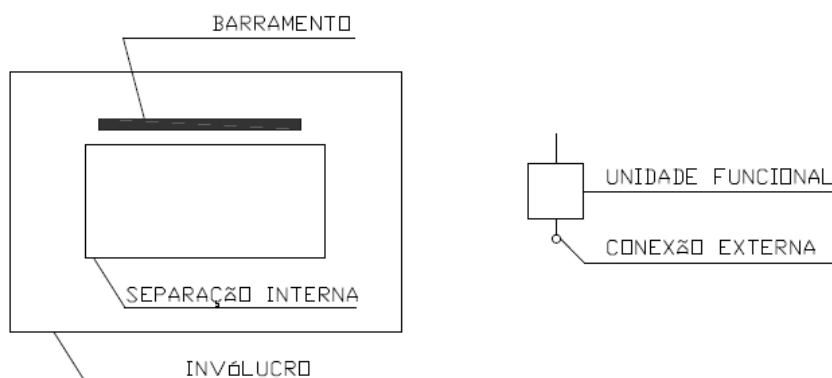
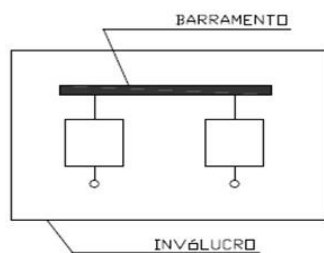
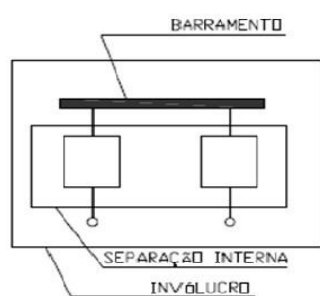


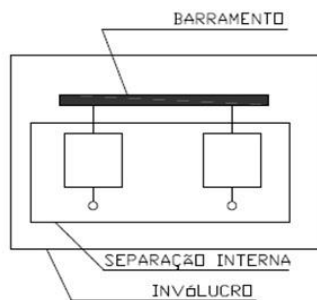
Figura 16-Separação interna e forma construtiva, Fonte[25].



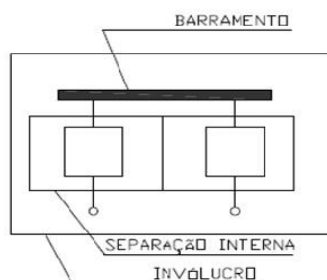
Forma construtiva 1



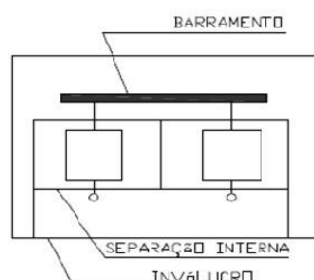
Forma construtiva 2a



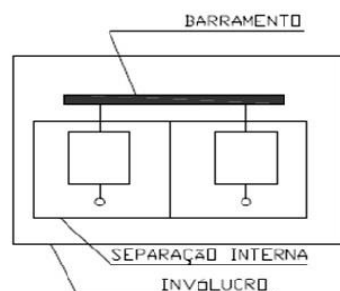
Forma construtiva 2b



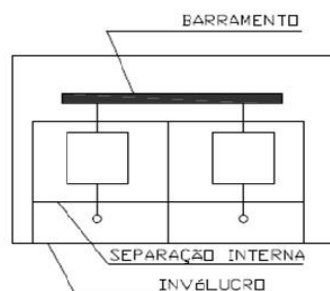
Forma construtiva 3a



Forma construtiva 3b



Forma construtiva 4a



Forma construtiva 4b

Figura 17-Formas construtivas, Fonte[24].

2.5.8. PROTEÇÃO CONTRA CONTACTOS

Para que possa ser utilizado todos os equipamentos que consumam energia elétrica, seja em casa, no ambiente empresarial ou industrial é necessário ter em consideração as conexões das instalações elétricas uma vez que esses equipamentos estão suscetíveis a defeitos relacionados a energização. Quando ocorrem defeitos no isolamento pode ocasionar uma diferença de potencial comparado com a terra e assim algo que normalmente não provoca dano, uma superfície, por exemplo, pode encontrar-se energizada de maneira indevida. Logo, nestes casos, a superfície pode-se denominar de massa e o defeito na isolação de falta fase-massa, no qual pessoas que estejam em contato neste caminho fazem com que seu corpo seja um trajeto de fechamento do condutor, entre potenciais diferentes, ou seja, a ocasionar um choque elétrico[26].

Como medida de proteção de maneira passiva o sistema de aterramento é bastante utilizado, no qual trata-se da equipotencialização de todas as massas que estão ligadas à terra, e faz a proteção contra choques elétricos e fugas de corrente. Nas instalações elétricas de BT os esquemas de ligação à terra estão correlacionados, uma vez que são utilizados como meio para a proteção de pessoas contra contato indireto[9].

Conforme resolução normativa, IEC 61140, que abrange as instalações e equipamentos elétricos, é necessário de maneira obrigatória que haja inacessibilidade a partes condutoras em uma instalação. Os sistemas de proteção devem ser eficientes e capazes de realizar a proteção de pessoas, neste âmbito são divididos em 2 tipos de proteção, a proteção contra contatos diretos e a proteção contra contatos indiretos.

A proteção contra contatos diretos ocorre quando o indivíduo realiza um procedimento com a finalidade da não ocorrência do dano, ou seja, contato direto no material com condutividade, ao proteger isoladores, barreiras e bainhas. Caracteriza-se por uma proteção inteira, ou através da prevenção de obstáculos e folgas, sendo caracterizada por proteção parcial, ou de maneira adicional através de disjuntores diferenciais[20]. Existe a necessidade de ter a proteção básica nos circuitos elétricos, uma vez que se destinam a evitar o contato com peças vivas[10, p. 24].

Há a necessidade sempre, em casos de contato direto, duas medidas de proteção, ao considerar que a primeira não é infalível, ou seja, um dispositivo diferencial residual como medida passiva de corte automático da alimentação. No caso de proteção contra contato

direto há autonomia em relação ao esquema de ligação a terra diferentemente do contato indireto. Podendo-se considerar 2 níveis[27]:

- 1 nível – Todas as massas transportadoras de corrente dos equipamentos elétricos devem ser ligadas a terra, e com isso constituir um circuito equivalente potencialmente;
- 2 nível – Dispositivo que possibilite o corte instantâneo da alimentação elétrica que se encontra em falha e sua atuação deve respeitar as condições específicas conforme amplitude da tensão em falha.

Ao mencionar contatos indiretos, fala-se sobre falhas nos circuitos, apenas por simples separação de outros circuitos e da terra ou um equipamento específico de proteção sem terra, o qual interliga os equipamentos expostos, e como partes do circuito está separado, mais de um item do equipamento está ligado ao circuito separado[10, p. 123].

Logo para a proteção contra contatos indiretos é possível ser realizada através do interrompimento automático da alimentação elétrica, a considerar que as massas condutoras estarão inseridas ao potencial da terra. A sua realização vai definir os tipos de esquemas de ligação a terra (ELTs) que a instalação utilizará, a dar ênfase a 2 pontos como a maneira que será a ligação a terra de um dos pontos da alimentação, em geral o neutro e o meio de inserção a terra das massas dos equipamentos de utilização[27].

Tipos de proteção contra contatos indiretos com relação ao equipamento[28]:

- Classe I (por ligação à terra) –É a ligação entre a terra e as partes metálicas do equipamento elétrico[28];
- Classe II (por isolamento) –Trata-se da instalação de um duplo isolamento ou de um isolamento suplementar sobre as partes ativas[28];
- Classe III (por separação) –são dispositivos alimentados com extra- baixa tensão[28].

A classe II pode ser definida através do circuito abaixo no qual DE é o disjuntor de entrada não diferencial, o DR é o dispositivo diferencial, ao considerar um esquema TT, e o DP é o dispositivo de proteção contra as sobreintensidades (fusível ou disjuntor). Onde o invólucro metálico não deve ser ligado à terra[20].

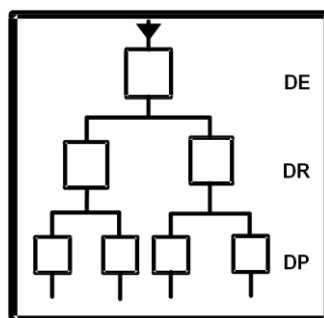


Figura 18- Exemplo da classe II - isolamento, Fonte[20].

2.6. UNIDADES FUNCIONAIS

Como o encarregado de realizar a distribuição da energia elétrica pela instalação, o quadro elétrico possui fundamental importância nas instalações elétricas. Devido a isso, ter conhecimento das unidades funcionais dentro do conjunto é entender como funciona essa distribuição elétrica de maneira segura para seus utilizadores, com todos os dispositivos a jusante adequados para o seu funcionamento com fiabilidade.

Nos conjuntos de distribuição é comum cada coluna representar uma função em específico, como por exemplo as que possuem funções de entrada, são colunas as quais recebem a alimentação externa, através do barramento, e como proteção geral utiliza-se de fusíveis ou disjuntor, a função de interligação faz o acoplamento entre dois barramentos autónomos, e as com funções de saída possuem como objetivo conceder a outros circuitos a energia elétrica[29] [11, p. 240].

Na distribuição existe a possibilidade de utilizar alguns tipos de sistemas a depender da carga da instalação e finalidade. Como por exemplo ao considerar um conjunto de corrente alternada, é possível utilizar o sistema o monofásico a dois condutores (F-N), o qual é comumente aplicado em instalações residenciais isoladas, prédios comerciais ou residenciais em que haja um número baixo de unidades de consumo e uma menor carga. Outra opção é o monofásico a três condutores, no qual é adotado em instalações residenciais e comerciais de menor porte, onde há carga de iluminação e motores. Também pode-se mencionar o trifásico a três condutores(3F), no qual trata-se de um sistema secundário que é frequentemente usado em instalações industriais onde os motores representam a carga dominante do sistema, e em adicional existe o modo trifásico a quatro condutores (3F-N),

que é um sistema secundário de distribuição empregado nas instalações elétricas comerciais e industriais de pequeno porte. E por último há o trifásico a cinco condutores (3F-N-T), que como o anterior também tratar-se de um sistema secundário de distribuição, mas que é executado nas instalações elétricas industriais de médio e grande portes[11, p. 240] [30].

De acordo com a comissão eletrotécnica internacional, na Norma IEC 60364, há uma determinação de como é possível realizar a conexão do secundário do transformador de baixa tensão com as possibilidades de forma de aterramento das massas. Como forma de identificação dos tipos de esquema, há uma representação por 2 letras:

- A primeira letra refere-se à ligação do neutro do transformador, ou seja, “T” para conectado à terra ou “I” para isolado do solo;

A segunda identifica o tipo de conexão das massas recetoras, ou seja, “T” que indica terra diretamente conectado, “N” para terra conectado ao neutro na origem da instalação.

Logo existe as combinações possíveis como, TT que é o transformador conectado a terra T e massa com terra diretamente conectado T, TN onde o transformador conectado esta conectado a terra T e a ligação elétrica direta das massas ao ponto da alimentação esta ligado à terra N, e IT em que no transformador há isolamento de todas as partes ativas em relação à terra ou ligação de um ponto à terra por meio de uma impedância I e as massas estão ligadas diretamente à terra, independentemente da eventual ligação à terra T.

Para o TN, é observado uma subdivisão relacionada entre os condutores de neutro e os de proteção, caso estejam no mesmo local é TN-C, se estiverem separados é TN-S, e ao ocorrer as 2 opções em conjunto é TN-C-S, na figura 19 segue exemplo de combinações ELTs a coexistir[30].

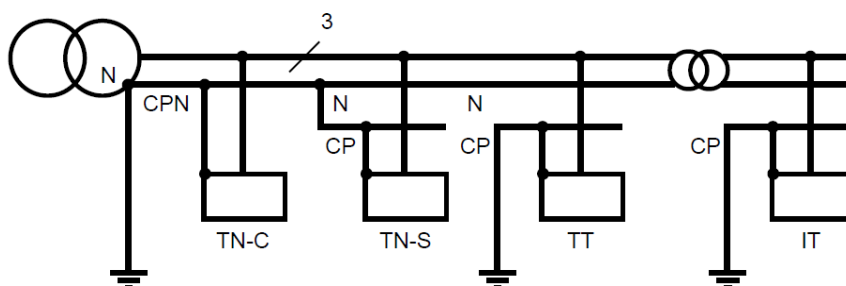


Figura 19- Exemplo da coexistência entre os diversos ELTs[30].

Esquema TT- Para este tipo de configuração as massas devem ser ligadas a terra, além disso é necessário ligar o ponto neutro da alimentação também a terra e caso não exista, deve ser ligado a uma fase. Um exemplo é que hoje em dia as alimentações das instalações que advém das redes de distribuição pública de BT são realizadas com o esquema TT[9].

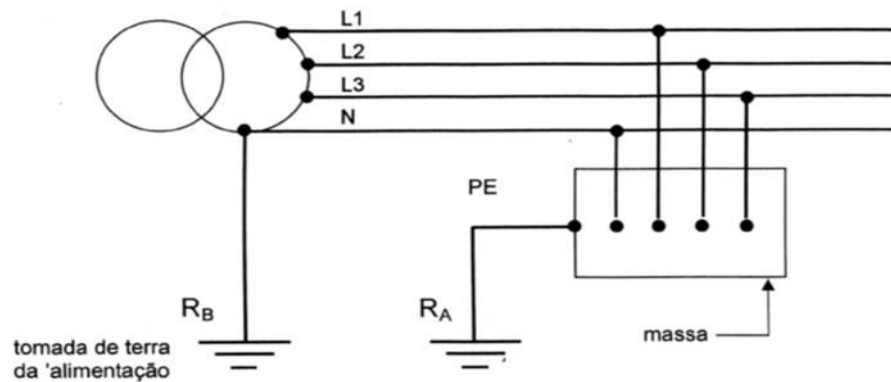


Figura 20-Exemplo de esquema de Ligação à Terra TT[9].

- Esquema TN (TN-C, TN-S, TN-C-S)- Para esse tipo de esquema as massas devem ser ligadas ao ponto da alimentação conectado à terra através de condutores de proteção e que seja perto do transformador ou do gerador de alimentação da instalação. O ponto neutro deve ser por via de ordem o local onde há a ligação ao terra, em contrapartida em situação que não exista deve ser ligado a terra um condutor de fase, o qual não pode o mesmo ser utilizado como condutor PEN[9].

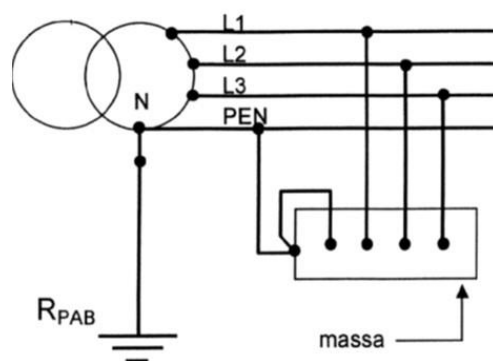


Figura 21-Exemplo de esquema de Ligação à Terra TN-C[9].

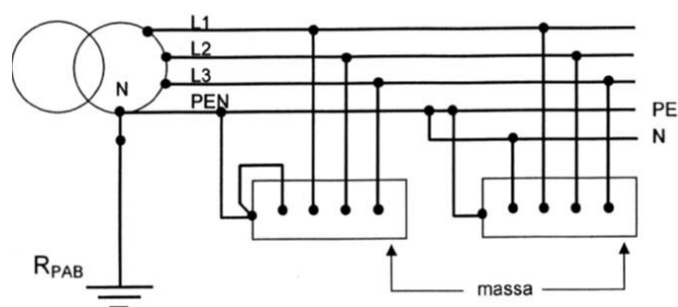


Figura 22-Exemplo de esquema de Ligação à Terra TN-C-S[9].

- Esquema IT- Neste caso o esquema é caracterizado quando todas as partes ativas da instalação se apresentam isoladas da terra ou a poder serem religadas através de uma impedância de valor elevado, e em relação as massas estarem ligadas diretamente à terra[9].

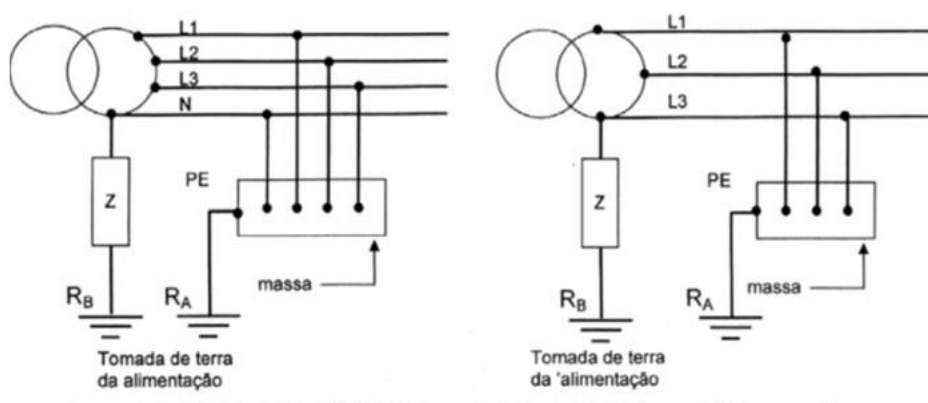


Figura 23-Exemplo de esquema de Ligação à Terra IT, com e sem neutro[9].

É importante ter em consideração que um arco elétrico pode ser causado por um defeito de isolamento e com isso é preciso ser evitado para que os conjuntos possam operar de maneira segura. A formação do arco elétrico acontece devido a passagem de uma corrente entre dois eléctrodos, tendo como meio ionizado o ar, de forma geral[11, p. 240].

As unidades funcionais que formam os conjuntos ou quadros eléctricos são importantes para evitar a propagação do arco interno, por isso são compostas de normas específicas e bem formuladas. A construção dos painéis é realizada com a finalidade de evitar as falhas que possam resultar em arco interno, mas que caso ocorra, apenas a unidade funcional em questão sofra a falha, uma vez que o restante do conjunto deve permanecer em operação.

Neste caso também os encravamentos elétrico e mecânico, ou seja, parte extraível e subsecção, devem ser considerado na análise e confeccionados com fiabilidade.

2.7. SISTEMA DE VENTILAÇÃO E COMPENSAÇÃO DE ENERGIA REATIVA

Os equipamentos elétricos produzem determinado calor quando estão em modo de operação e devido a isso, ao estar em um invólucro fechado e se instalados em locais com temperaturas elevadas há uma perda da sua capacidade de operação. Por isso é necessário ter sistemas de ventilação nos painéis de BT.

A climatização dos QGBTs pode ser por ventilação natural ou forçada. A ventilação natural ocorre através de aberturas frontais ou laterais nos painéis e a ventilação forçada com a instalação de ventiladores com ou sem filtros. A presença dessa ventilação evita o envelhecimento prematuro dos equipamentos, aumento nos custos de manutenção e parada na instalação e formação de arco elétrico. É importante ter em consideração o grau IP necessário para o painel[31].



Figura 24-Exemplo de ventilação forçada da Schneider electric[31].

Para a operação de equipamentos elétricos como fornos a arco, transformadores, motores, dentre outros, é necessária uma certa quantidade de energia reativa a qual pode ser suprida

por fontes ligadas ao sistema elétrico, como geradores, motores síncronos e condensadores. Logo o sistema de compensação faz-se necessário nas proximidades de terminais distantes da carga consumidora, como forma de redução de perdas na transmissão referente a esse tipo de energia, resultando em um melhor rendimento do sistema elétrico.

O sistema de compensação de energia reativa pode ser fornecido de maneira separada, através de um painel ou em conjunto com os demais painéis do sistema. Por permitirem uma alimentação econômica e um dimensionamento eficiente da rede, muitos consumidores o solicitam. Trata-se de um quadro de correção de fator de potência constituído por baterias de condensadores que compensam a energia reativa necessário, dando equilíbrio no sistema elétrico[11].



Figura 25- Painel para correção da energia reativa. Fonte:[32]

2.8. PROJETO DE DESENVOLVIMENTO DOS QUADROS MODULARES DE BT

Um projeto de investigação e desenvolvimento pode ser classificado em 3 tipos, conforme descrição abaixo[33]:

- Investigação básica, a qual trata-se de uma atividade teórica ou de maneira experimental com a finalidade de adquirir uma nova compreensão sobre determinado acontecimento ou ocorrência, no entanto sem nenhuma aplicabilidade destinada;
- Investigação aplicada, com o mesmo direcionamento e significância da investigação básica, mas com um propósito específico em termos de utilização;
- Desenvolvimento experimental, trata-se de um trabalho organizado, no qual é posto em prática o conhecimento obtido, com a finalidade de produzir um novo produto, e tendo como destino a instalação de novos processos, sistemas, serviços ou melhoria dos respetivos.

Com a existência de um mercado competitivo, é fundamental nas indústrias a análise e melhoria dos produtos, processos e sistemas internos. Neste âmbito, os projetos de I&D são importantes como forma de superar a concorrência, através de descobertas inovadoras, ou até mesmo para manter-se atualizado em relação ao mercado[33].

Nesta dissertação o caso do estudo que será exposto posteriormente trata-se de um projeto de I&D que, dentre as opções mencionadas anteriormente, é classificado como um projeto de desenvolvimento experimental, pois há planeamento e organização para realização de estudos e modularização dos painéis de BT de maneira a melhorar processos internos de engenharia e logística.

2.9. CONCLUSÃO

Neste capítulo, pretendeu-se apresentar uma revisão sobre os quadros elétricos modulares de BT, desde a história até sua aplicação em um projeto de I&D. De maneira inicial foi demonstrado de forma breve aspetos históricos. Seguidamente e de forma mais detalhada a constituição dos quadros e seus principais itens envolvidos com exemplos reais. Passou pelo desenvolvimento tecnológico que atualmente foi aplicado devido a mudança na mentalidade e atualização na confeção dos produtos durante os anos, os quais passaram a incorporar a automação e redundância nos sistemas de energia. Foram ainda verificados aspetos regulamentários e normativos, uma vez que é imprescindível o conhecimento sobre o tema para desenvolver a solução proposta dos quadros elétricos modulares de BT de forma segura e fiável.

Dentro deste contexto as unidades funcionais também foram apresentadas e são essenciais para o entendimento das definições e variações no decorrer desta dissertação, além dos sistemas de ventilação e compensação de energia. E como último tópico e de suma importância foi demonstrado a definição de um projeto de I&D, como forma de enquadrar o leitor sobre o desenvolvimento do presente tema. Este capítulo realça as diferentes vertentes que em conjunto compõem na forma de literatura os pressupostos necessários para o entendimento do leitor referente a este trabalho de dissertação e melhor entendimento do estudo de caso detalhado no capítulo posterior.

3. ESTUDO DE CASO DO QUADRO MODULAR DE BT

3.1. ENQUADRAMENTO

Após o conhecimento da parte teórica necessária para o melhor entendimento do estudo de caso proposto para esse trabalho de dissertação será abordado os aspetos de gestão para a realização prática deste projeto de investigação e desenvolvimento, o qual refere-se a um desenvolvimento experimental. É importante salientar o que levou ao desenvolvimento do presente projeto. A Jayme da Costa, empresa na qual a análise foi realizada, percebeu a necessidade frente a concorrência do investimento na melhoria dos seus quadros elétricos modulares de BT, com a finalidade de tornar-se mais prático e ágil em um mercado em constante mudança tecnológica. Para que se tornasse viável foram realizadas análises de mercado, do produto, do investimento financeiro e aplicação prática frente a nova solução do quadro elétrico de BT. Os subcapítulos posteriores irão demonstrar com mais detalhes.

3.2. GESTÃO DE DESENVOLVIMENTO DO QUADRO MODULAR DE BT

Para concretização desta dissertação foi necessário a verificação da viabilidade do projeto de I&D dos quadros modulares de BT. Foram identificadas as fases, conforme tabela 6, que no decorrer do desenvolvimento sofreram alterações e afinamento de acordo com sua execução.

A primeira observação foi a identificação do problema que neste caso foi a necessidade da reengenharia do quadro elétrico modular de BT, uma vez que foram sendo observados q no mercado havia quadros modulares mais flexíveis e que financeiramente era inviável uma solução diferente para cada vez que houvesse uma solicitação de um cliente. Então foi perceptível que a uniformização dos quadros modulares, conforme normas vigentes e range

de características elétricas e mecânicas compatíveis com o mercado, seria uma vertente essencial para a boa continuidade dos produtos de BT.

Tabela 6- Fases projeto de I&D, Fonte própria.

Projeto-Fases	Nomenclatura
0	Identificação do problema a resolver
1	Análise de Mercado
1.1	Análise da concorrência (Benchmarking)
1.2	Informações de Mercado (Segmentação de Mercado)
1.3	Quadro elétrico modular de BT antigo
2	Concepção
2.1	Definição das especificações técnicas do QUELMOD (Parte elétrica)
2.2	Definição da estrutura base (prumo/perfil, cimalhas, rodapés)
2.3	Definição da estrutura externa dos painéis
2.4	Definição interna do QUELMOD
2.4.1	Análise da concorrência
2.4.2	Análise da dimensão dos equipamentos modulares de BT
2.4.3	Análise dos equipamentos maiores(corte e proteção)
2.4.4	Análise dos Barramentos
2.4.5	Aplicabilidade- Estudo de caso
2.4.5.1	Colunas J1 e J2
2.4.5.1.1	Estudo técnico
2.4.5.1.2	Simulação no software J1 e J2
2.4.5.1.3	Custos da simulação
2.4.5.2	Coluna J3
2.4.5.2.1	Estudo técnico
2.4.5.2.2	Simulação no software J3
2.4.5.2.3	Custos da simulação
2.4.5.3	Coluna J4
2.4.5.3.1	Estudo técnico
2.4.5.3.2	Simulação no software J4
2.4.5.3.3	Custos da simulação
2.4.5.4	Coluna J5
2.4.5.4.1	Estudo técnico
2.4.5.4.2	Simulação no software J5
2.4.5.4.3	Custos da simulação
2.4.5.5	Coluna J6
2.4.5.5.1	Estudo técnico
2.4.5.5.2	Simulação no software J6
2.4.5.5.3	Custos da simulação
2.4.5.6	Coluna J7

2.4.5.6.1	Estudo técnico
2.4.5.6.2	Simulação no software J7
2.4.5.6.3	Custos da simulação
2.4.5.7	Coluna J8
2.4.5.7.1	Estudo técnico
2.4.5.7.2	Simulação no software J8
2.4.5.7.3	Custos da simulação
2.4.5.8	Coluna J9
2.4.5.8.1	Estudo técnico
2.4.5.8.2	Simulação no software J9
2.4.5.8.3	Custos da simulação
2.5	Verificação de Isolamento
2.6	Árvore do Produto e definição dos kits da modularização
2.7	Padronização interna do Produto(Datasheet e Catálogo do Produto)
2.8	Protótipo
3	Qualificação
4	Customização ao Mercado

Após a identificação do problema a resolver, foram realizados alguns passos como forma de concretização do objetivo. Na fase 1, por exemplo, foi realizada a análise de mercado, que percorre pela análise da concorrência, ou seja, o que já existe no mercado que pode ser agregado como suplemento para o quadro, compondo características técnicas elétricas, mecânicas e normativas, de seguida a realização de coleta de informações do mercado, que abrange desde o valor de mercado em Portugal os quadros de BT, informações de instaladores e quadristas do País, fabricantes mais importantes do mercado e a divisão de mercado, e como conclusão deste tópico foi realizado um Plano de Ações para a reengenharia do respetivo quadro, dando ênfase as unidades funcionais, normas e características elétricas.

Será abordado posteriormente o desdobramento das demais fases para de forma prática com dados, cálculos e análises realizadas.

3.3. ANÁLISE DE MERCADO

Esta secção fez parte da primeira fase para o desenvolvimento do projeto proposto neste trabalho de dissertação. Percebeu-se a necessidade dos tópicos abaixo para obter maior clareza sobre as ações necessárias seguintes.

3.3.1. ANÁLISE DE EMPRESAS (BENCHMARKING)

De maneira geral as previsões entre os anos de 2020 e 2025 são de crescimento para o mercado de quadros elétricos de BT, uma vez que o mercado tende a ser impulsionado por tópicos importantes como[34]:

- Esta a ocorrer a alteração e manutenção de infraestruturas de energia e potência desatualizadas e obsoletas;
- Aumento dos investimentos em áreas como as energias renováveis;
- A Europa é a região com crescimento mais rápido no mercado de quadros elétricos;
- A Ásia tem a maior participação de mercado devido ao crescimento do consumo de eletricidade:
- Extensão da rede de Quadros Elétricos, especialmente na China e na Índia;
- Melhoria das infraestruturas elétricas.



Figura 26-Tendências globais do mercado de Switchgear, Fonte[34].

Com uma perspectiva promissora para o desenvolvimento e expansão do setor de quadros elétricos de BT foram analisados 7 quadros de distribuição relativos a características construtivas e elétricas, segue tipo de quadro e marca, respetivamente:

1. **Switchgear & Controlgear**, da Logstrup
2. **Sivacon S8**, da Siemens
3. **Capitole 40**, da Eaton
4. **xEnergy**, da Eaton
5. **Prisma P**, da Schneider Electric
6. **Okken**, da Schneider Electric
7. **NeoGear**, da ABB



Figura 27- Quadro elétrico Siemens[17]



Figura 28- Quadro elétrico Schneider Electric[31]



Figura 29- Quadro elétrico ABB[18]



Figura 30- Quadro elétrico Logstrup[35]



Figura 31- Quadro elétrico Eaton[36]

Foram observados alguns pontos, quanto as características construtivas em relação a estrutura, por exemplo, a utilização de perfis de chapa de aço aparafusados, os cantos com liga de alumínio, placas de aço revestidas a zinco e utilização de aço galvanizado. Além desses aspetos foi verificado que a furação é realizada de tal maneira que as partes são facilmente encaixáveis, e com isso os quadristas conseguem aprender rapidamente e demandam menos tempo na montagem.

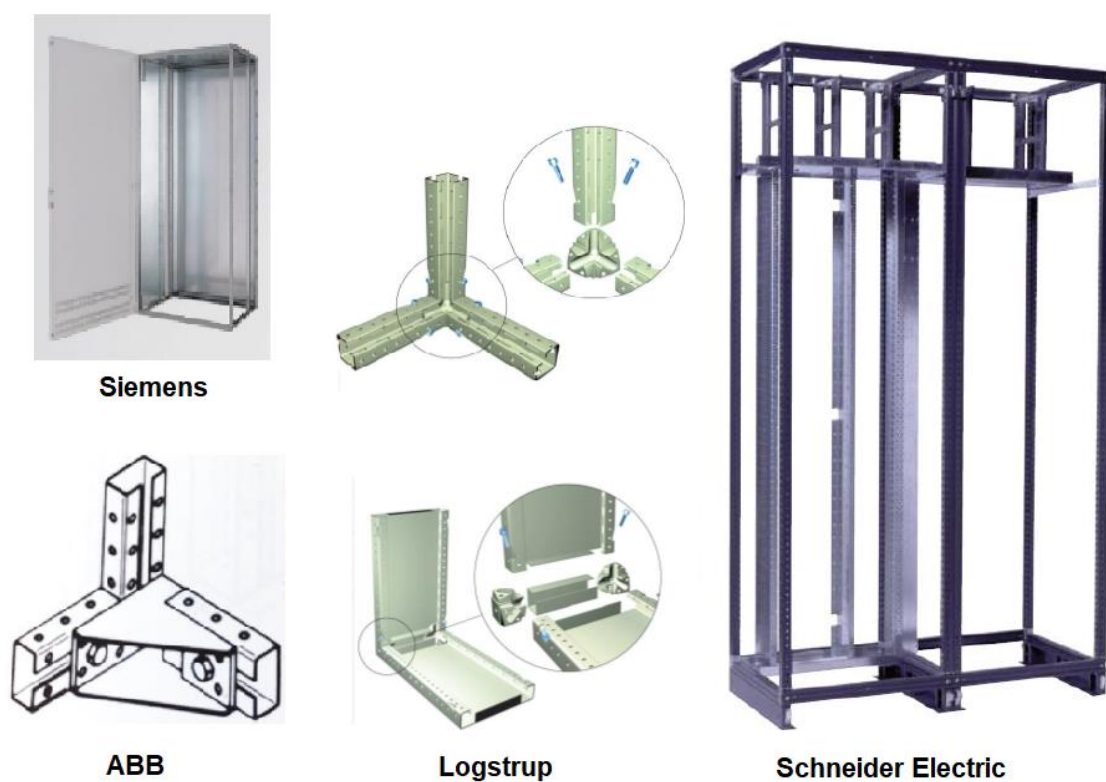


Figura 32-Exemplos de estruturas externas de quadros elétricos modulares de BT, Fonte [17], [18], [31], [35].

A modularização dos compartimentos dos fabricantes em análise são diferentes, uma vez que são realizados para suportar seus próprios equipamentos, como é o caso da Siemens, ABB, Schneider e Eaton. No entanto o sistema modular Logstrup é utilizado para uma combinação com as principais marcas de dispositivos elétricos, o que permite ao quadrista uma maior flexibilidade, logo possibilidade de utilização de diferentes fabricantes na construção de um quadro elétrico modular de BT. Por esse motivo e para o caso de estudo proposto nesta dissertação trata-se de uma solução mais próxima do que é pretendido.

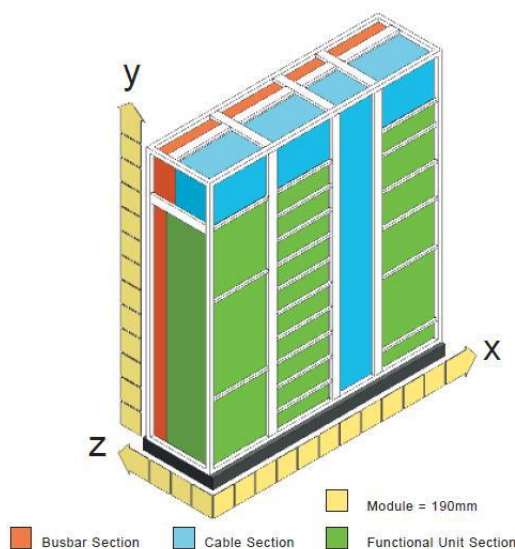


Figura 33- Modularização da Logstrup, Fonte[35].

A modularização do fabricante Logstrup, conforme figura 33, possui um sistema de 3 eixos de 1 a 12 módulos, no qual os módulos são múltiplos de 190mm. Todas as investigações dos fabricantes propostos são de fundamental importância para a definição e desenvolvimento do quadro elétrico modular de BT deste trabalho de dissertação, como forma de percepção do que se enquadra ou não a realidade proposta.

Outro ponto importante a ser verificado no estudo foi a distribuição dos barramentos e compartimentação destes. Foi observado que o barramento principal é localizado de forma horizontal, parte superior ou traseira e com possibilidade de dois sistemas de barramentos, já o barramento de distribuição era normalmente localizado na vertical, atrás das unidades funcionais ou entre elas e o barramento de terra na horizontal e derivações na vertical, na parte superior ou inferior.



Figura 34- Exemplo de distribuição de barramentos Siemens, Fonte[17].

Relacionado ao compartimento de passagem de cabos foi percebido que pode ser realizado de maneira horizontal a todo o comprimento do quadro ou verticalmente ao lado de cada unidade funcional. Em relação a passagem dos cabos podem entrar por cima ou por baixo e são compartimentos modulares com acesso ao interior do compartimento.

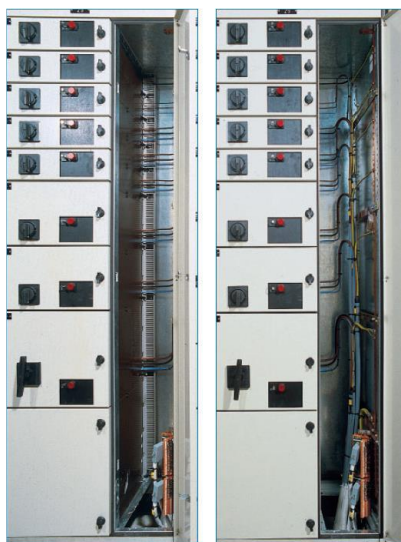


Figura 35- Exemplo de compartimento de cabos da Eaton, Fonte[36].

Após a análise das características estruturais e mecânicas foi realizado o compilado de informações das características elétricas dos quadros em estudo, conforme tabela 7.

Tabela 7-Caraterísticas elétricas dos fabricantes de quadros elétricos de BT, Fonte própria

Caraterísticas elétricas	Logstrup	Siemens	Eaton		Schneider Electric		ABB
			Capitole 40	xEnergy	Prisma P	Okken	
Tensão nominal de serviço, U _e (V)	690	690	690	690	690	690	400(415)
Tensão nominal de isolamento, U _i (V)	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
Tensão de impulso nominal (kV)	12	8	12	8	12	12	6 a 12
Frequência nominal (Hz)	40-60	50	50-60	40-60	50-60	50-60	50
Intensidades nominais (A)	até 8500	até 7010	até 6300	até 4000	até 4000	até 7300	até 3200
Intensidade nominal de curta duração admissível, I _{th} (kA _{eff} , 1s)	até 130	até 150	até 80	até 105	até 100	até 150	até 80
Intensidade nominal de crista admissível, I _{dyn} (kA _{crista} , 1s)	até 300	até 330	até 220	até 220	até 220	até 330	até 176

Neste agrupamento foi observado que o quadro de estudo de caso em questão não encontra-se de acordo com o esperado pelo mercado e com isso possuía pouca competitividade dentre os demais fornecedores. Conforme tabela 8, verifica-se as características elétricas do quadro antigo do estudo de caso analisado nesta dissertação.

Tabela 8-Quadro modular de BT, versão antiga, Fonte própria.

Caraterísticas elétricas	Quadro modular de BT- versão antiga
Tensão nominal de serviço, Ue (V)	500 (660)
Tensão nominal de isolamento, Ui (V)	660
Tensão de impulso nominal (kV)	-
Frequência nominal (Hz)	50-60
Intensidades nominais (A)	até 1600
Intensidade nominal de curta duração admissível, Ith (kAeff, 1s)	até 50
Intensidade nominal de crista admissível, Idyn (kAcrista, 1s)	até 105

Além das características elétricas, foi realizada a análise dimensional, obtendo-se a largura, altura e profundidade dos fabricantes dos quadros de BT e também a parte normativa, a demonstrar a compartimentação, ou seja, separação interna, itens que podem ser observados na tabela 9 e tabela 10, respetivamente.

Tabela 9- Caraterísticas construtivas dimensionais dos fabricantes de quadros elétricos de BT, Fonte própria.

Caraterísticas construtivas dimensionais	Logstrup	Siemens	Eaton		Schneider Electric		ABB
			Capitole 40	xEnergy	Prisma P	Okken	
Altura(mm)	até 2375	até 2200	até 2300	até 2000	até 2000	até 2350	até 2300
Largura(mm)	até 1200	até 1400	500, 750	até 1350	até 800	até 1300	até 1000
Profundidade(mm)	600, 790	até 1200	450	800	400, 600	até 1400	600

Tabela 10-Caraterísticas normativas dos fabricantes de quadros elétricos de BT, Fonte própria.

Caraterísticas Normativas	Logstrup	Siemens	Eaton		Schneider Electric		ABB
			Capitole 40	xEnergy	Prisma P	Okken	
Separação interna	Form 1 a Form 4	Form 1 a Form 4	Form 4a e 4b	Form 1 a Form 4	Form 1 a Form 4	Form 1 a Form 4	Form 4a e 4b

Ainda neste contexto, o grau de proteção dos invólucros dos fabricantes mencionados também foram considerados, conforme tabela 11.

Tabela 11-Grau de proteção dos quadros elétricos de BT, Fonte própria.

Grau de proteção (IEC 60529)	Logstrup	Siemens	Eaton		Schneider Electric		ABB
			Capitole 40	xEnergy	Prisma P	Okken	
IP20							
IP30							
IP31							
IP41							
IP42							
IP43							
IP51							
IP53							
IP54							
IP55							

3.3.2. INFORMAÇÕES DE MERCADO

Como forma de coletar informações importantes do mercado para análise, um dos pontos verificados foi o valor de mercado em Portugal para os quadros de BT. Os dados foram considerados a ter em consideração os quadros elétricos de BT até 1000V. Na tabela 7 são demonstrados as saídas e entradas por ramo de atividade tendo em consideração que os quadros pertencem ao grupo de aparelhagem ligeira de instalação. Os valores foram retirados de 2020 e 2021, do relatório de Serviço de Economia e Associativismo- ANIMEE.

Tabela 12-Saídas e entradas por ramo de atividade – Janeiro até Setembro 2021, Fonte [37].

RAMOS DE ATIVIDADE	SAIDAS (EXPORTAÇÃO)		Δ %	ENTRADAS (IMPORTAÇÃO)		Δ %
	2021	2020		2021	2020	
Máquinas, Equip. e Apar. Industrial	413 712 997	365 142 986	13%	689 912 007	595 104 734	16%
Fios e Cabos Isolados	338 064 720	233 587 589	45%	229 003 422	172 265 660	33%
Cablagens	242 941 231	150 630 646	61%	196 438 823	149 968 707	31%
Aparelh. Sist. Medição e Autom.	20 976 892	15 986 749	31%	68 378 994	64 253 355	6%
Telecom, Eletrónica Prof e Inform..	612 881 023	594 334 755	3%	2 070 048 480	1 704 209 700	21%
Componentes Eletrónicos	677 385 871	603 811 388	12%	1 458 031 822	1 134 609 073	29%
Acumuladores e pilhas	110 373 306	94 135 747	17%	164 617 562	138 555 751	19%
Lâmpadas e material p/ Iluminação	82 409 766	64 187 012	28%	205 951 329	164 081 210	26%
Aparelhagem Ligeira de Instalação	375 564 899	335 381 425	12%	349 311 783	294 961 682	18%
Eletrónica de Consumo	804 027 063	700 493 168	15%	915 674 866	840 971 268	9%
Eletrodomésticos	285 664 568	210 198 189	36%	549 283 412	435 181 329	26%
TOTAL	3 964 002 336	3 367 889 654	18%	6 896 652 500	5 694 162 469	21%

Fonte: INE- N°s Provisórios

É possível observar de acordo com a tabela acima que houve crescimento tanto no setor da importação de apesar das dificuldades causadas pela pandemia, é perceptível um crescimento

global no ramo do setor elétrico e eletrónico de 18% nas exportações e de 21% nas importações o que realçam que é uma tendência já evidenciada no 2º trimestre de 2021. Esses dados demonstram que houve um evolução relativa a mesma comparação em 2019, os quais foram as taxas globais de melhoria das exportações e importações do setor 4% e 10%[37].

Logo, após a verificação de informações do mercado, disponíveis anteriormente é aferido que para o segmento de quadros elétricos de BT as exportações apresentam um crescimento de 40.183.474€ (12%) e importações no valor de 54.350.101€ (18%).

Tabela 13-Perspetiva mundial, Fonte[37].

PIB	2021	2022
MUNDO	5,9	4,9
EUA	6,0	5,2
UE – ZONA EURO	5,0	4,3
Alemanha	3,1	4,6
França	6,3	3,9
Espanha	5,7	6,4
Itália	5,8	4,2
Reino Unido	6,8	5,0
PORTUGAL	4,4	5,1
Angola	-4%	3,2
Brasil	5,2	1,5
China	8,0	5,6
Índia	9,5	8,5
Japão	2,4	3,2
Rússia	4,7	2,9

Fonte: WEO FMI – Outubro 2021

A observar a perspetiva mundial é possível ver um decréscimo no valor geral relacionado ao PIB dos países. No entanto para Portugal a situação difere-se um pouco uma vez que há uma projeção de crescimento de 4,4% este ano e 5,1% em 2022, o qual é muito próximo do mencionado pela Comissão Europeia de 4,5% e 5,3% [37].

No setor industrial é importante ter em consideração o momento de crise mundial no setor financeiro, devido a guerra entre a Rússia e a Ucrânia, que por consequência atinge o setor energético. O aumento nos valores da energia já se trata de uma realidade e essa dificuldade traz a reflexão em 2 patamares, em um primeiro momento a redução do consumo para que possa ser realizado o segundo passo sem maiores prejuízos ao funcionamento empresarial e social e o segundo passo é a aceleração da independência energética de maneira autónoma e sustentável, com o aumento de geração através de fontes inesgotáveis. Ou seja, mesmo com a pandemia e a guerra, ao ver por uma visão otimista, o momento atual de crise a longo prazo torna-se uma oportunidade para a inovação e crescimento energético.

Após o entendimento geral a nível de crescimento para o produto em análise, ou seja, os quadros elétricos de BT, foi investigado os instaladores e quadristas existentes para o ramo do produto, conforme dados na tabela 14.

Tabela 14- Instaladores e quadristas de BT em Portugal, Fonte Própria.

Quadrista	Marca	Área	Link
Cisec	-	Fabrico de quadros elétricos de potência, comando e controlo de motores	https://www.cisec.pt
Oesteprisma	Schneider Electric e Weidmuller	Fabrico de quadros elétricos de BT	https://www.oesteprisma.pt/pt/
Potauco	Schneider Electric	Fabrico do Okken da Schneider Electric 7300A	http://www.potauco.pt/index.asp
Quadrina	Siemens, Hager, Schneider Electric	Fabrico de quadros elétricos com base na norma IEC 61439	https://www.quadrina.pt/pt/servicos
Anidas	Siemens, ABB, Hager, Schneider Electric	Fabrico de invólucros e de quadros elétricos de potência	http://anidas.com/empresa/
Quadrinorte	Eaton, ABB, Schneider Electric	Fabrico de quadros elétricos de distribuição até 6300A	http://quadrinorte.pt/portfolio
Modulaquadro	Siemens, ABB, Schneider Electric	Fabrico de quadros elétricos	https://modulaquadro.pt/pt
Quadrisol	----	Fabrico/eletrificação de quadros elétricos segundo a IEC 61439	http://quadrisol.pt/index
Iso- Sigma	----	Fabrico de quadros elétricos para PTs , distribuição e subestações (até 6300A)	https://www.iso-sigma.pt/
Quadrivale	Eaton, Schneider Electric	Desenvolvimento, fabrico e fornecimento de quadros elétricos	http://www.quadrivale.com/index.html
Monoquadros	Schneider Electric, ABB	Fabrico de quadros elétricos	http://www.monoquadros.pt/entrada.php
Action Electric	ABB, Hager, Schneider Electric	Fabrico de quadros elétricos de BT até 6300A segundo a IEC 61439	http://actionelectric.pt/www/

Seguidamente a confeção do quadro de pesquisa sobre os instaladores e quadristas em Portugal é aferido que existem 3 grandes marcas fabricantes dentro do mercado de BT são a Schneider Electric, a Siemens e a ABB. Logo foi identificada a necessidade da pesquisa do segmento de mercado relacionado alguns dos grandes fabricantes.

Tabela 15-Segmentação de atuação dos principais fabricantes, Fonte própria.

Segmento de mercado	Logstrup	Siemens	Eaton		Schneider Electric		ABB	Quadristas em PT
			Capitole 40	xEnergy	Prisma P	Okken		
Transportes (Aeroportos, Linhas de Metro)								
Indústria (Refinarias, Celulose, Papel, Metais, Minerais, Alimentar, Automóvel, Têxtil)								
Geração de Energia (Nuclear, Centrais Elétricas, Subestações, Cogeração)								
ETARs, Barragens								
Marinha e Militar								
Edifícios de grande dimensão (Banca, Hotelaria, Hospitais, Shoppings, Supermercados, Escolas, Escritórios)								

Na Tabela 15 é possível ter em consideração que os grandes fabricantes participam apenas de segmentos de mercados específicos, uma vez que de forma direta é mais interessante

quando o volume do negócio é acima de alguns milhões e, devido a isso, os quadristas suprem a necessidade de obras com menor volume, mas com a participação de grandes parceiros para fornecimento de materiais elétricos e chaparia, como Siemens, ABB, Schneider, Logstrup e Eaton, por exemplo.

3.3.3. QUADRO ELÉTRICO MODULAR DE BT ANTIGO

Houve a necessidade de ter uma percepção mais específica do quadro elétrico modular de BT antigo em estudo, para que fossem iniciadas as medidas de adequação, através da análise de mercado mencionada nos tópicos anteriores e posterior realização de cálculos e simulações, ao mercado atual e confecção do protótipo.

QUELMOD			
Características Técnicas Technical Data			
Tensão nominal de serviço (Ue) Rated operational voltage		500 V (660 V)	
Tensão nominal de isolamento (Ui) Rated insulation voltage		660 V	
Frequência nominal Rated frequency		50 - 60 Hz	
Tensão de ensaio dielétrico Dielectric test voltage		2500 V a. c., 1 min.	
Intensidades nominais Rated currents		450, 600, 700, 1200 e 1600 A	
Intensidade nominal de curta duração admissível (Ith) Rated short-time withstand current		até 50 kAeff, 1 s. up to 50 kAeff, 1 s.	
Intensidade nominal de crista admissível (Idyn) Rated peak withstand current		até 105 kAcrista up to 105 kApeak	
Graus de protecção de acordo com NP 999 e CEI 144 Degree of protection following NP 999 and IEC 144		IP 305, IP 535	
Dimensões: Dimensions	Altura Height	2100 mm	
	Profundidade Depth	350, 500 mm	
	Largura Width	650, 850, 1000 mm	
Normas observadas Standards applied		CEI Publicação 439, UTE 63.410 IEC Publication 439, UTE 63.410	

Figura 36- Características técnicas do quadro modular de BT antigo, Fonte Jayme da costa.

O quadro em estudo nesta dissertação é destinado a montagem interior, sendo composto por estrutura, envolvente e sistema de distribuição.

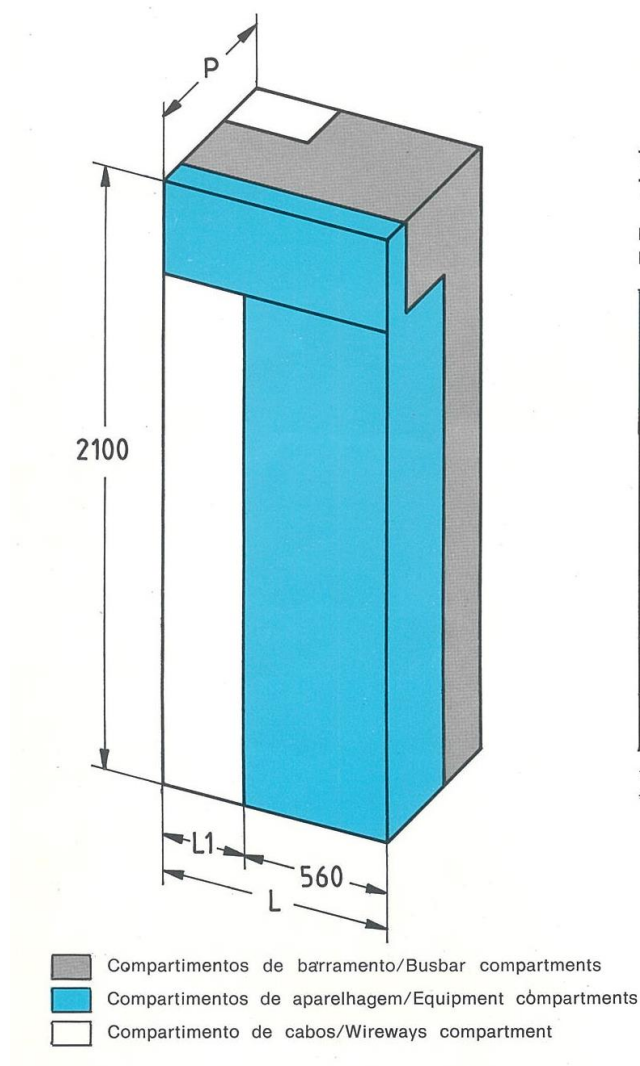


Tabela 1
Table 1

Dimensões em mm
Dimensions in mm

Colunas Sections	Largura Width		Profund. Depth
	L *	L 1	P
C 650 × 350	650	—	350
C 850 × 350	850	200	
C 1000 × 350	1000	350	
C 650 × 500	650	—	500
C 850 × 500	850	200	
C 1000 × 500	1000	350	

* Com instrumentos de medida + 75 mm.

* With measuring equipments + 75 mm.

Figura 37- Compartimentação e dimensões do quadro antigo, Fonte: Jayme da Costa.

Quanto a estrutura era realizada com perfilados de chapa de aço de 2,5mm de espessura, os quais são ligados entre si a formar a estrutura de cada coluna. Os envoltivos e as portas são de chapa de aço de 2mm de espessura, aparafusadas ou articuladas a estrutura.

Relacionado a pintura, eram utilizados nas portas o cinzento claro- RAL 7035 e no envoltivo o cinzento antracite- RAL 7016. Os suportes da aparelhagem e a estrutura não eram pintados de forma a estabelecerem melhores ligações ao circuito de terra e proteção do quadro.

Referente ao barramento principal sendo situado de maneira horizontal, era possível ser tripolar ou tetrapolar, com constituição em cobre e com intensidades de 700, 1200 ou 1600A. Já os de distribuição eram tripolares, a considerar barra própria para o neutro, e possuíam intensidades de 450, 600, 700 ou 1200A. O circuito de terra de proteção tinha como

constituição uma barra geral horizontal e possuía derivações em todas as colunas por barra vertical.

A considerar a unidade de modularização U(unidade de rack, equivalente a 44,45mm cada U) possuíam compartimentos por 1U, 2U, 3U, 4U, 6U e 12U, a distribuir verticalmente pela coluna, a depender da solicitação do cliente. O compartimento de cabos era composto por dois tipos de possibilidades 200 ou 350mm, conforme a necessidade do cliente, ou seja, conforme volume, tipo e secção de cabos, verificado na figura 38.

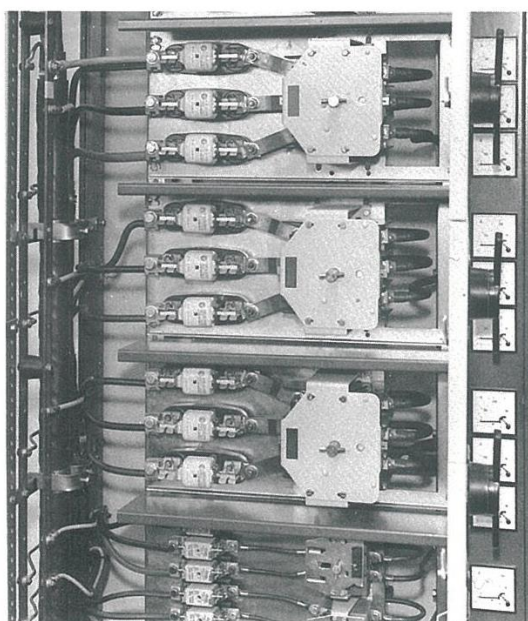


Figura 38- Exemplo do compartimento de cabos antigo, Fonte: Jayme da Costa.

A resistência de curto circuito era desde 14kA eff (30kA crista) a 50kA eff (105kA crista) e o grau de proteção contra agentes exteriores podia ser IP 305 ou IP 535, conforme NP 999 e CEI 144, normas aplicáveis na momento. Na figura 39 é possível visualizar um exemplo de coluna de entrada do quadro elétrico modular em estudo.

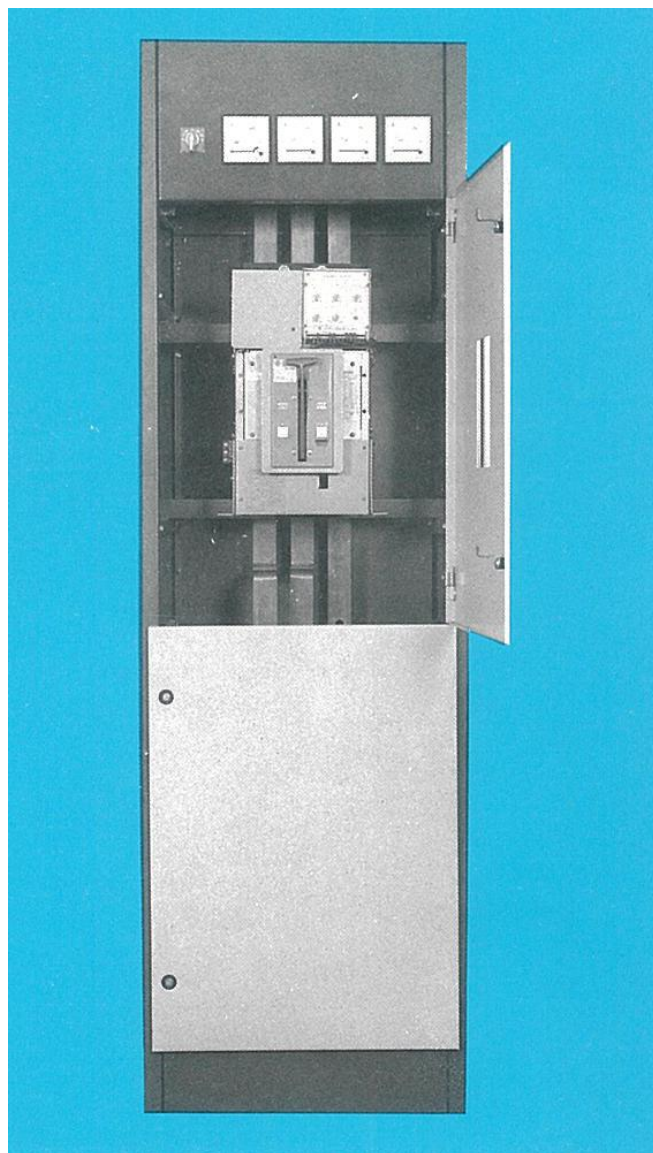


Figura 39- Exemplo de coluna de entrada, Fonte: Jayme da Costa.

3.4. ESTRUTURA PROPOSTA PARA ADEQUAÇÃO DO NOVO PROTÓTIPO AO MERCADO

Com o estudo da análise de mercado visto e a percepção de que o quadro modular elétrico de BT antigo já não se enquadrava com as necessidades dos clientes, da empresa e do portfólio de BT, foi identificado como acréscimo de valor iniciar o projeto de desenvolvimento do novo quadro modular elétrico de BT. Logo foram necessárias algumas definições prévias do que seria o novo protótipo dessa dissertação de maneira flexível e que atendesse a todas as normas vigentes portuguesas e internacionais.

3.4.1. ESTUDO DOS BARRAMENTOS

O primeiro item dos estudos dos barramentos a ser considerado será o dimensionamento do barramento de cobre, para que com isso seja possível a simulação do quadro elétrico de BT novo. É importante ter em consideração que o quadro antigo tinha uma capacidade máxima de corrente nominal de 1600A, como mencionado nas secções anteriores. No entanto a proposta para o quadro elétrico de BT novo será com a capacidade máxima de I_n de 2500A, ou seja, os cálculos serão baseados no valor máximo proposto nesse trabalho de dissertação.

1. Cálculo dos barramentos

Após a inserção de valores de entrada, serão verificadas as condições de corrente da barra, esforços eletrodinâmicos, esforços térmicos e condição de ressonância de maneira a dimensionar o barramento principal para a capacidade máxima de corrente nominal estipulada no quadro elétrico de BT em estudo, nos quais os cálculos apresentados a seguir são normalizados pela DIN 43.671 e RTIEBT em conjugação com as normas internacionais.

Os valores de entrada definidos para melhor entendimento dos cálculos são:

- I_{cc} – Valor da corrente de curto-circuito inicial simétrica, em kA;
- I_n – Valor da corrente estipulada do quadro, em A;
- Número de barras por fase;
- b – Valor da largura da barra de cobre, em mm;
- d – Valor da espessura da barra de cobre, em mm;
- t – Valor do tempo de fadiga térmica do condutor, em s;
- l – Distância entre apoios consecutivos, em mm.

Para o cálculo do barramento principal, foi levado em consideração a corrente máxima estipulada de quadro elétrico modular de BT, 2500A. Com isso foi verificada a tabela abaixo de forma geral, uma vez que as condições de grau de proteção do quadro, se há ventilação forçada ou natural, se o barramento encontra-se na posição vertical ou horizontal, se sua composição é barramento simples, duplo, triplo ou quadruplo por fase, também influenciam no valor da corrente máxima nominal suportável.

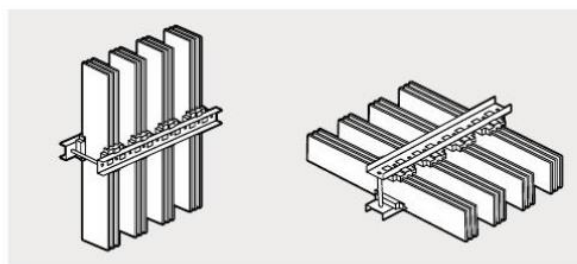
Tabela 16- Tabela geral de corrente suportável para barramento de cobre, Fonte: Jayme da Costa.

LARGURA X ESPESSURA	SEÇÃO DE UMA BARRA	PESO DE UMA BARRA	CORRENTE ALTERNADA 4060Hz							
			PINTADAS				NÃO PINTADAS			
			QUANTIDADE DE BARRAS				QUANTIDADE DE BARRAS			
			1	2	3	4	1	2	3	4
	mm ²	kg / m	I	II	III	II→50←II	I	II	III	II→50←II
20 X 2	40	0,36	189	302	313		162	264	298	
20 X 3	60	0,53	237	394	454		204	348	431	
20 X 5	100	0,89	319	560	728		274	500	690	
25 X 5	125	1,11	384	662	869		327	586	795	
30 X 5	150	1,34	447	760	944		379	372	869	
30 X 10	300	2,68	676	1200	1670		573	1060	1480	
40 X 5	200	1,78	573	952	1140		482	836	1090	
40 X 10	400	3,56	850	1470	2000	2580	715	1290	1770	2280
50 X 5	250	2,23	697	1140	1330	2010	583	994	1260	1920
50X 10	500	4,45	1020	1720	2320	2950	852	1510	2040	2600
60 X 5	300	2,67	826	1330	1510	2310	688	1150	1440	2210
60 X 10	600	5,34	1180	1960	2610	3290	985	1720	2300	2900
80 X 5	400	3,56	1070	1680	1830	2830	885	1450	1750	2720
80 X 10	800	7,12	1500	2410	3170	3930	1240	2110	2790	3450
100 X 5	500	4,45	1300	2010	2150	3300	1080	1730	2050	3190
100 X 10	1000	8,9	1810	2850	3720	4530	1490	2480	3260	3980
120 X 10	1200	10,68	2110	3280	4270	5130	1740	2860	3740	4500
160 X 10	1600	14,24	2700	4130	5360	6320	2220	3590	4680	5530
200 X 10	2000	17,8	3290	4970	6430	7490	2690	4310	5610	6540

Neste contexto será considerado barramento duplo de 100 X 10, não pintado, que no quadro geral representa 2480A, no entanto como vários outros fatores influenciam na corrente máxima suportável, como mencionado anteriormente. Foi tido em consideração a tabela 17, uma vez que nesta o barramento principal será montado conforme figura 40, a permitir maior circulação de calor, com ventilação natural. Os índices I_e e I_{the} , representam a corrente nominal para compartimentos com ventilação natural e com índice de proteção $IP \leq 30$ (temperatura ambiente interna $\leq 25^\circ C$) e corrente térmica no compartimento a condições de instalação mais severas, ou seja, compartimentos selados com o índice de proteção IP superior a 30 (temperatura ambiente interna $\leq 50^\circ C$), respetivamente.

Tabela 17-Tabela de corrente suportável para barramento de cobre da Legrand, Fonte[38].

Barras de cobre chatas rígidas, 10 mm de espessura					
I _e (A) IP ≤ 30	I _{the} (A) IP > 30	Quantidade de barras por fase	Dim. (mm)	I ² t (A ² s)	I _{cw1s} (A)
950	850	1	50 x 10	4.56 x 10 ⁹	67,500
1680	1470	2	50 x 10	1.82 x 10 ¹⁰	135,000
2300	2030	3	50 x 10	4.10 x 10 ¹⁰	202,500
1150	1020	1	60 x 10	6.56 x 10 ⁹	81,000
2030	1750	2	60 x 10	2.62 x 10 ¹⁰	162,000
2800	2400	3	60 x 10	5.90 x 10 ¹⁰	243,000
1460	1270	1	80 x 10	1.17 x 10 ¹⁰	108,000
2500	2150	2	80 x 10	4.67 x 10 ¹⁰	216,000
3450	2900	3	80 x 10	1.05 x 10 ¹¹	324,000
1750	1500	1	100 x 10	1.82 x 10 ¹⁰	135,000
3050	2550	2	100 x 10	7.29 x 10 ¹⁰	270,000
4150	3500	3	100 x 10	1.64 x 10 ¹¹	405,000
2000	1750	1	120 x 10	2.62 x 10 ¹⁰	162,000
3600	2920	2	120 x 10	1.05 x 10 ¹¹	324,000
4800	4000	3	120 x 10	2.63 x 10 ¹¹	486,000



^ Barras montadas lateralmente na vertical ou na horizontal: suportes na posição horizontal

Figura 40- Exemplo de disposição do barramento principal[38].

Logo os parâmetros para consideração dos valores são:

- ✓ Barras não pintadas
- ✓ $I_n = 2500 A$
- ✓ Número de barras por fase = 2
- ✓ $b = 100 mm$
- ✓ $d = 10 mm$

Com isso, os valores são:

Dimensão da barra: $2 \times (100 \times 10) mm$

Corrente da barra = 2550 A (valor na tabela 17)

$$\begin{aligned}
& \text{Seção da barra} \\
& = \text{Número de barras por fase} \times \text{Largura da barra} \\
& \times \text{Espessura da barra} \Leftrightarrow \text{Seção da barra} = 2 \times 100 \times 10 \\
& \Leftrightarrow \text{Seção da barra} = 2000 \text{ mm}^2
\end{aligned}$$

Condição a verificar:

$$\begin{aligned}
& \text{Folga da corrente da barra} = \text{Corrente da barra} - I_n \\
& \Leftrightarrow \text{Folga da corrente da barra} = 2550 - 2500 \\
& \Leftrightarrow \text{Folga da corrente da barra} = 50 \text{ A} > 0 \Rightarrow \text{OK!}
\end{aligned}$$

Para este caso em concreto e com estes valores de entrada, a condição de corrente da barra cumpre com a corrente máxima admissível estipulada.

A fazer um paralelo em relação a capacidade de transmissão de corrente elétrica em apenas uma barra por fase e de duas ou mais, significa que quanto maior a quantidade de barras por fase menor a capacidade de condução de corrente dessa barra em n vezes, por exemplo, neste caso que são 2 barras por fase para conduzir 2500A, a sua capacidade vai entre 1,6 a 1,8 vezes o valor máximo de corrente para apenas 1 barra. Esse valor também é influenciado pela largura da barra, o q dificulta o resfriamento e efeito de indutância mútua[38].

É importante ter em consideração que a distância entre duas barras da mesma fase é igual ao valor da espessura da barra, d, em mm.

$$\text{Distância entre fases} = 70 \text{ mm (valor estipulado)}$$

$$\text{Distância equivalente entre condutores, } a_m$$

$$\begin{aligned}
& = \frac{d}{2} + d + \text{Distância entre fases} + d + \frac{d}{2} \Leftrightarrow \\
& a_m = \frac{10}{2} + 10 + 70 + 10 + \frac{10}{2} \Leftrightarrow a_m = 100 \text{ mm}
\end{aligned}$$

Distância entre extremos do barramento

$$\begin{aligned}
 &= d + d + d + \text{Distância entre fases} + d + d + d \\
 &+ \text{Distância entre fases} + d + d + d + \text{Distância entre fases} + d \\
 &\Leftrightarrow \text{Distância entre extremos do barramento} \\
 &= 10 + 10 + 10 + 70 + 10 + 10 + 10 + 70 + 10 + 10 + 10 + 70 \\
 &+ 10 \Leftrightarrow \text{Distância entre extremos do barramento} = 310 \text{ mm}
 \end{aligned}$$

Foi considerada a norma internacional IEC 60947-1 para aplicação dos cálculos e entendimentos das aplicações.

2. Cálculo dos Esforços Eletrodinâmicos

Os esforços eletrodinâmicos resultam no maior esforço a que qualquer barramento poderá ser submetido, conferindo ao dimensionamento uma segurança total, são os esforços entre os condutores ligados em paralelo. Esta força será atrativa no caso de os condutores serem percorridos por correntes no mesmo sentido e repulsiva no sentido contrário.

A utilizar os dados anteriores no cálculo dos barramentos e alguns valores que foram estipulados como:

- $I_{cc} = 50 \text{ kA}$
- $l = 500 \text{ mm}$
- $\sigma = 12 \text{ kgf/mm}^2$
- $a_m = 100 \text{ mm}$

Sendo l a distância entre apoios consecutivos, em mm, σ é a pressão dos mesmos e a_m trata-se da distância total do barramento. O fator adimensional que traduz o decaimento da componente contínua da corrente de curto-circuito, χ , através do valor corrente de curto-circuito e é determinado da seguinte forma da tabela 18.

Tabela 18-Valores de χ e n

Valor eficaz da corrente de curto-circuito, I_{cc} , em kA	Valor de χ	Valor de n
$I_{cc} \leq 5$	1,1	1,5
$5 < I_{cc} \leq 10$	1,22	1,7
$10 < I_{cc} \leq 20$	1,42	2
$20 < I_{cc} \leq 50$	1,5	2,1
$50 > I_{cc}$	1,6	2,2

Em que, $n = \sqrt{2} \times \chi$.

Após os valores de n obtidos é possível identificar a corrente de choque de curto-circuito trifásico no, chamada de I_{ch} , conforme fórmula abaixo:

Para determinar a corrente de choque, I_{ch} , procede-se assim:

$$I_{ch} = n \times I_{cc} \Leftrightarrow I_{ch} = 2,2 \times 50 \Leftrightarrow I_{ch} = 110 \text{ kA}$$

Valor esse que sofreu arredondamento em aproximadamente 110kA. Logo após a obtenção desse valor, foi verificado a força eletromagnética entre os condutores, denominada por F_e , conforme cálculo abaixo:

$$F_e = 0,02 \times I_{ch}^2 \times \frac{l}{a_m} \Leftrightarrow F_e = 0,02 \times 110^2 \times \frac{500}{100} \Leftrightarrow F_e = 1210 \text{ kgf}$$

Depois devemos obter o momento de flexão do sistema, de acordo com a fórmula seguinte:

$$m_f = \frac{F_e \times l}{16} \Leftrightarrow m_f = \frac{F_e \times 500}{16} \Leftrightarrow m_f = 37812,5 \text{ kgf/mm}$$

Após isso deve-se calcular o momento resistente, W :

$$W_{cobre} = \frac{m_f}{12} \Leftrightarrow W = \frac{37812,5}{12} \Leftrightarrow W = 3\,151,04 \text{ mm}^3$$

Utilizando a carga de segurança à flexão do cobre, $\sigma = 12 \text{ kgf/mm}^2$.

Logo sendo assim foi calculado a ter em consideração as dimensões do barramento:

$$W_{sup} = \frac{d \times b^2}{6} \Leftrightarrow W = \frac{10 \times 100^2}{6} \Leftrightarrow W = 16\,666,66 \text{ mm}^3$$

Condição a verificar:

$$W_{sup} \geq W_{cobre} \Leftrightarrow 16\,666,66 \geq 3\,151,04 \text{ OK!}$$

Logo, conclui-se que o módulo de flexão, máximo momento que pode ocorrer no perfil, esse fixo, nesta situação, esta de acordo com os valores de entrada escolhidos, o barramento cumpre com a condição de Esforço Eletrodinâmico.

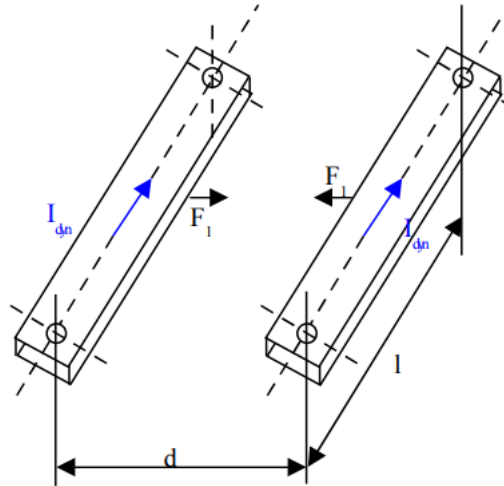


Figura 41- Firmeza Eletrodinâmica, Fonte[39].

3. Cálculo de Esforços Térmicos

De acordo com a norma IEC 865-1 para obter-se o valor da corrente térmica de pequena duração faz-se necessário a utilização do valor quadrático médio de corrente de curto-circuito e de m e n , os quais são relativos ao tempo e dos efeitos térmicos dos componentes assimétrica e simétrica da corrente de curto-circuito[40].

A ter em consideração esses aspetos e sendo a duração da passagem de corrente de curto-circuito bastante reduzida, foi possível desprezar as transferências térmicas com o ambiente exterior, uma vez que não seria obtido um valor relevante para a comparação final. Logo para uma corrente de curto-circuito considerada constante no exemplo deste trabalho de dissertação e de curta duração, o aquecimento do condutor varia proporcionalmente ao tempo.

Para esse cálculo será utilizado os dados anteriores da barra e valores definidos abaixo:

- $I_{cc} = 50 \text{ kA}$
- $t = 1 \text{ s}$
- $\chi = 1,6$

- $\frac{I_{cc}}{I_p} = \frac{I_{ch}}{I_k''} = 2,2 \Rightarrow$ Admite – se o valor de $\frac{I_{ch}}{I_k''}$, no fundo é o valor de $n = \chi \times \sqrt{2}$

Assim o valor da energia térmica que advém da corrente é $I_{cc}^2 \times t = 50^2 \times 1 = 2500 \text{ MA}^2\text{s}$.

Sendo assim, depois é verificado o coeficiente térmico da componente contínua, denominado “m”. E considerando os valores anteriores de $t=1\text{s}$ e $\chi = 1,6$, obtém-se os valores da tabela 19:

Tabela 19-Cálculo do fator adimensional “m”, Fonte: Jayme da Costa.

Cálculo de m				
χ	t			
	0,1	0,5	1	3
1,1	0,1	0	0	0
1,22	0,12	0	0	0
1,42	0,14	0	0	0
1,5	0,17	0	0	0
1,6	0,25	0	0	0

Neste caso, o valor obtido para m é igual a 0. Depois disso é verificado o coeficiente térmico da componente alternada, denominada “n”, através da tabela 20.

Tabela 20- Cálculo do fator adimensional “n”, Fonte: Jayme da Costa.

Cálculo n				
I_{cc}/I_p	t			
	0,1	0,5	1	3
1,5	0,95	0,88	0,83	0,74
1,7	0,93	0,85	0,79	0,67
2	0,9	0,78	0,7	0,58
2,1	0,89	0,75	0,68	0,54
2,2	0,88	0,72	0,66	0,51

Logo, neste caso, o valor obtido para n é igual a 0,66. E depois dos valores de m e n obtidos é possível calcular a corrente térmica I_{th} , através do cálculo abaixo:

$$I_{th} = I_{cc} \times \sqrt{(m + n)} \Leftrightarrow I_{th} = 50 \times 10^3 \times \sqrt{(0 + 0,66)} \Leftrightarrow I_{th} = 40620,19 \text{ A}$$

Com o valor da corrente térmica é admissível obter-se o valor de seção mínima barramento, denominada “Smin”. Para isso é necessário ter em consideração o valor da rapidez com que o condutor entra em fadiga térmica, que neste caso como são condutores nus em cobre, o valor do coeficiente K é de 159. Portanto é obtido o valor de “Smin”, abaixo:

$$S_{min} = \frac{I_{th}}{K} \times \sqrt{t} \Leftrightarrow S_{min} = \frac{40620,19}{159} \times \sqrt{1} \Leftrightarrow S_{min} = 255,47 \text{ mm}^2$$

Condição a verificar:

$$S_{barra} \geq S_{min} \Leftrightarrow 2000 \geq 255,47 \Rightarrow OK!$$

Logo, conclui-se que o barramento escolhido cumpre com a condição de Esforço Térmico, a considerar os valores de entrada selecionados.

É importante perceber a folga em relação ao valor máximo suportável pela barra, que é a diferença entre Smin e Sbarra (mm^2), conforme abaixo:

$$S_{barra} - S_{min} \Leftrightarrow 2000 - 255,47 = 1\,744,53 \text{ mm}^2$$

4. Condição de Ressonância

Esse dimensionamento tem que ser eficaz não apenas em relação a garantir a eficácia mecânica e térmica relacionados as correntes de curto-circuito do sistema, mas também impedir que o período de vibração intrínseco das barras não cause ressonância elétrica[40].

Se na ocorrência de um curto-circuito, a frequência própria de vibração das barras se situar numa gama de valores próximos (cerca de $\pm 10\%$) dos valores da frequência fundamental da rede, 50 Hz e neste caso dobre para 100 Hz, será produzido um fenómeno de ressonância mecânica que resulta na destruição total dos barramentos, logo esse item é para verificação desse fenómeno na simulação desta dissertação.

A considerar os valores já mencionados nos tópicos anteriores:

- $b = 100 \text{ mm}$
- $d = 10 \text{ mm}$

É possível verificar o momento de inercia nos condutores principais dos barramentos, denominado por “J”.

$$J = \frac{\frac{d}{10} \times \left(\frac{b}{10}\right)^3}{12} \Leftrightarrow J = \frac{\frac{10}{10} \times \left(\frac{100}{10}\right)^3}{12} \Leftrightarrow J = 83,3 \text{ cm}^4$$

E posteriormente a isso a frequência de ressonância, denominada de f_o . Antes disso é preciso ter em considerações alguns valores relativos ao cobre sendo E, o valor do Módulo de Elasticidade ou Módulo de Young, que para o cobre é $E = 1,1 \times 10^6 \text{ kgf/cm}^2$, onde ρ é a densidade volumétrica do cobre, no qual $\rho = 8,9 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3$ e sendo p o valor do peso linear da barra de cobre, calculado abaixo:

$$p = \rho \times \left(\frac{b}{10}\right) \times \left(\frac{d}{10}\right)$$

$$p = 8,9 \times 10^{-3} \times \left(\frac{100}{10}\right) \times \left(\frac{10}{10}\right) \Leftrightarrow p = 8,9 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}$$

Após esses valores é obtido a frequência de ressonância, f_o :

$$f_o = 112 \times \sqrt{\frac{E \times J}{p \times \left(\frac{l}{10}\right)^4}} \Leftrightarrow f_o = 112 \times \sqrt{\frac{1,1 \times 10^6 \times 83,3}{8,9 \times 10^{-2} \times \left(\frac{500}{10}\right)^4}} \Leftrightarrow f_o = 1438 \text{ Hz}$$

Condição a verificar:

$$f_o \notin [45,55] \cup [90,110] \Leftrightarrow 1438 \notin [45,55] \cup [90,110] \Rightarrow OK!$$

Logo, conclui-se que o barramento escolhido cumpre com a condição de Ressonância, a considerar os valores de entrada selecionados.

3.4.2. CÁLCULOS DA MODULARIZAÇÃO

Nesta secção será demonstrada como foi verificado a modularização, ou seja, a padronização dos módulos para os novos quadros elétricos modulares de BT. Neste caso, foi considerado a unidade de medida U, a qual é a unidade que é denominada “Rack Unit”, conhecida como unidade de medida utilizada para descrever a altura de switches e outros dispositivos montados, o qual cada unidade é equivalente a 1,75 polegadas, ou seja, 44,45 mm[41]. Seguem imagens abaixo que representam exemplos de Rack em unidades U e do seu suporte de furação.

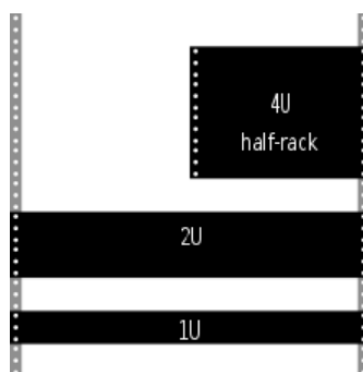


Figura 42- Exemplo de um Rack unit, Fonte[41].

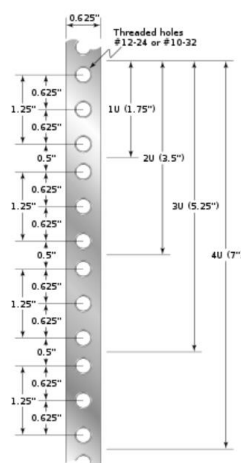


Figura 43-Exemplo de furação dos suportes do Rack, Fonte[41].

Ou seja, a considerar essa unidade de medida e que a altura definida do novo quadro será de 2100mm, no entanto a altura útil será de 1900mm, para inserir aparelhagem e barramento.

Foram consideradas as seguintes compartimentações para padronização do quadro:

- Compartimento de barramento;
- Compartimento de passagem de cabos;
- Compartimento de equipamentos modulares (disjuntores, contadores, relés, analisadores de energia, dentre outros);
- Compartimento de seccionamento para equipamentos mais robustos de 1000A até 2500A;
- Compartimento de disjuntores/seccionadores/contadores de MCCB.

Como medida de parâmetro para simulação dos compartimentos foi utilizado o esquema elétrico da Figura 42.

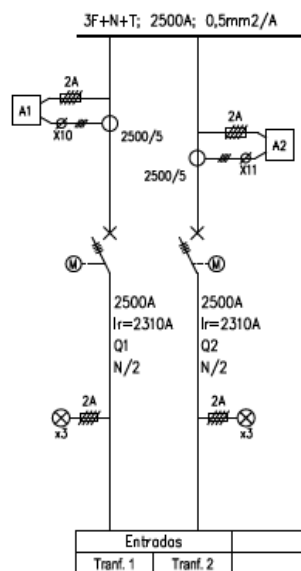


Figura 44- Esquema elétrico do quadro geral de BT com função de entrada, Fonte Jayme da Costa.

Neste caso, como trata-se de 2 cubículos iguais, quadros de força, mesma quantidade de equipamentos elétricos e intensidade de corrente, apenas um foi considerado para definição e simulação no software SolidWorks.

Após análise dos equipamentos do esquema elétrico, foi observado que o equipamento de maior dimensão, neste caso o disjuntor de 2500A pode chegar até 590 mm de largura a depender do fabricante o que impossibilitaria um quadro de 600mm de largura. Então dentro dessa vertente foram considerados quadros de 800mm, conforme Figura 43.

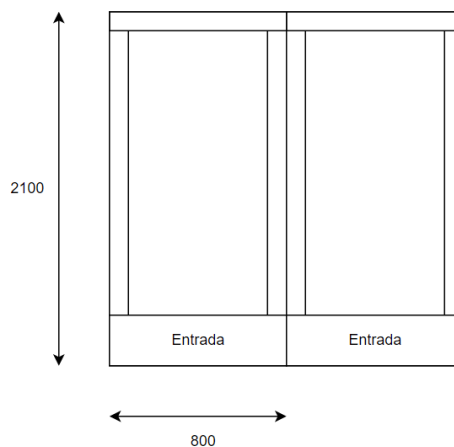


Figura 45- Exemplo de cubículos de entrada para modularização. Fonte própria.

Os equipamentos a serem considerados para início da definição dos módulos foram os da tabela 16, que são dos fabricantes Siemens e Circutor.

Tabela 21- Equipamentos definidos para simulação da modularização. Fonte própria.

Descrição	Referência	Quantidade	Link datasheet	imagem
Sinalizador LED 3F 230V RED/YELLOW/GREEN	5TE5803	1	Product Details - Industry Mall - Siemens WW	
Fixed-mounted circuit breaker 4-pole, Size 2, IEC In=2500 A to 690 V, 50/60 Hz AC Icu=66 kA at 500 V Rear horizontal connection Overcurrent release ETU 25 LSI protection adjustable 0.4-1 in Motorized/manual operating mechanism with spring charging motor AC 50/60 Hz 208-240 V or 220-250 V DC Activation AC 50/60 Hz 230 V, 220 V DC With 1st auxiliary release Shunt release "F", F1 50/60 Hz 230 V AC/220 V DC, 100% on-load factor With 2nd auxiliary release "F", F2 Shunt release 230 V AC/220 V DC, 100% on-load factor 2NO+2NC T40= Door sealing frame	3WL1225-2EB72-4GG2-Z T40+F23	1	Product Details - Industry Mall - Siemens WW	
SENTRON PAC3220 LCD 96X96 mm Power Monitoring Device Control panel instrument for electrical values protocol: Modbus TCP with graphics display U rated input: 690/400V 45-65Hz IE rated input: X/1A oder X/5A AC Power supply: 100 ... 250 V +10 % AC/DC screw connections	7KM3220-0BA01-1DA0	1	Product Details - Industry Mall - Siemens WW	
TA500 2500/5A, TIs, pletina 100x30 mm, 20 VA (classe 0,5) Código: M705A7	TA500 2500/5A Transformadores de corrente Código: M705A7.	3	-Data-Sheet (circutor.com)	

A considerar que o exemplo proposto se trata da corrente nominal máxima que será considerada nesse trabalho de dissertação para a confeção dos quadros elétricos modulares de BT, o barramento também tem dimensão máxima de 100x10mm, com barramento duplo, para 3F +N.

Logo, depois da inserção dos barramentos mais os suportes de fixação dos mesmos e os TIs, foi verificado que o espaço ocupado na parte superior do quadro era de 127mm, uma vez que esse valor foi obtido, o compartimento do barramento foi definido com a dimensão de 4U que equivale a 177,8mm.

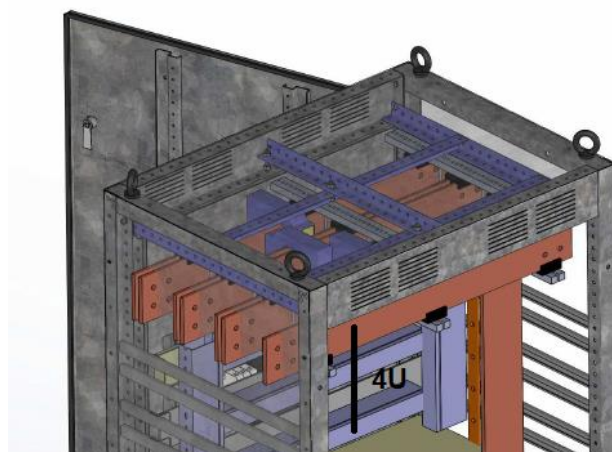


Figura 46-Simulação do compartimento do barramento no SolidWorks. Fonte Jayme da Costa.

Posteriormente a definição da parte mais crítica do quadro elétrico, foi verificado o compartimento para os equipamentos modulares de pequena dimensão, ou seja, analisador de energia, sinalizador e disjuntores modulares menores, estes últimos não necessários para este caso em específico, mas também importantes para a modularização.



Figura 47-Simulação do compartimento de equipamentos modulares no SolidWorks. Fonte Jayme da Costa.

Foi considerada a dimensão de 10U para esse compartimento, a ter em consideração que se existir mais equipamentos modulares, como é o caso, por exemplo, de um quadro de comando e como a intenção é padronizar os módulos, a dimensão foi definida de forma a pensar no máximo de equipamentos possíveis, a poder ter até 3 fileiras de equipamentos modulares ou duas e o analisador como demonstrado na Figura 45. O valor de 10U é equivalente a 444,5mm em centímetros.

De seguida foi simulado o compartimento de seccionamento para equipamentos mais robustos, a considerar disjuntores ou seccionadores de 1000A até 2500A, devido ao nível de corrente nominal e curto-circuito, uma vez que o equipamento demonstrado na tabela 16 vai até 66kA, mas que a nível do projeto de investigação dessa dissertação trata-se do limite de 50 kA, relativo ao quadro elétrico modular de BT em desenvolvimento.

Devido as dimensões de altura e largura do equipamento mencionado foi considerado um compartimento de 12U que equivale a 533,4mm, conforme Figura 46.

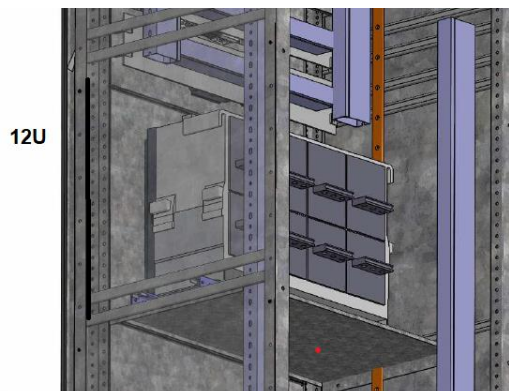


Figura 48- Simulação da vista traseira do compartimento de seccionamento no SolidWorks. Fonte Jayme da Costa.

Neste exemplo não possuem disjuntores de caixa moldada, no entanto foi realizado uma compilação de informações sobre as dimensões máximas possíveis para esses equipamentos, conforme tabela 17.

Tabela 22-Tabelas de dimensões dos equipamentos MCCB – Geral. Fonte Própria.

Análise dimensionamento- MCCB									
Dimensões máximas (mm)		Total		Acionamento					
		Altura	Largura	Altura	Largura	1P	2P	3P	4P
Marcas	Siemens	291	225	45	120	25,4	50,8	138	184
	Weg	285,5	148,7	119,5	59,8	0	0	210	285,5
	Schneider	255	168	116	58	0	0	140	185
	ABB	268	193,5	204	210	35	70	210	280
Valor máximo		291	225	204	210	35	70	210	285,5

E depois da análise dessa tabela, definiu-se que o compartimento de disjuntores, seccionadores e contadores de MCCB teria a dimensão de 7U que é equivalente a 311,1mm.



Figura 49-Simulação da vista frontal do compartimento de MCCB no SolidWorks. Fonte Jayme da Costa.

Como forma final da análise do esquema e estruturação do painel modular de BT, foi considerado um compartimento para passagem de cabos com dimensão de 2U o que equivale a 88,9mm.

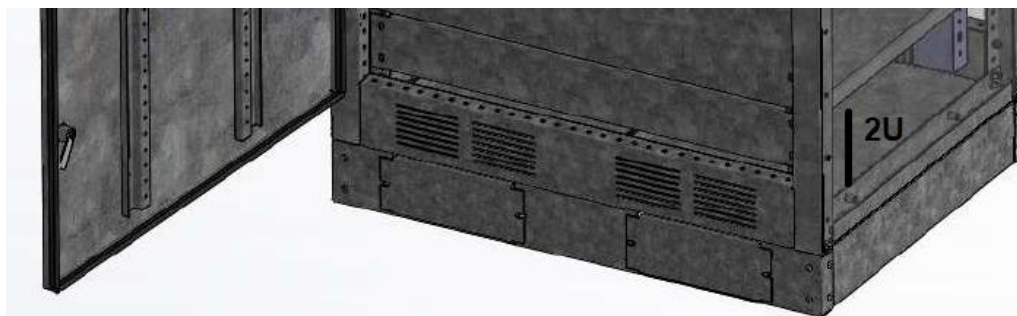


Figura 50-Simulação da vista frontal do compartimento de passagem de cabos no SolidWorks. Fonte Jayme da Costa.

A definição do quadro elétrico geral modular de BT após a simulação relativa ao esquema elétrico proposto nesse trabalho de dissertação, a considerar colunas de entrada, é vista na figura 49.

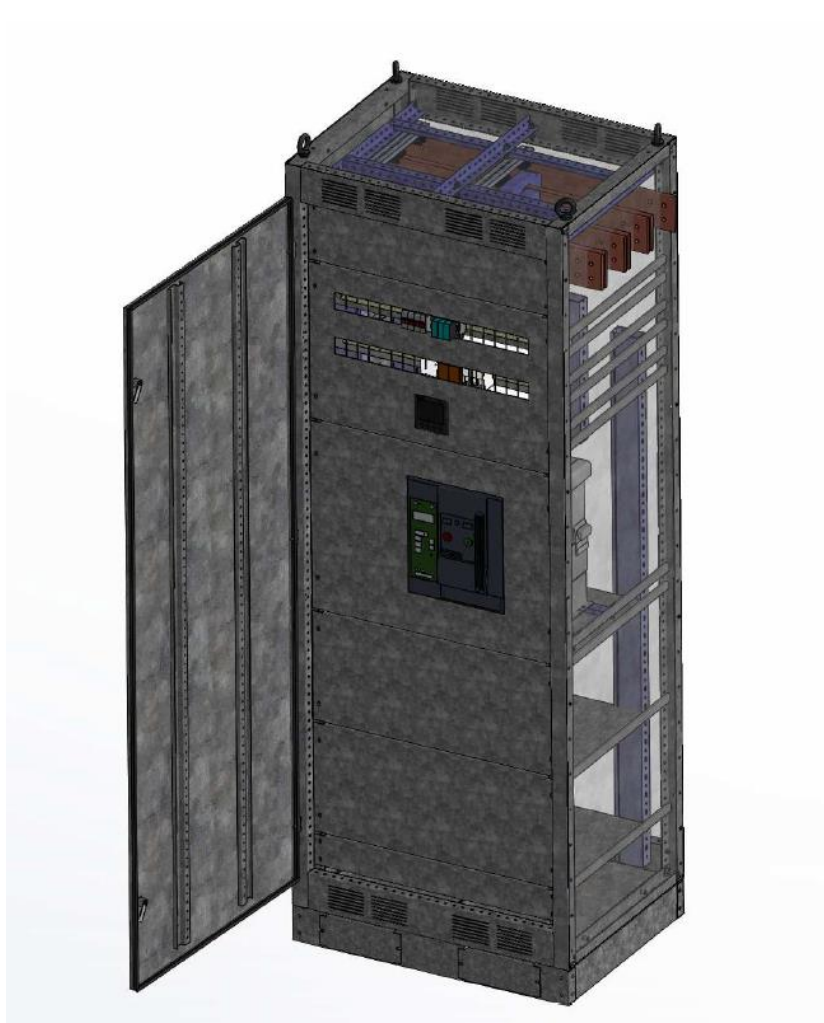


Figura 51- Vista da simulação do quadro geral modular de BT no SolidWorks. Fonte Jayme da Costa.

3.4.3. DEFINIÇÃO FUNCIONAL

Neste item será demonstrado a divisão dos quadros em unidades funcionais, ou seja, módulos de combinação. Foi dividida de acordo com as três dimensões (largura, altura e profundidade) e funcionalidades propostas. A subdivisão dos quadros quanto às suas funções foi designada de: coluna de Entrada, coluna de Entrada Normal/Emergência, coluna de Entrada/Saída, coluna de Saídas, coluna de Interbarras, coluna de Proteção e Comando e o caso especial da coluna para Solar QCCP (quadro de comando e proteção)/QSA(quadro de serviços auxiliares). Estas classificações servem de vantagem não apenas para o projeto, mas para a operação, a manutenção, a alteração e também segurança dos quadros.

A utilizar todas as variantes possíveis e importantes de colunas modulares pode-se obter um quadro elétrico.

Cada coluna modular possui a seguinte lista de equipamentos:

- 2 unidades de Aros com 600 / 800 mm de Profundidade;
- 4 unidades de Cimalhas;
- 1 unidade de Tampo teto;
- 1 unidade de Tampo posterior;
- 2 unidades de Tampo lateral;
- 4 unidades Prumo vertical para aro;
- 1 unidade de Rodapé;
- 1 unidade de Porta;
- 2 unidades de Prumo da Porta;
- 2 unidades de Tampo Chão.

Acessórios de montagem, não quantificados:

- Parafusos, porcas, anilhas, molas e anilhas planas;
- Juntas de borracha (saber se o quadro é classe I ou II).

Não são consideradas, para já, portas e painéis, barramentos e acessórios.

Foram criados códigos internos para ser possível distinguir colunas modulares. Por exemplo, um código interno corresponde a uma coluna modular com 800 mm de Largura, 2100 mm de Altura e 600 mm de Profundidade e tem como objetivo ser uma coluna de Entrada, caso de estudo deste trabalho de dissertação.

Tabela 23- Divisão de colunas modulares, por função e por dimensão, Fonte: Jayme da Costa.

FUNÇÃO COLUNAS	DIMENSÃO COLUNAS (Larg. x Alt. x Prof.)					
	600x2100x600	600x2100x800	800x2100x600	900x2100x600	1000x2100x600	1200x2100x600
Entrada						
Entrada normal/ Emergência						
Entrada/Saída						
Saídas						
Interbarras						
Proteção e comando						
Solar QCCP/QSA						

Cada código tem associado um tipo de coluna, uma função, dimensões, um valor de corrente nominal da coluna e um valor da corrente de curto-circuito eficaz e de pico.

Tabela 24-Biblioteca de subdivisão de colunas modulares, Fonte: Jayme da Costa.

Tipo de coluna	Função	Dimensões (LxAxP)	Corrente Nominal máxima	Corrente de curto-circuito eficaz e de pico
COLUNA MODULAR	Entrada	600x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Entrada Normal / Emergência	600x2100x800	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Entrada / Saída	600x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Saídas	600x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Interbarras	600x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Proteção e comando	600x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Entrada	800x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Entrada Normal / Emergência	800x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Entrada / Saída	800x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Saídas	800x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Interbarras	800x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Proteção e comando	800x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Solar QCCP / QSA	900x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Entrada / Saída	1000x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Saídas	1000x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA
	Entrada / Saída	1200x2100x600	In = 2500 A	Icc _{Ef} =50kA, Icc _{Peak} =105kA

Ao realizar a esquematização das unidades funcionais, obtém-se:

✓ Unidade funcional de Entrada

Coluna Modular

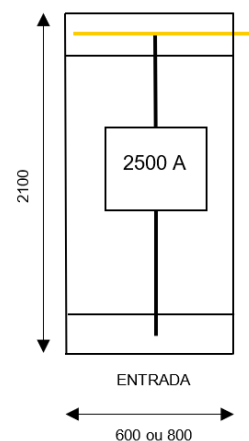
Entrada dos cabos por baixo

Topo do quadro com barramento geral

Largura: 600 ; 800 mm

Profundidade: 600 mm

Altura: 2100 mm



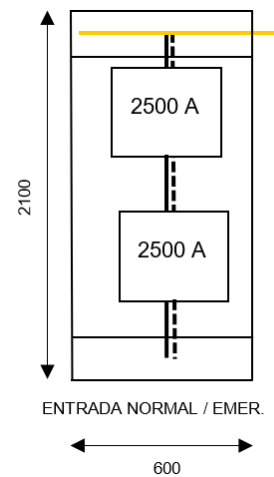
✓ **Unidade funcional de Entrada Normal/Emergência**

Coluna Modular

Largura: 600 mm

Profundidade: 800 mm

Altura: 2100 mm



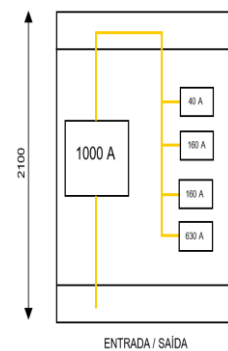
✓ **Unidade funcional de Entrada/Saída**

Coluna Modular

Largura: 600; 800; 1000; 1200 mm

Profundidade: 600 mm

Altura: 2100 mm



✓ **Unidade funcional de Saída**

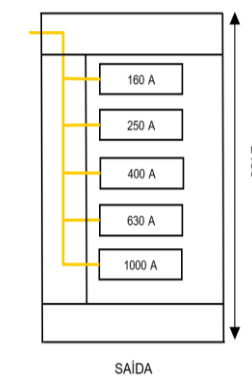
Coluna Modular

Topo do quadro com barramento geral

Largura: 600 ; 800 ; 1000 mm

Profundidade: 600 mm

Altura: 2100 mm



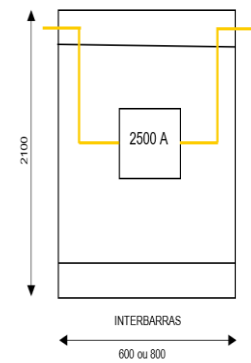
✓ Unidade funcional de Interbarras

Coluna Modular

Largura: 600 ; 800 mm

Profundidade: 600 mm

Altura: 2100 mm



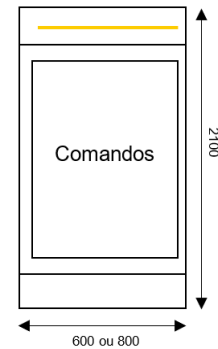
✓ Unidade funcional de Proteção e Comando

Coluna Modular

Largura: 600 ; 800 mm

Profundidade: 600 mm

Altura: 2100 mm



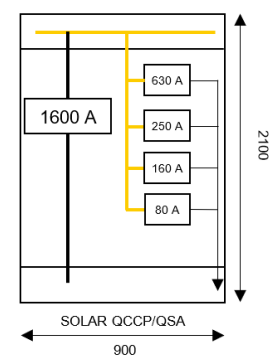
✓ Unidade funcional Solar QCCP/QSA

Coluna Modular

Largura: 900 mm

Profundidade: 600 mm

Altura: 2100 mm



Todas essas unidades funcionais estarão disponíveis, no entanto a que está a ser utilizada como exemplo de modularização deste trabalho de dissertação é a coluna modular de entrada

dos cabos por baixo, no qual vai o barramento geral de 2500A, com largura de 800mm, profundidade de 600mm e altura de 2100.

3.5. ORÇAMENTAÇÃO

Após a realização do primeiro quadro modular de BT dimensionado, com modularização definida e simulação, é importante ter em consideração o orçamento para cada compartimento.

Por isso foi definido do que seria composto cada modularização, como chaparia necessária, aro, cimalha, suportes, painel interior, porta, e demais componentes.

✓ Estrutura externa

Tabela 25- Quantidade de material da estrutura base, fonte própria.

Quantidade	Descrição	Consumo
4	CIMALHA SUP/INF 800	8
4	TRAVESSA PRUMO HORIZONTAL	4
2	TAMPO LATERAL DIR.600	15
1	TAMPO TETO 800X600	5,7
1	TAMPO POSTERIOR 800	18
4	PRUMOS VERTICAL DO ARO	14,4
1	PRUMO ESQ. FIX.PAINEIS	1,3
1	PRUMO DIR. FIX.PAINEIS	1,3
2	TAMPO/CHÃO 800X600	5,5

Tabela 26- Quantidade de material do rodapé, fonte própria.

Quantidade	Descrição	Consumo
4	TAMPA GARFOS RODAPÉ 800	0,4
2	PAINEL LAT. DIR/ESQ-RODAPÉ 600	1,6
2	PAINEL FREN/TRAS - 800	4

Tabela 27-Quantidade de material da porta exterior, fonte própria.

Quantidade	Descrição	Consumo
2	PERFIL REFORÇO-PORTA EXT.	5
1	PORTA EXTERIOR 800	18,5
6 metros	junta-vedante-porta- Superior Inferior, lado direito e lado esquerdo	
2	FECHO EMKA 100-U155+1000- U4+1000-14	

Nesta estrutura foram verificados os custos de cada item e para a situação geral para estrutura externa foi detetado o valor de aproximadamente 450 euros.

✓ **Compartimento de barramento**

Tabela 28- Quantidade de material do compartimento de barramento, fonte própria.

Quantidade	Descrição	Consumo
1	Rack do barramento	1,6
1	Divisória entre compartimentos	4
5	Perfil L 30X3	4

Tabela 29- Quantidade de material elétrico do compartimento de barramento, fonte própria.

Quantidade	Descrição 1	Consumo
3	TRANSF-INT-MORTS1451-2500-5A	-
1	Barramento	50
3	Suporte do barramento	-

Nesta caso para o compartimento de barramento foram verificados os custos de cada item e para a situação geral para estrutura externa foi detetado o valor de aproximadamente 50 euros apenas para chaparia, se for a considerar com o material elétrico são mais 800 euros, devido ao barramento duplo de 100x10.

✓ **Compartimento de passagem de cabos**

Tabela 30-Quantidade de material do compartimento de passagem de cabos, fonte própria.

Quantidade	Descrição	Consumo
1	RACK-CABOS	1

Para esse item apenas é considerada a tampa de cabos, ou seja, chaparia sendo o valor de custo 10 euros.

✓ **Compartimento de equipamentos modulares (disjuntores, contatores, relés, analisadores de energia, dentre outros)**

Tabela 31- Quantidade de material do compartimento de equipamentos modulares, fonte própria

Quantidade	Descrição	Consumo
1	RACK-10U-Q800	4
12	PERF. GALVANIZADO 22X12	7,5
5	CALHA.PCR.C.TAMPA H80XL40.450C	3
1	CALHA_OMEGA_35mm_400C	2
1	PLATINE ISOLANTE	0,6
1	Divisoria entre compartimentos	4

Tabela 32- Quantidade de material elétrico do compartimento de equipamentos modulares, fonte própria.

Quantidade	Descrição	Consumo
4	ISOL-POL-EXAG-40HxM8	
1	PERFIL L FURADO FE360 30X3- 1000	1
1	Barramento vertical(valor deste compartimento até o final)	133

Neste caso para o compartimento de equipamentos modulares foram verificados os custos de cada item e para a situação geral para estrutura externa foi detetado o valor de aproximadamente 100 euros apenas para chaparia, se for a considerar com o material elétrico são mais 1800 euros, devido ao barramento duplo de 100x10 que foi considerado o valor total relativo ao restante do quadro.

✓ **Compartimento de seccionamento para equipamentos mais robustos de 1000A até 2500A**

Tabela 33- Quantidade de material do compartimento de seccionamento, fonte própria.

Quantidade	Descrição	Consumo
1	RACK-12U-Q800	4,6
1	PERFIL L FURADO FE360 30X3-1000	1
1	PERF. GALVANIZADO 22X12	2,5
1	Divisória entre compartimentos	4

Tabela 34- Quantidade de material elétrico do compartimento de seccionamento, fonte própria.

Quantidade	Descrição	Consumo
1	Disjuntor 2500	
1	CALHA PCR com tampa 80x40	1

Para o compartimento de seccionamento foram verificados os custos de cada item e para a situação geral para estrutura externa foi detetado o valor de aproximadamente 80 euros apenas para chaparia, se for a considerar com o material elétrico são mais 5000 euros, devido ao disjuntor de 2500A.

✓ **Compartimento de equipamentos MCCB**

Tabela 35- Quantidade de material do compartimento MCCB, fonte própria.

Quantidade	Descrição	Consumo
1	RACK-7U-Q800	2,8
1	PERFIL L FURADO FE360 30X3-1000	1
1	Divisória entre compartimentos	4

Tabela 36- Quantidade de material elétrico do compartimento MCCB, fonte própria.

Quantidade	Descrição	Consumo
	Equipamentos MCCBs	
1	CALHA PCR com tampa 80x40	1
1	Barra terra (Cu 30x5)	2

Para esse caso em específico, neste primeiro quadro, não houve os equipamentos para os quais esse compartimento foi desenvolvido, no entanto é possível simular o custo da chaparia e inseri o barramento de terra nesse tópico. Logo o custo da chaparia foi de 60 euros aproximadamente e 50 euros de materiais conforme tabela 36, sem considerar equipamentos MCCBs.

É importante salientar que esses valores podem variar, de acordo com diferentes fornecedores, e foram considerados apenas a nível de simulação exemplificativa para o presente trabalho de dissertação.

3.6. CONCLUSÃO

Neste capítulo foi possível abordar o estudo de caso do desenvolvimento de um quadro elétrico modular de BT, desde a gestão I&D, ou seja, definição dos pontos cruciais para entender se existia viabilidade para desenvolvimento do produto, frente ao mercado, até o avanço da simulação da primeira coluna modularizada. É perceptível para a simulação do novo protótipo, de acordo com o proposto nesse trabalho de dissertação, a importância de ter em consideração todos os aspectos elétricos e mecânicos envolvidos, realizados através dos cálculos de barramento, de modularização e definição funcional e com isso após todo o compilado de informações foi realizada a simulação no Solidworks.

Dentro desse âmbito e como forma de análise de cada módulo foi elaborada a orçamentação do quadro em estudo, subdividida por estrutura geral e kits modulares, como forma de perceber os componentes mecânicos e elétricos que compõem cada módulo e seu custo inicial. Ou seja, o presente capítulo demonstra através do caso de estudo desse trabalho de dissertação os passos e instrumentos necessários para a criação de um protótipo de um quadro modular elétrico de BT.

4. ENSAIOS IEC 61439-1 & 2 PARA QUADROS ELÉTRICOS MODULARES DE BT

4.1. ENQUADRAMENTO

Após o conhecimento da parte prática do estudo de caso proposto nesse trabalho de dissertação, é imprescindível ter em consideração a adequação do produto, de acordo com as normas prevista no mercado. Por isso, será abordado nesse capítulo os próximos passos que abrangem principalmente aspectos relativos aos ensaios elétricos dos quadros modulares de BT. Os subcapítulos posteriores irão demonstrar com mais detalhes o tema.

4.2. ENSAIOS IEC 61439- 1 & 2

Desde a primeira edição do surgimento da norma IEC 61439- 1 & 2 que aconteceu em 2009, a indústria de fabricação de quadros elétricos trabalha para a melhor percepção e aplicação da mesma. Essas normas vieram substituir a IEC 60439 e são subdivididas em Conjuntos mais específicos. No entanto como objetivo de maior ênfase neste trabalho, serão abordadas a IEC 61439- 1 que traz consigo o conceito geral e deve ser aplicada em adição com uma mais específica do conjunto proposto, que para este caso trata-se da IEC 61439- 2 a qual determina os parâmetros dos conjuntos de aparelhagem de potência e comando.

A questão dos ensaios sempre foi alvo de muitas discussões, pois por vezes parecia duvidoso em relação a responsabilidade dos conjuntos testados, que em certas situações eram do fornecedor do equipamento, em outras do quadrista. Logo com o surgimento dessa

atualização há uma clareza maior do que é responsabilidade de cada de forma a facilitar o seguimento do processo de fornecimento.

A verificação de concepção ou design corresponde a um conjunto de ensaios que garantem que o produto atenda às especificações estabelecidas de acordo com as normas propostas. Esse item substitui as anteriores denominadas categoricamente por TTA, conjuntos totalmente testados através de ensaios de tipo, e PTTA, conjuntos parcialmente testados.

De acordo com a IEC 61439, há 3 tipos de verificações disponíveis:

- Comprovação por teste- é uma confirmação que pode ser realizada em uma amostra de um conjunto ou em partes dos conjuntos para verificar o cumprimento das normas e é semelhante aos ensaios de tipo;
- Confirmação por cálculos e/ou medição- é a verificação através de cálculos ou/medição em uma amostra de um conjunto ou em partes dos conjuntos para verificar o cumprimento das normas;
- Averiguação por aplicabilidade das regras de concepção- regras especificadas para averiguar o design do conjunto.

No caso para a aplicação deste trabalho de dissertação, será considerado como fabricante original, uma vez que o fabrico da coluna, dos compartimentos modulares e eletrificação será realizada pelo mesmo local.

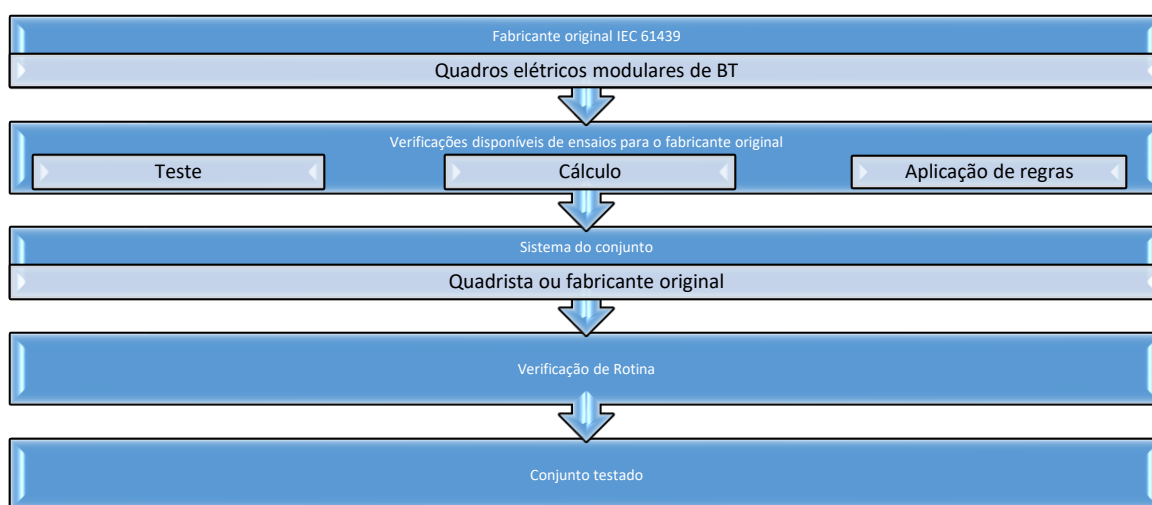


Figura 52- Fluxograma da responsabilidade dos ensaios de tipo e rotina, fonte própria.

4.2.1. VERIFICAÇÕES DE ENSAIOS

Conforme demonstrado no fluxograma 52 há a responsabilidade do fabricante original pelo conjunto e verificações disponíveis de ensaios após a realização dos mesmos e caso o restante da composição ocorra em um quadrista as demais verificações de rotina serão de responsabilidade deste, no entanto como neste caso trata-se da confecção do conjunto e eletrificação no mesmo fabricante original, passa a ter a responsabilidade de todos os ensaios.

Tabela 37- Lista de verificações a serem realizadas conforme norma IEC 61439-1, Fonte[10]

Lista de verificações			Opções de verificação		
Número	Características a verificar	Subcláusulas	Teste	Cálculo	Aplicação de regras
1	Resistência do material e peças	10.2			
	Resistencia à corrosão	10.2.2	sim	sim	não
	Propriedades de isolamento dos materiais	10.2.3			
	Estabilidade térmica	10.2.3.1	sim	sim	não
	Resistência ao aquecimento anormal e fogo devido a efeitos internos elétricos	10.2.3.2	sim	sim	sim
	Resistência a irradiação de ultravioletas(UV)	10.2.4	sim	sim	sim
	Elevação	10.2.5	sim	sim	não
	Impacto mecânico	10.2.6	sim	sim	não
	Marcação	10.2.7	sim	sim	não
	Operação mecânica	10.2.8	sim	sim	não
2	Grau de proteção dos invólucros	10.3	sim	não	sim
3	Distâncias e linhas de fuga	10.4	sim	não	não
4	Proteção contra choque elétrico e integridade dos circuitos de proteção	10.5			
	Continuidade efetiva entre as peças condutoras expostas do CONJUNTO e o circuito de proteção	10.5.2	sim	não	não
	Eficácia do CONJUNTO em relação a curto-circuito externas	10.5.3	sim	sim	não
5	Instalação de equipamentos	10.6	não	não	sim
6	Circuitos e conexões elétricas internos	10.7	não	não	sim
7	Terminais para condutores externos	10.8	não	não	sim
8	Propriedades dielétricas	10.9			
	Tensão de frequência de potência	10.9.2	sim	não	não
	Tensão de impulso	10.9.3	sim	não	sim
	Armários feitos de material isolante	10.9.4	sim	não	não
	Cabos de operação externos de material isolante	10.9.5	sim	não	não
	Condutores cobertos por material isolante para proteger contra choques elétricos	10.9.6	sim	não	não
9	Limites de aumento de temperatura	10.10	sim	sim	sim
10	Resistência a curto circuito	10.11	sim	sim	não
11	Compatibilidade eletromagnética(CEM)	10.12	sim	não	sim

Conforme a tabela 37, é possível verificar que há uma lista de itens que podem ser realizados testes ou não. Com isso será analisado ponto a ponto para identificação dos testes necessários a este trabalho dessa dissertação.

1. Resistência dos materiais e das partes- 10.2

As capacidades mecânicas, elétricas e térmicas dos materiais de construção e das partes do conjunto devem ser consideradas aptas para a verificação das características de construção e de desempenho. Assim são realizadas verificações para cada item com a finalidade de assegurar que todas as partes estejam em bom funcionamento e capacidade de operação.

Seguem itens considerados:

10.2.2 - Resistência à corrosão

10.2.3 - Propriedades dos materiais isolantes

10.2.3.1 - Estabilidade Térmica

10.2.3.2 - Resistência dos materiais isolantes ao calor anormal e ao fogo devido aos efeitos elétricos internos

10.2.4 - Resistência à radiação ultravioleta (UV)

10.2.5 – Elevação

10.2.6 - Impacto Mecânico

10.2.7 – Marcações

10.2.8 – Operação mecânica

Há nesta lista, de acordo com a tabela acima a opção de teste, cálculo e aplicação de regras, no entanto apenas para 2 itens o 10.2.3.2 e 10.2.4 podem ser realizadas por aplicação de regras e essa avaliação, no caso do 10.2.3.2, pode ser feita com dados dos fabricantes dos materiais isolantes, ou seja, através de informações do mesmo. A ter em consideração alguns pontos como, por exemplo, a não utilização do painel ao tempo, dispensa-o do ensaio de

verificação da resistência à radiação ultravioleta, item 10.2.4. Nesta análise é possível perceber que em todas as demais situações são utilizados os testes de ensaio. A norma IEC 62208 prevê que os ensaios de tipo realizados de acordo com a mesma suprem a exigência do item 10.2.

2. Grau de proteção dos invólucros- 10.3

A norma que classifica esse item é a IEC 60529- Graus de proteção (Código IP) e com isso define a maneira como é realizado o teste dos invólucros, que neste caso é através da resistência dividida em 2 partes. E assim, são realizados testes contra penetração de sólidos e líquidos.

O IP mínimo para quadros elétricos é o IP20, o qual significa que é protegido contra sólidos superiores a 12,5mm e sem proteção contra água, pois é intenção é proteger os operadores de eletricidade dos campos com energização. No caso deste trabalho de dissertação o grau de proteção proposto para o quadro modular de BT é o IP54, que é proteção contra pó relativamente ao dígito 5 e proteção contra respingos de água, relacionado ao dígito posterior, número 4.

3. Distâncias e linhas de fuga- 10.4

A norma 60664-1 é a responsável pelos parâmetros utilizados neste item, através de critérios de medição do afastamento de isolamento e linhas de fuga. Esse cálculo é realizado através da medição entre parcelas ativas e massa e parcelas ativas e polaridades divergentes.

O primeiro a ter em consideração é o isolamento no ar, no qual destina-se a garantir a coordenação do isolamento na instalação e com isso a permitir que resista a tensão de impulso máxima. No caso deste desta dissertação a tensão de impulso é de 8 kV que exige uma distância mínima de isolamento no ar de 8 mm, conforme definição na tabela da IEC 61439-1. É importante ter em consideração se os equipamentos elétricos a serem ensaiados com o conjunto sejam compatíveis a essa tensão, pois caso não é preciso definir cada item antes do ensaio.

A distância de escoamento também é analisada e no estudo de caso desse trabalho considerou-se $U_i=1000$ V, no entanto é imprescindível também ter em consideração os valores de U_i para equipamentos no momento do ensaio.

4. Proteção contra choque elétrico e integridade dos circuitos de proteção -(10.5)

Neste tópico há 2 itens para verificação o 10.5.2 e o 10.5.3, conforme descrição abaixo:

- 10.5.2 - Continuidade efetiva entre as peças condutoras expostas do Conjunto e o circuito de proteção- neste caso o ensaio é realizado para averiguar como esta o aterramento das partes condutivas expostas. É realizada ao inserir corrente, no qual a mesma passa entre o aterramento e áreas condutoras, no geral a resistência não pode ultrapassar o valor estipulado.
- 10.5.3- Eficácia do Conjunto em relação a curto-circuito externas

É possível fazer essa verificação através de cálculos conforme IEC 60865, no entanto, neste trabalho, será realizada por ensaio no qual há a verificação da corrente de curto-circuito máxima que no caso estipulado é de 105 kA, além do teste de continuidade que dará o valor da resistência.

5. Instalação de equipamentos, Circuitos e conexões elétricas internas e Terminais para condutores externos -(10.6, 10.7 e 10.8)

Todos esses itens são verificados por avaliação, pois é preciso de informações do fabricante original para averiguação. Nestes três casos, o ensaio de tipo é dispensado, uma vez que apenas é necessário ter em consideração as características construtivas mecânicas, elétricas e de montagem fornecidas pelo fabricante do produto.

6. Propriedades dielétricas -(10.9)

Neste item há várias subdivisões, 10.9.2- Tensão de frequência de potência, 10.9.3 -Tensão de impulso e 10.9.4, 10.9.5 e 10.9.6, relacionadas a testes com materiais isolantes. Esses 3 últimos não serão considerados nesta análise, uma vez que não se enquadram no estudo de caso proposto. A finalidade deste teste é assegurar a integridade do isolamento da parte sólida e a capacidade de suportar as sobretensões transitórias, ou seja, não formação de arco, por exemplo.

- 10.9.2 - Tensão de frequência de potência

Este teste é realizado ao submeter o Conjunto durante cinco segundos a alta voltagem com a tensão máxima. São realizados à frequência industrial de 50 Hz e sob a forma de ondas de tensão que simulam uma descarga atmosférica.

- 10.9.3 - Tensão de impulso

Este ensaio é realizado para uma tensão de suportabilidade aos impulsos nominais que neste caso de estudo é de até 8 kV para o Conjunto, em certas situações nos ensaios o valor pode ser superior ao estipulado, mas nunca inferior. O teste é realizado quando a tensão de impulso é aplicada cinco vezes para cada polaridade em intervalos de um segundo nas conexões previstas.

7. Limites de aumento de temperatura - (10.10)

Para este ensaio é realizado o teste de aquecimento do Conjunto e no caso do trabalho proposto será também feito dos compartimentos em separado. É verificado o correto funcionamento do quadro em condições máximas, como por exemplo injetar corrente e averiguar os limites de temperatura apresentados pela norma e limites dos materiais utilizados. É permitido que haja uma elevação ponderada da temperatura do ar interna do invólucro, inferior a 30 °C e aquecimento dos terminais inferior a 70 °C.

Além do ensaio é permitido fazer outro método de verificação como comparação e avaliação, se desejado pelo fabricante original. É importante ter em consideração o comportamento desse Conjunto durante o ensaio pois devido ao campo eletromagnético pode ocasionar muitas vibrações.

8. Resistência a curto-circuito - (10.11)

Para o ensaio de resistência a curto-circuito é preciso ter atenção pois qualquer falha pode ser destrutiva para o Conjunto ensaiado. O teste é realizado através de contagem de tempo que o fornecedor do Conjunto contrata, por isso é importante ter cuidado uma vez que aplicada a corrente se houver falha, não é possível obter a aprovação e caso precise corrigi-la deve ser realizada dentro do tempo contratado no qual ocorrerá a repetição dos ensaios.

A finalidade deste é assegurar que no momento do curto-circuito não ocorra nenhum inconveniente nos isoladores e barramento e com isso não impulsionem a formação de um arco elétrico.

No momento que a corrente é elevada o seu fluxo tende a uma intensidade ilimitada, e gera campo eletromagnético que ocasiona um esforço no barramento conforme o sentido do fluxo da corrente, força essa de atração e repulsão, o que pode ocasionar arco elétrico.

No caso desta situação para o quadro modular de BT o teste será para corrente de curto-circuito de 50 kA/1s e corrente de pico de 105KA. Uma falha ocasionada por arco elétrico é tema também de outra norma a IEC 61641- Conjuntos de comutadores de baixa tensão e conjuntos de comandos - Guia para testes em condições de arco devido a falha interna.

9. Compatibilidade eletromagnética (CEM) - (10.12)

Este ensaio possui como objetivo a não produção de distúrbios eletromagnéticos no Conjunto no decorrer do seu funcionamento. Como no primeiro momento não será incorporado circuitos eletrônicos para este trabalho de dissertação proposto não será realizado essa verificação por ensaio.

4.2.2. VERIFICAÇÕES DE ROTINA

Além das verificações acima que podem ser realizadas através de teste, cálculo ou aplicação de regras há também as verificações de rotina, que podem ser concretizadas pelo fabricante original ou pelo quadrista, a depender da montagem e eletrificação do Conjunto final. Neste trabalho será realizado pelo fabricante original, uma vez que é responsável pela confecção do conjunto mecânica e eletricamente.

Esse tipo de teste possui como finalidade detectar defeitos de material, avarias de fabrico durante a produção do Conjunto e avaliar o correto funcionamento do mesmo. De acordo com a IEC 61439-1 é obrigatório a confirmação da verificação de rotina dos quadros de BT e também a documentação do mesmo. As verificações de rotina são divididas em 2 categorias, chamadas de construção e de performance[10].

✓ Construção

Os itens abaixo a serem mencionados são verificações de rotina que fazem parte dos requisitos de construção do Conjunto.

Grau de proteção – essa verificação é realizada através de averiguação visual, que passa por conferir se as medidas para conformidade com o grau de proteção designado foram implementadas, ou seja, verificação do resultado do ensaio e toda documentação envolvida.

Folgas e distâncias de escoamento – Há valores especificados de acordo com a IEC 61439-1 que correspondem as distâncias de folga recomendadas ou relativas a ensaios que devem ser realizados, como em algumas situações ensaio de tensão de impulso. Se na inspeção visual as distâncias forem muito superiores a recomendada, é preciso apenas anotar os valores, caso essa premissa não seja verdadeira é necessário a verificação por medição física da distância de folga ou por um ensaio de tensão de impulso. De maneira semelhante acontece com a distância de escoamento verificação por inspeção visual e se necessária a medição física.

Proteção contra choques elétricos e integridade dos circuitos de proteção- esta análise é realizada através de inspeção visual através de conferência de conexões aparafusadas nos circuitos de proteção e medidas previstas para proteção contra choques elétricos. É necessário os ensaios e documentações para verificação de rotina.

Incorporação de componentes- Este item é relativo aos componentes integrados e instalados no Conjunto que devem estar conforme especificado e com a verificação do resultado do ensaio e toda documentação envolvida.

Circuitos elétricos internos e conexões- é relativo as conexões internas, como por exemplo parafuso. Faz-se necessário que as ligações internas dos circuitos sejam testadas e exista documento comprovativo da produção.

Terminais para condutores externos – a inspeção visual deve ser feita para verificar se a identificação dos terminais, seu tipo e número, encontram-se de acordo com documentos da produção.

Operação mecânica – trata-se da verificação mecânica dos componentes, ou seja, fechos, fechaduras, atuadores, operar mecanicamente o disjuntor extraível, a depender do quadro em análise.

✓ Desempenho

Propriedades dielétricas - Esta verificação é realizada com a duração de menos de 1 segundo a tensão do Conjunto, no entanto se há circuitos dimensionado com a tensão menor, será realizado separadamente. Os circuitos que foram submetidos a ensaios à tensão nominal de funcionamento, de forma anterior, não precisam de ser testados.

Cablagem, desempenho operacional e funcional -Neste item é necessário averiguar as conformidades relativos a informação, documentação e marcação do Conjunto. Deve-se fazer um ensaio funcional e a verificação de funcionamento pode acontecer após a instalação do mesmo.

4.3. CONCLUSÃO

Neste capítulo foi possível salientar a importância dos aspetos normativos para o desenvolvimento e realização de um quadro elétrico modular de BT, que após a mudança da IEC 60439 para IEC 61439, passou a ter um melhor entendimento da responsabilidade de cada uma das partes envolvidas, fabricante original e quadrista, além de contribuir em alguns aspetos com opções de verificações disponíveis para a escolha do fabricante. Também foi possível compreender que a norma geral IEC 61439 menciona outras normas relativas a pormenores dos ensaios descritos na mesma, fazendo-se necessário o bom entendimento de ambas para realização dos ensaios e conferência de documentação posteriormente, verificação visual.

É perceptível que o fluxo do desenvolvimento de um quadro de BT é bastante complexo, pois do seu protótipo até a devida fabricação e certificação normativa são necessários meses e/ou anos. Neste âmbito foi demonstrado o fluxo atual de verificações de ensaios e verificações de rotina, conforme norma, com a finalidade de especificar sua relevância neste trabalho de dissertação. Logo essa secção demonstra o que será realizado após protótipo fabricado, conforme características mencionadas no capítulo 3 e a nível de pesquisa as necessidades relativas a testes e verificações para produção e certificação de um quadro modular elétrico de BT.

5. CONCLUSÕES

Um projeto preciso é importante para que sua realização seja satisfatória e com o mínimo de retrabalho possível. Por isso que uma boa definição na gestão do projeto de I&D passa a ser essencial para o sucesso do mesmo. No caso do presente trabalho de dissertação os objetivos propostos foram realizados, em um primeiro momento com a explanação teórica dos quadros elétricos modulares de baixa tensão e o que incorpora na sua essência para o bom entendimento dos passos seguintes. De seguida com os tópicos definidos para o desenvolvimento do novo protótipo, foi realizado a análise de mercado, que consta uma evolução crescente no âmbito dos quadros elétricos de BT, além de ser possível observar o posicionamento dos grandes fornecedores deste produto e a segmentação que atuam.

Com todas essas informações recolhidas e analisadas, antes da realização da simulação do protótipo em Solidworks foi averiguado o quadro elétrico modular já existente, na empresa em estudo, com a finalidade de ter uma melhor percepção do que havia sido feito anteriormente. E com o caso definido para a modularização e o esquema elétrico deste, foram realizados os estudos dos barramentos principais, conforme cálculos e normas previstas. Neste tópico foram confirmados que os valores dimensionados estavam de acordo após averiguação dos barramentos, esforços eletrodinâmicos, esforços térmicos e condição de ressonância.

Portanto, com a verificação anterior, a definição modular foi realizada através da unidade de medida U e por compartimentação, de acordo com equipamentos e estrutura vista no esquema elétrico. E em complemento, não apenas a definição funcional deste como as possíveis para os futuros protótipos da modularização em estudo. Por fim, sua viabilidade, através da demonstração dos custos de cada módulo delineado.

Ou seja, os objetivos propostos foram atingidos e finalizados com a identificação dos ensaios necessários para a certificação de conformidade do mesmo, após confecção. Portanto o aprofundamento técnico e normativo presente neste trabalho de dissertação foram essenciais e enriquecedores para minha atuação como profissional na área.

Trabalhos Futuros

Após a realização deste presente trabalho de dissertação, foi possível observar o estudo de caso exemplificativo de um esquema elétrico para quadros elétricos modulares de entrada de transformador de 2500A, alimentação trifásica com neutro e terra. Logo como tarefas futuras nesse âmbito é possível:

- ✓ Complementar essa abordagem e ampliar o campo de estudo, com quadros com função de saída, emergência e proteção e comando, por exemplo, e com uma capacidade maior de corrente nominal e curto-circuito;
- ✓ A realização dos ensaios mencionados no capítulo 4 de forma prática e os comentários das adequações realizadas para certificação;
- ✓ Como uma abordagem interessante e atual, a utilização de modularização na aplicação em quadros gerais de baixa tensão para alimentação de veículos elétricos, os quais devem seguir além da norma IEC a portaria nº 252, ano 2015, que trata da alimentação de veículos elétricos, secção 722 da RTIEBT.

ANEXOS

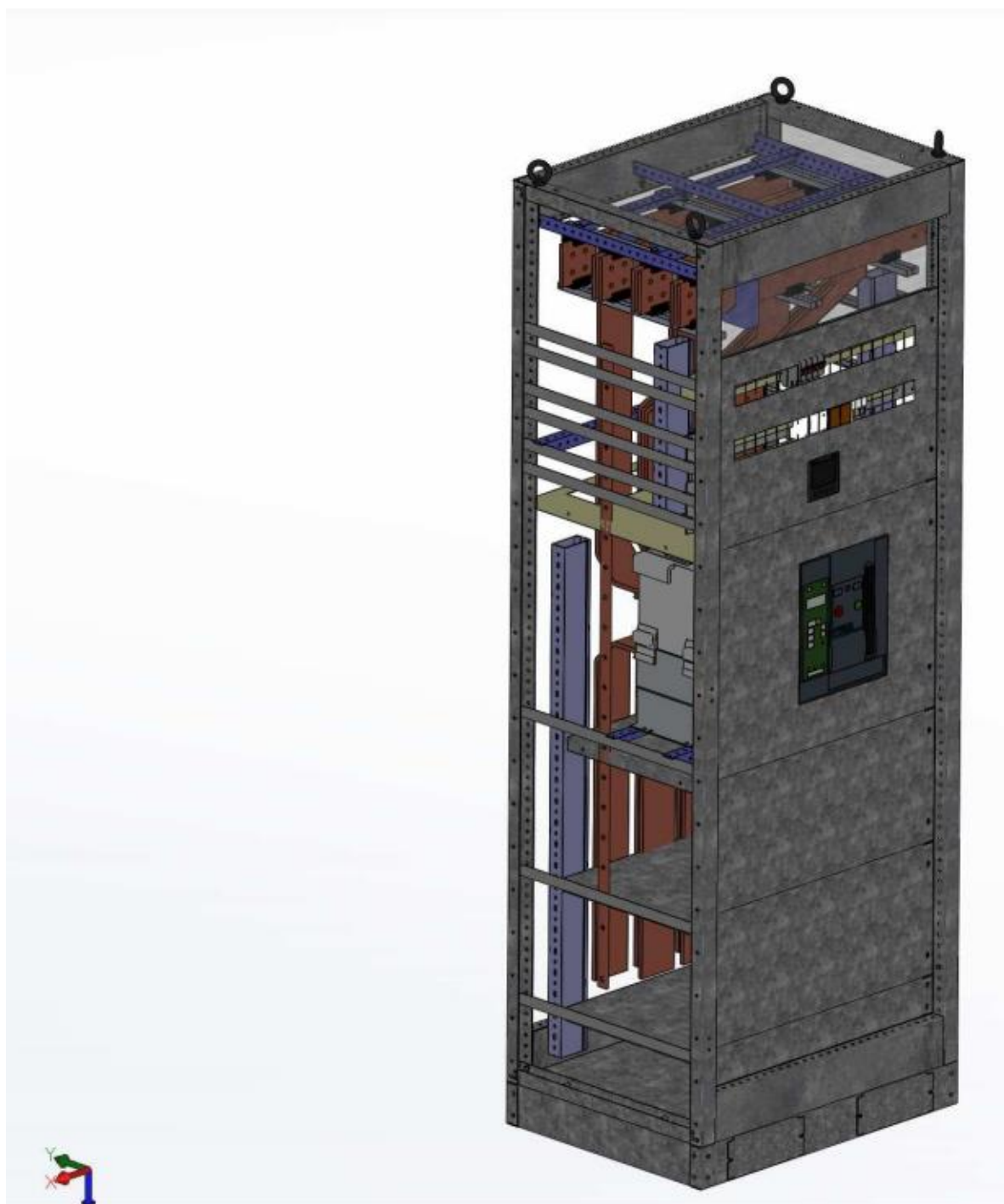
Quadro completo com porta e rodapé



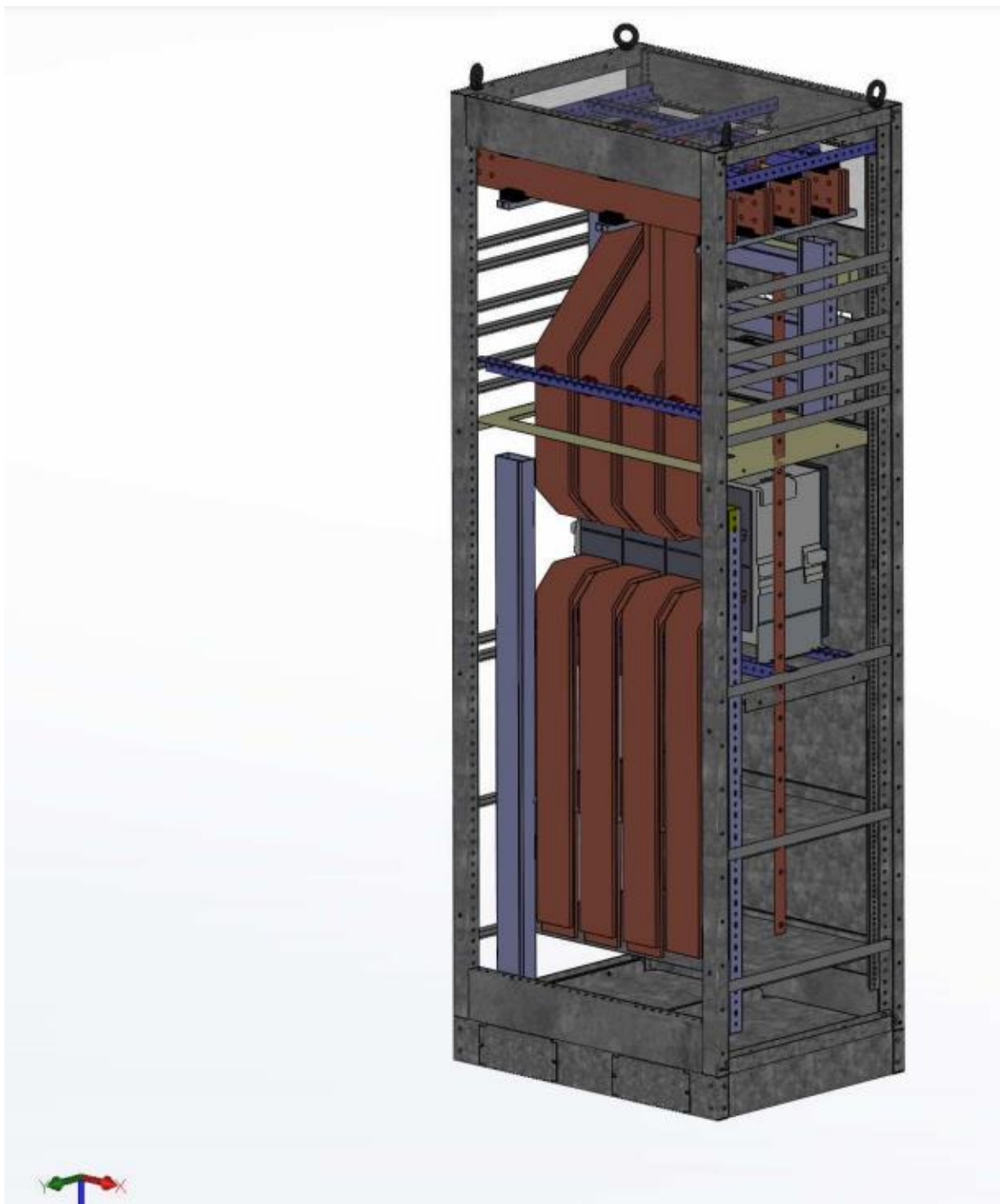
Quadro vista lateral sem porta



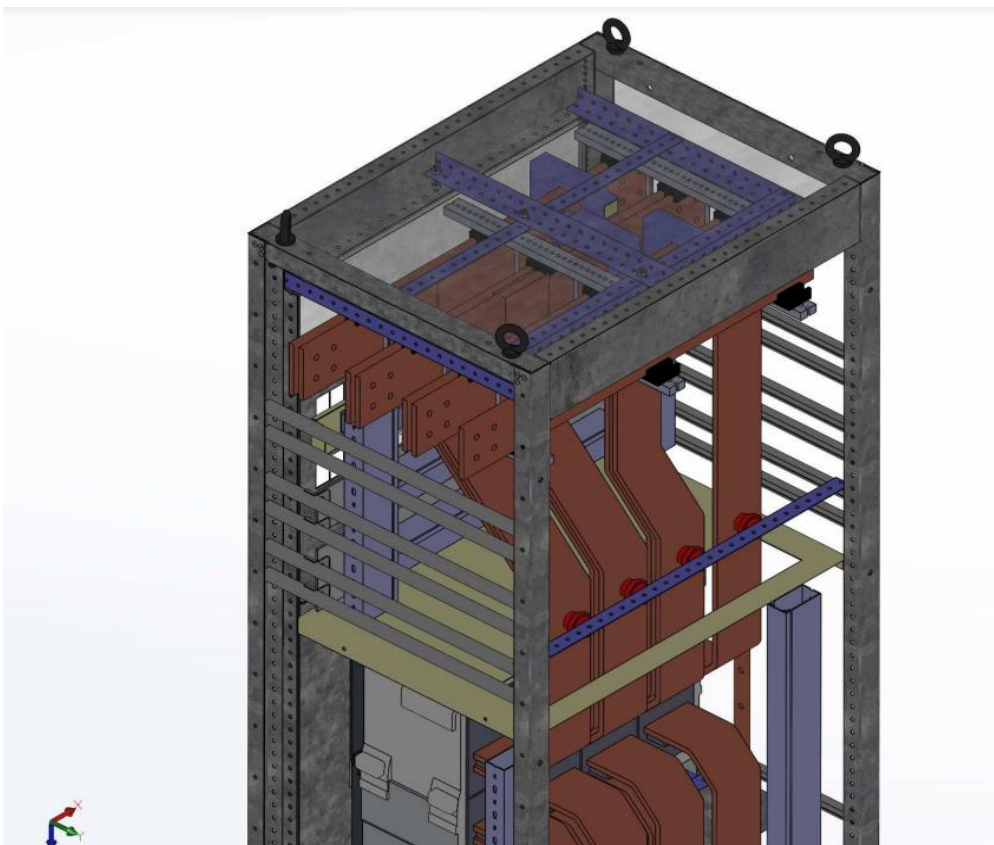
Quadro vista lateral



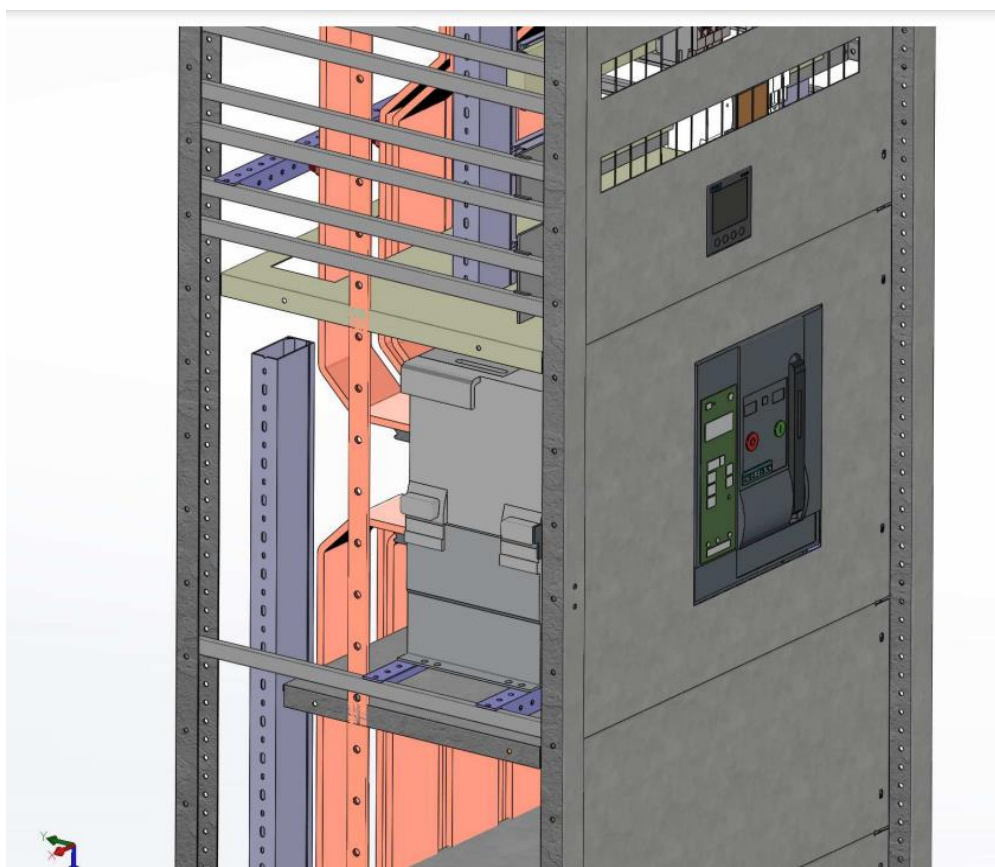
Quadro vista traseira



Compartimento de barramento e Compartimento de equipamentos modulares



Compartimento de Seccionamento



Compartimentos equipamentos MCCBs e compartimento de passagem de cabos



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] A. A. A. Gomes e J. A. B. Carvalho, *Instalações elétricas de média tensão*. Publindústria, 2017.
- [2] «História da JdC». <https://www.jaymedacosta.pt/institucional/historia-da-jdc/>
- [3] M. Assis Marcato, «A importância das Normas Técnicas na Engenharia», 12 de agosto de 2010. <https://www.institutodeengenharia.org.br/site/2010/08/12/a-importancia-das-normas-tecnicas-na-engenharia/>
- [4] «Purpose and History of Electrical Service Panels; Deaths and Injury Due to Electrical Fires and Accidents». <https://www.verobeachelectrical.com/2017/07/08/purpose-and-history-of-electrical-service-panels-deaths-and-injury-due-to-electrical-fires-and-accidents/>
- [5] International Electrotechnical Commission, International Electrotechnical Commission, e Technical Committee 17, *Empty enclosures for low-voltage switchgear and controlgear assemblies – General requirements*. 2011.
- [6] Imprensa Nacional - Casa da Moeda SA, *Regras técnicas das instalações elétricas de baixa tensão*, vol. 1019575. 2013.
- [7] EDP, *Quadro geral de baixa tensão R630 SIP*. 2018, p. 55.
- [8] P. A. D. Jacomé, «Apostila de instalações elétricas». UniFOA.
- [9] J. A. B. Carvalho, «Esquemas de ligação à terra e proteção das pessoas em instalações elétricas de baixa tensão», *Neutro À Terra*, n. 27, p. 9, semestre de 2021.
- [10] International Electrotechnical Commission, International Electrotechnical Commission, e Technical Committee 17, *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 1: General rules*, vol. 61439–1. 2011.
- [11] J. Mamede Filho, *Instalações elétricas industriais (9a. ed.)*. Rio de Janeiro: Grupo Gen - LTC, 2017. Acedido: 3 de agosto de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://public.ebookcentral.proquest.com/choice/publicfullrecord.aspx?p=4883439>
- [12] K. Schwab, *A quarta revolução industrial*. Edipro, 2019.
- [13] S. E. C. Moreira, «Potencial de Produção de Energia Eólica em Parques Offshore», *Neutro À Terra*, n. n. 11 (2013): Revista TécnicoCientífica (Primeiro Semestre), jun. 2013, doi: 10.26537/NEUTROATERRA.V0I11.480.

- [14] L. R. Carvalho, «Quadros Elétricos Inteligentes-Smart Panels», Dissertação de mestrado, ISEP, 2015.
- [15] «Voltimum», *A nova norma NP IEC 61439*. <https://www.voltimum.pt/artigos/artigos-tecnicos/nova-norma-np-iec-61439> (acedido 20 de julho de 2022).
- [16] ABB, «IEC 61439 -A norma para CONJUTOS Cablados de baixa tensão». 2010. [Em linha]. Disponível em: https://www.voltimum.pt/sites/www.voltimum.pt/files/pdflibrary/01_iec_61439_o_que_mudou.pdf
- [17] Siemens, «Safe power distribution, intelligent data and process management Totally Integrated Power – SIVACON S8 low-voltage switchboard». [Em linha]. Disponível em: <https://pdf.directindustry.com/pdf/siemens-low-voltage-power-distribution/sivacon-s8/25580-637466.html>
- [18] ABB, «Quadros Elétricos ABB e a nova norma IEC 61439». [Em linha]. Disponível em: https://d20g1hcwzqzdk.cloudfront.net/sites/www.voltimum.pt/files/fields/attachment_file/pt/others/L/201101313574.pdf
- [19] ABB, «Guidelines to the construction of a low-voltage assembly complying with the Standards IEC 61439 Part 1 and Part 2». 2015. [Em linha]. Disponível em: <https://library.e.abb.com/public/851c5f31e1c142e89adc271788b45bbb/1SDC007110G0203.pdf>
- [20] Jayme da Costa, «Especificação técnica QUELMOD». 2022.
- [21] «ABS plastic electrical distribution box for wall mounting with 54 modules». <https://cablematic.com/en/products/abs-plastic-electrical-distribution-box-for-wall-mounting-with-54-modules-DD046/>
- [22] PGS LIMITED, «BUSBAR TRUNKING SYSTEM», 2022. <https://pgsltdbd.com/2019/02/10/busbar-trunking-system/>
- [23] Rittal, «Graus de proteção IP Graus de proteção de acordo com IEC 60 529 (EN 60 529)». https://www.rittal.com/pt-pt/content/pt/support/technischeswissen/qminformiert/schutzarten/ip/ip_1.jsp (acedido 25 de julho de 2022).
- [24] International Electrotechnical Commission e Technical Committee 82, *Low-voltage switchgear and controlgear assemblies – Part 2: Power switchgear and controlgear assemblies*, vol. 61439–2. 2009.
- [25] N. Graziano, «Especificação de Painéis Elétricos segundo a NBR IEC 61439.», Cinase, congresso e exposição.
- [26] D. L. Lima Filho, *Projetos de Instalações Elétricas Prediais*. São Paulo: Érica, 2011.

- [27] J. A. Carvalho, «Protecção das Pessoas em Instalações Eléctricas de Baixa Tensão: Cálculo dos Dispositivos de Protecção.», *Neutro À Terra*, n. 4, jun. 2009, [Em linha]. Disponível em: <https://doi.org/10.26537/neutroaterra.v0i4.300>
- [28] International Electrotechnical Commission, *Protection against electric shock – Common aspects for installations and equipment*, vol. IEC 61140. 2016.
- [29] A. A. A. Gomes, *Instalações Eléctricas de Baixa Tensão – Canalizações Eléctricas*, 2ª edição. Publindústria, 2015.
- [30] B. Lacroix e R. Calvas, «Los esquemas de conexión a tierra en BT (régimenes de neutro)- Cuaderno Técnico», vol. 172, set. 1998.
- [31] Schneider Electric, «Norma IEC 61439-1 & 2- A referência em segurança e fiabilidade em quadros eléctricos de baixa tensão». 2012. [Em linha]. Disponível em: www.schneider-electric.com/pt
- [32] «Power distribution for the digital world», junho de 2022. <https://new.siemens.com/global/en/products/energy/low-voltage/systems/s8-power-distribution-boards.html>
- [33] J. R. S. Fialho, «Avaliação de Projetos de investigação e desenvolvimento na área de telecomunicações», Universidade de Coimbra.
- [34] «Markets and Markets». <https://www.marketsandmarkets.com/>
- [35] «Switchboard and switchgear configurations». <https://www.logstrup.com/modular-system/logstrup-switchboards/> (acedido 10 de setembro de 2022).
- [36] «Panelboards». Acedido: 20 de setembro de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://www.eaton.com/gb/en-gb/products/low-voltage-power-distribution-control-systems/panelboards.html>
- [37] «Análise do Comércio Externo do Setor Elétrico e Eletrónico Janeiro – Setembro 2021», Serviço de Economia e Associativismo- ANIMEE. [Em linha]. Disponível em: https://app.animee.pt/images/animee/Economia/CExt_3T_2021.pdf
- [38] Legrand, «Um conjunto completo de documentação técnica- barramentos e distribuição».
- [39] M. Leandro, «Cálculo dos barramentos». Acedido: 5 de setembro de 2022. [Em linha]. Disponível em: <https://pt.scribd.com/doc/36422323/calculo-dos-barramentos>
- [40] D. Nunes, K. Barbanti, e R. Poltl, «SOFTWARE DE DIMENSIONAMENTO DE ISOLADORES E BARRAMENTOS PARA PAINÉIS DE DISTRIBUIÇÃO». [Em linha]. Disponível em: https://nupet.daelt.ct.utfpr.edu.br/tcc/engenharia/doc-equipe/2012_1_24/2012_1_24_monografia.pdf
- [41] «WBX Racks». <https://wbxracks.com.br/o-que-e-u-unidade-de-rack/> (acedido 14 de setembro de 2022).