



**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**Licenciatura em Engenharia Eléctrica**

**DIMENSIONAMENTO DE DOIS PAINÉIS ELÉCTRICOS DE CORTE EXTERIOR DE  
110KV (IN AND OUT) PARA A DERIVAÇÃO (T-OFF) DA SUBESTAÇÃO DE XINAVANE  
NA LINHA CL1**

Autora:

Emílio, Esmera Benjamim

SUPERVISORES:

Supervisor da UEM: MSc, Eng. Fernando Chachaia

Supervisor da instituição: Eng. Adriano Mandlate

Maputo, Junho de 2024



**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**Licenciatura em Engenharia Eléctrica**

**DIMENSIONAMENTO DE DOIS PAINÉIS ELÉCTRICOS DE CORTE EXTERIOR DE  
110KV (IN AND OUT) PARA A DERIVAÇÃO (T-OFF) DA SUBESTAÇÃO DE XINAVANE  
NA LINHA CL1**

Autora:

Emílio, Esmera Benjamim

SUPERVISORES:

Supervisor da UEM: MSc, Eng. Fernando Chachaia

Supervisor da instituição: Eng. Adriano Mandlate

Maputo, Junho de 2024

Emílio, Esmera Benjamim

Relatório de Estágio Profissional

**DIMENSIONAMENTO DE DOIS PAINÉIS ELÉTRICOS DE CORTE EXTERIOR DE  
110KV (IN AND OUT) PARA A DERIVAÇÃO (T-OFF) DA SUBESTAÇÃO DE XINAVANE  
NA LINHA CL1**

Relatório apresentado ao Departamento de Engenharia Electrotécnica, Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane como parte dos requisitos para conclusão do relatório de Estágio Profissional, no curso de Licenciatura em Engenharia Eléctrica.

Supervisores:

MSc, Eng. Fernando Chachaia

Eng. Adriano Mandlate

Maputo, Junho de 2024

## DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu Esmera Benjamim Emílio, estudante do curso de Licenciatura em Engenharia Eléctrica na Faculdade de Engenharia da Universidade Eduardo Mondlane, declaro por minha honra que este trabalho é da minha autoria, sendo resultado dos conhecimentos adquiridos ao longo da minha formação, investigação e orientação dos meus supervisores. O conteúdo do presente trabalho é original e todos os documentos consultados estão devidamente identificados na bibliografia.

Maputo, Junho de 2024

Esmera Benjamim Emílio  
( Esmera Benjamim Emílio )

## **DEDICATÓRIAS**

Dedico este trabalho aos meus pais Benjamim Emílio Júnior e Essita Pedro Sithole.

## **AGRADECIMENTOS**

Este trabalho representa o encerramento de um longo e árduo caminho de dedicação e estudos. Agradeço primeiramente a Deus por me proporcionar este momento tão sonhado em minha vida, por diversas vezes me senti cansada, más graças a Ele pude perseverar e vencer os obstáculos e assim conquistar meus objectivos acadêmicos.

Agradeço também aos meus pais, Benjamim e Essita, que me apoiaram e me incentivaram em toda minha vida, me dando forças e confiando em mim e aos meus irmãos pela cumplicidade e motivação.

O meu especial agradecimento aos meus supervisores, Eng. Fernando Chachaia, Eng. Adriano Mandlate e Eng. Teodato Cossa, pela orientação nas atividades desenvolvidas durante o período de estágio profissional e na contribuição para que o presente trabalho pudesse ser realizado.

Especial agradecimento a todos os docentes da Faculdade de Engenharia da UEM, principalmente aos docentes do Departamento de Engenharia Electrotécnica.

Agradeço aos meus amigos e colegas, que de forma directa ou indirecta contribuíram para a conclusão dessa etapa importante.

A todos, meu muito obrigada!

## RESUMO

Garantir o fornecimento de energia eléctrica de forma eficiente e segura é fundamental no sistema eléctrico de potência, pois, estes sistemas abrangem toda a infraestrutura necessária para gerar, transmitir e distribuir energia eléctrica. A crescente demanda por energia eléctrica e a complexidade das redes de transmissão exigem soluções eficazes para assegurar a continuidade e a qualidade no fornecimento de energia eléctrica. Neste contexto, a implementação de painéis eléctricos de corte em pontos de torna-se essencial para a operação eficiente e confiável do sistema eléctrico.

O presente trabalho destina-se ao dimensionamento de dois painéis eléctricos de corte exterior de entrada e saída (In and Out) para um ponto de derivação (T-Off) na linha CL1 para a subestação de Xinavane, para garantir o fornecimento de energia eléctrica de forma eficiente e segura. Para isso, a metodologia combina uma pesquisa bibliográfica e quantitativa detalhada para revisar estudos relevantes a respeito do conteúdo abordado e colecta de dados através de entrevistas e análise de documentos como relatórios técnicos anteriores e base de dados da linha de transmissão em estudo.

O trabalho inclui a definição de conceitos básicos relacionados ao tema e dimensionamento dos equipamentos que compõem o painel de corte, que envolve a determinação das características e especificações técnicas necessárias para garantir que os painéis atendam adequadamente as exigências operacionais e de segurança no sistema eléctrico, utilizando ferramentas como AutoCAD para a concepção de desenhos técnicos e layouts dos equipamentos nos painéis eléctricos e o Excel para a organização e análise de dados.

Esse projecto visa fornecer uma solução técnica para pontos de derivação em linhas de transmissão, contribuindo para a melhoria da segurança e eficiência operacional da rede eléctrica.

**Palavras chave:** Painel eléctrico, Subestação, T-Off, In and Out.

## SUMMARY

Ensuring the supply of electricity in an efficient and safe way is fundamental in the electrical power system, as these systems cover all the infrastructure necessary to generate, transmit and distribute electricity. The growing demand for electricity and the complexity of transmission networks require effective solutions to ensure continuity and quality in the supply of electricity. In this context, the implementation of electrical cutting panels at cutting points becomes essential for the efficient and reliable operation of the electrical system.

The present work is intended for the design of two electrical panels of external cut-off of input and output (In and Out) for a branch point (T-Off) on the CL1 line for the Xinavane substation, to ensure the supply of electricity in an efficient and safe way. To this end, the methodology combines a detailed bibliographic and quantitative research to review relevant studies regarding the content covered and collects data through interviews and analysis of documents such as previous technical reports and the database of the transmission line under study.

The work includes the definition of basic concepts related to the theme and sizing of the equipment that makes up the cutting panel, which involves the determination of the characteristics and technical specifications necessary to ensure that the panels adequately meet the operational and safety requirements in the electrical system, using tools such as AutoCAD for the design of technical drawings and equipment layouts on electrical panels and Excel for data organization and analysis.

This project aims to provide a technical solution for branch points in transmission lines, contributing to the improvement of the safety and operational efficiency of the electricity grid.

**Keywords:** Electrical panel, Substation, T-Off, In and Out.

## ÍNDICE

1. CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO .....	1
1.1. Formulação do problema.....	1
1.2. Justificação.....	2
1.3. Objectivos.....	2
1.3.1. Objectivo geral.....	2
1.3.2. Objectivos específicos .....	2
1.4. Metodologia.....	3
1.5. Extrutura do texto .....	3
2. CAPÍTULO II – VISÃO GERAL DO ESTÁGIO PROFISSIONAL .....	5
2.1. Considerações iniciais.....	5
2.2. Apresentação da subestação de Infulene – Matola.....	5
2.2.1. Departamento de equipamento de potência .....	6
2.2.2. Departamento de linhas e infraestruturas .....	7
2.2.3. Departamento de subestações .....	7
3. CAPÍTULO III – REVISÃO DE LITERATURA .....	8
3.1. Linhas de transmissão.....	8
3.2. Painel eléctrico .....	11
3.2.1. Classificação dos painéis eléctricos.....	11
3.3. Equipamentos do painel eléctrico.....	13
3.3.1. Para-raios .....	13
3.3.2. Disjuntor de potência .....	15
3.3.3. Seccionador .....	18
3.3.4. Transformador de corrente .....	21
3.3.5. Transformador de potencial .....	23
3.3.6. Barramento .....	25
3.4. Relés de protecção.....	27
3.4.1. Funções principais dos relés de protecção .....	29

3.4.2. Relé de distância .....	30
4. CAPÍTULO IV – DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO .....	34
4.1. Descrição do projecto .....	34
4.2. Características da linha .....	35
4.3. Dimensionamento dos equipamentos .....	35
4.3.1. Dimensionamento do para-raios .....	36
4.3.2. Dimensionamento Disjuntor de potência .....	37
4.3.3. Dimensionamento do seccionador .....	37
4.3.4. Dimensionamento transformador de corrente .....	38
4.3.5. Dimensionamento transformador de potencial .....	39
4.3.6. Dimensionamento do barramento .....	40
4.3.7. Ajuste do relé .....	43
4.4. Esquema unifilar do projecto .....	45
4.5. Estimativa de custo .....	47
5. CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	48
5.1. Conclusão .....	48
5.2. Recomendações .....	49
6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	50
7. ANEXO .....	52

## LISTA DE ABREVIACOES E SIGLAS

ANSI	American National Standards Institute
BL	Linhas com nível de tenso igual  275 kV
CL	Linhas com nível de tenso igual  110 kV
DL	Linhas com nível de tenso igual  66 kV
IEC	Internacional Electrical Comission
LT	Linha de Transmisso
MVL	Móvel
p.u.	Por unidade
Qtd	Quantidade
RTC	Relao de transformao de corrente
RTP	Relao de transformao de potencial
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
SE	Subestao eléctrica
SF6	Hexafluoreto de enxofre
SiO	Carboneto de Silício
TC	Transformador de corrente
TP	Transformador de potencial
TPC	Transformador de potencial capacitivo
TPI	Transformador de potencial indutivo
T-Off	Ponto de derivao
UEM	Universidade Eduardo Mondlane
ZnO	xido de Zinco

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Vista a satélite da Subestação de Infulene (Fonte: Google earth, 2024).....	5
Figura 2: Representação do sistema eléctrico de potência (Fonte: Silva, 2020) .....	8
Figura 3: Ilustração de um ponto de derivação (Fonte: O Autor, 2024) .....	10
Figura 4: Exemplo de um painel eléctrico exterior (Fonte: O Autor, 2024) .....	11
Figura 5: Para-raios e o respectivo símbolo (Fonte: O Autor, 2024) .....	13
Figura 6: Disjuntor a SF6 e respectivo símbolo (Fonte: O Autor, 2024) .....	15
Figura 7: Seccionador e respectivo símbolo (Fonte: O Autor, 2024) .....	18
Figura 8: Transformador de corrente e respectivo símbolo (Fonte: O Autor, 2024) .....	21
Figura 9: Transformador de tensão e respectivo símbolo (Fonte: Santos, 2018) .....	23
Figura 10: Barramento tubular rígido (Fonte: Cormec, 2020) .....	26
Figura 11: Diagrama esquemático de um sistema de protecção típico (fonte: Pereira, 2018) .....	27
Figura 12: Zonas de protecção do relé de distância (Fonte: Cruz, 2013).....	31
Figura 13: Tempo de atuação do relé de distância (Fonte: Cruz, 2013).....	32
Figura 14: Representação da configuração actual (Fonte: O Autor, 2024) .....	34
Figura 15: Representação da configuração com os painéis de In and Out (Fonte: O Autor, 2024) .....	34
Figura 16: Figura 17: Ilustração das zonas de protecção dos relés (Fonte: O Autor, 2024) .....	45
Figura 17: Esquema unifilar do projecto (Fonte: O Autor, 2024) .....	46

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 : Dados da linha de transmissão (Fonte: O Autor, 2024).....	35
Tabela 2: Especificações do para-raios (Fonte: O Autor, 2024) .....	36
Tabela 3: Especificações do disjuntor (Fonte: O Autor, 2024).....	37
Tabela 4: Especificações do seccionador (Fonte: O Autor, 2024).....	38
Tabela 5: Especificações do transformador de corrente (Fonte: O Autor, 2024).....	39
Tabela 6: Especificações do transformador de potencial (Fonte: O Autor, 2024).....	40
Tabela 7: Dados de entrada do barramento (Fonte: O Autor, 2024) .....	40
Tabela 8: Estimativa de custo (Fonte: O Autor, 2024): .....	47

## **ANEXO**

ANEXO 1: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PARA-RAIOS .....	A1.1
ANEXO 2: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ELEMENTOS DE PROTECÇÃO E SECCIONAMENTO .....	A2.2
ANEXO 3: RELAÇÕES NOMINAIS DOS TRANSFORMADORES DE MEDIDA.....	A3.3
ANEXO 4: PARAMEROS PARA DIMENSIONAMENTO DO BARRAMENTO .....	A4.4
ANEXO 5: DISANCIAS MINIMAS PARA INSALACOES EXERIORES .....	A5.6
ANEXO 6: CARGAS PREVISTAS PARA OS TRANSFORMADORES DE MEDIDA	A6.7
ANEXO 7: FUNÇÕES ANSI .....	A7.8
ANEXO 8: ACTA DE ENCONTROS REGULARES.....	A8.11
ANEXO 9: RELATÓRIO DE PROGRESSO .....	A9.14
ANEXO 10: MODELO ICÓNICO DOS PAINÉIS .....	A10.15

# 1. CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

A energia eléctrica é um recurso de fundamental importância para o desenvolvimento económico e social de um país. Portanto existe uma necessidade de garantir um alto grau de confiabilidade e continuidade na geração, transmissão, distribuição e utilização de energia eléctrica.

Em Moçambique os principais pontos de geração de energia eléctrica encontram-se distantes dos pontos de consumo, assim o transporte é realizado em vários níveis de tensão fazendo com que as linhas tenham maior complexidade funcional e estrutural.

Em geral as linhas de transmissão de energia possuem longas distâncias e por vezes estas possuem pontos de derivação (T-OFF) ao longo da sua extensão para alimentação de outras subestações que são instaladas próximas das linhas, assim torna-se necessário que estes pontos de derivação (T-OFF) sejam realizados de forma mais confiável. Um dos métodos seria a aplicação de painéis de corte exterior que consiste em um conjunto de equipamentos de manobra, corte, protecção e medição que proporciona a confiabilidade do sistema. Diante do exposto, o presente trabalho será desenvolvido com objectivo de dimensionar dois painéis de corte exterior de 110 kV (In and Out) para a derivação (T-OFF) da subestação de Xinavane na linha CL1.

## 1.1. Formulação do problema

A CL1 é uma linha de transmissão de 110KV, com uma potência máxima instalada de 99MVA que parte da subestação de Infulene até a subestação da Macia, possuindo ao longo da sua extensão um ponto de derivação (T-OFF) para alimentar a subestação de Xinavane. Actualmente este ponto de derivação (T-OFF) é realizada de forma directa, isto é, sem qualquer equipamento de protecção, o que em caso de ocorrência de um defeito a jusante do ponto de derivação (T-OFF) haverá uma alimentação continua ao defeito ou ainda pode se dar o desligamento da linha CL1, retirando deste modo a alimentação das subestações que são alimentadas pela linha CL1, culminando assim em perdas económicas por parte da concessionária de energia e vários prejuízos para os consumidores que se beneficiam desta subestação. Tendo em conta este cenário, surge a pergunta de partida: **Como melhorar o ponto de derivação (T-OFF) na linha CL1 para alimentar a subestação de Xinavane?**

## **1.2. Justificação**

O desenvolvimento social e económico de uma nação tem uma forte relação com o sector eléctrico, o que torna a energia eléctrica e suas diversas aplicações indispensáveis à sociedade moderna. Portanto, torna-se necessário sistemas que consigam levar essa energia dos pontos de geração até os pontos de consumo, da forma mais segura possível, pois um bom funcionamento das linhas eléctricas traz melhores resultados e benefícios aos consumidores assim como para a concessionária de energia eléctrica. Deste modo, no presente trabalho procura-se com base no dimensionamento de dois painéis de corte exterior de 110kV (In and Out) para a derivação (T-OFF) da subestação de Xinavane ao longo da linha CL1 realizar a transmissão de energia eléctrica com eficiência e confiabilidade, a partir de uma nova configuração no ponto de derivação, sendo a entrada interligada a SE Infulene e a saída interligada a SE Macia.

## **1.3. Objectivos**

### **1.3.1. Objectivo geral**

Dimensionar dois painéis de corte exterior de 110kV (In and Out) para a eliminação da derivação (T-OFF) da subestação de Xinavane na linha CL1

### **1.3.2. Objectivos específicos**

- Apresentar o diagrama unifilar da Subestação de Xinavane com a integração dos dois painéis de corte (In and Out);
- Dimensionar os equipamentos que compõe o painel eléctrico;
- Recalcular os parâmetros eléctricos dos dois troços da linha na nova configuração;
- Dimensionar as protecções para cada troço de linha;
- Ilustrar o layout dos equipamentos integrantes na instalação.
- Elaborar uma estimativa de custo dos materiais integrantes na instalação;

## 1.4. Metodologia

Para a elaboração do presente trabalho, será realizada os seguintes procedimentos metodológicos:

- **Pesquisa bibliográfica:** nesta etapa serão realizadas pesquisas bibliográficas em livros e artigos, pertinentes ao conteúdo abordado, com o intuito de obter o máximo de informações necessárias para a composição da parte teórica e ao desenvolvimento do presente trabalho.
- **Pesquisa de campo:** nesta etapa serão colectados dados do local por meio de observação e dados referentes a actual linha.

## 1.5. Extrutura do texto

### CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO

Neste capítulo é apresentado o trabalho em linhas gerais, onde faz-se uma introdução ao tema, a formulação do problema, a justificativa para a sua realização, os objectivos que se pretende alcançar, a metodologia a ser aplicada para o alcance dos mesmos e a extrutura geral do trabalho.

### CAPÍTULO II – VISÃO GERAL DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

Neste capítulo é introduzido uma apresentação geral da instituição onde decorreu o estágio profissional (Subestação de Infulene -Matola), sua constituição, missão, visão e a descrição das principais actividades executadas durante o período que decorreu o estágio profissional.

### CAPÍTULO III – REVISÃO DE LITERATURA

Neste capítulo é feito a apresentação de todo referencial teórico, que consistiu na colecta de informações de diversas normas técnicas, livros, artigos científicos e teses com vista a reunir informações suficientes para a concepção do presente trabalho.

### CAPÍTULO IV – DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO

Neste capítulo faz-se a apresentação da solução proposta para a resolução do problema apresentado na parte introdutória do projecto. São levantados todos os requisitos funcionais e especificações técnicas do projecto. Procura-se neste capítulo apresentar

as especificações técnicas dos materiais e equipamentos a serem empregues para a implementação do projecto, e por fim apresenta-se uma avaliação económica.

## CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Neste capítulo apresenta-se a conclusão e recomendações para o desenvolvimento de trabalhos futuros relacionados ao tema.

## 2. CAPÍTULO II – VISÃO GERAL DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

### 2.1. Considerações iniciais

Nesse capítulo será apresentada a instituição onde se realizou o estágio profissional, bem como os departamentos que compõem a instituição e as principais actividades desempenhadas em cada um desses departamentos.

### 2.2. Apresentação da subestação de Infulene – Matola

A subestação de Infulene localiza-se em Maputo na cidade da Matola, no bairro com o mesmo nome (Infulene) próximo a zona verde. É uma das mais antigas subestações de Moçambique e um dos principais pontos de abastecimento de energia eléctrica para a zona sul de Moçambique, desempenhando um papel muito importante na economia nacional.



Figura 1: Vista a satélite da Subestação de Infulene (Fonte: Google earth, 2024)

Existem três níveis de tensão na subestação de Infulene: 275 kV, 110 kV e 66 kV. Estando cada um destes níveis de tensão equipado com barramentos duplos com intuito de garantir uma maior continuidade de serviço.

A subestação esta equipada por:

- Três transformadores de 275/66 kV com potências de 2x250 MVA e 60 MVA;
- Dois transformadores de 110/66 kV com potências 30 MVA.

A subestação de Infulene tem duas linhas de chegada de 275 kV denominadas por BL1 e BL2. A linha BL1 provém da subestação de subestação da Matola 275 e a linha BL2 da subestação de Ressano Garcia. De referir que esta subestação esta interligada a central de Corumana a partir da linha CL4.

A subestação de Infulene é constituída por três (3) departamentos, nomeadamente:

- Departamento de equipamento de potência
  - Transformadores e equipamento de compensação;
  - Equipamento de corte.
  
- Departamento de linhas e infraestruturas
  
- Departamento de subestações
  - Operação de rede;
  - Protecções;
  - Telecomunicações e SCADA.

### **2.2.1. Departamento de equipamento de potência**

O departamento de equipamento de potência é responsável pelos equipamentos eléctricos de grande porte, como transformadores, disjuntores e demais equipamentos.

Este desempenha actividades como:

- Instalação de equipamentos de potência;
- Teste e ensaios de equipamentos para garantir conformidade com padrões de segurança e desempenho;
- Manutenção preventiva e correctiva de equipamentos para garantir o seu funcionamento confiável;
- Gerenciamento de projectos relacionados a instalação e operação de equipamentos de potência.

### **2.2.2. Departamento de linhas e infraestruturas**

O departamento de linhas e infraestruturas é responsável pela operação e manutenção das infraestruturas das linhas de transmissão, as suas principais actividades incluem:

- Construção e manutenção das linhas de transmissão;
- Inspeção regular das linhas para identificar e corrigir problemas de segurança e desempenho;
- Reparo e substituição de torres, condutores, isoladores e outros componentes das linhas;
- Atendimento de emergências em caso de queda de torres e linhas.

### **2.2.3. Departamento de subestações**

O departamento de subestações é responsável por garantir a segurança dos equipamentos eléctricos e a integridade da rede eléctrica, bem como zelar pelas infraestruturas de comunicação, sistemas de controle e monitoramento remoto da subestação. Suas principais actividades incluem:

- Projecto e implementação de redes de comunicação para conectar dispositivos da subestação, como relés de protecção e sensores ao sistema SCADA;
- Configuração e manutenção do sistema SCADA para monitorar e controlar remotamente os equipamentos da subestação;
- Monitoramento continuo da rede eléctrica e dos equipamentos da subestação para identificar eventos anormais;
- Selecção e configuração de relés de protecção para os equipamentos da subestação, como transformadores, disjuntores e linhas de transmissão.

### 3. CAPÍTULO III – REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1. Linhas de transmissão

Os Sistemas Elétricos de Potência são necessários para que a energia elétrica produzida possa ser consumida em locais distantes da sua produção. São sistemas robustos, que contêm equipamentos de custos elevados e através destes, transportam-se grande quantidade de energia elétrica até os centros de consumo. Como a potência transmitida nestes sistemas é sempre elevada, faz-se necessário utilizar de altas tensões para diminuir as perdas elétricas.

As linhas de transmissão são componentes essenciais do sistema elétrico de potência, responsáveis por transportar energia elétrica de centros de geração até os centros de consumo. Consiste em uma estrutura composta por condutores e equipamentos que transporta energia elétrica de um ponto para outro, geralmente entre uma central geradora e uma subestação, ou entre subestações.

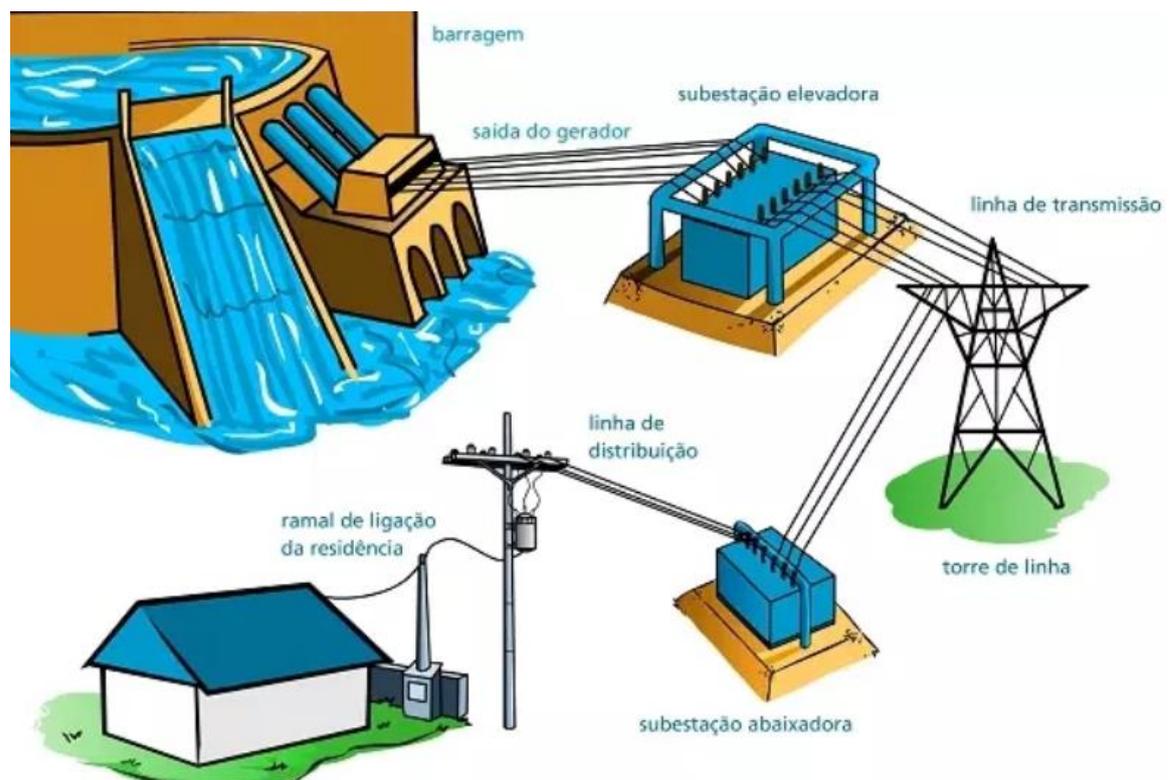


Figura 2: Representação do sistema elétrico de potência (Fonte: Silva, 2020)

As linhas de transmissão operam em diferentes níveis de tensão, geralmente altas tensões para minimizar as perdas durante o transporte. Assim, a importância desta componente pode ser avaliada em vários aspectos:

➤ **Transporte de energia em longas distâncias**

As linhas de transmissão são projectadas para transportar energia em alta tensão por longas distâncias, do ponto de geração até as subestações e centros de distribuição.

➤ **Eficiência no transporte de energia**

As linhas de transmissão operam em alta tensão, o que reduz as perdas de energia ao longo do percurso, permitindo assim a entrega de electricidade nos pontos de consumo de forma confiável e com menores perdas;

➤ **Interconexão e flexibilidade do sistema eléctrico**

Elas possibilitam a interconexão entre diferentes partes do sistema eléctrico, permitindo que a energia seja transferida de um ponto para outro conforme a necessidade. Aumentando assim a flexibilidade operacional do sistema e garantindo que este responda a flutuações na oferta e demanda.

➤ **Estabilidade do sistema eléctrico**

As linhas de transmissão contribuem para a estabilidade do sistema eléctrico, facilitando o fluxo de energia em diferentes pontos e permitindo a transferência de energia entre áreas com excesso de geração a áreas com alta demanda, aumentando a confiabilidade do sistema especialmente em momentos de alta demanda ou quando surgem problemas em uma parte do sistema, evitando a ocorrência de sobrecarga e interrupções no fornecimento.

➤ **Redução de custos e benefícios para os consumidores**

A capacidade de transportar energia eficientemente reduz custos para as empresas de energia, que por sua vez podem ser repassadas aos consumidores. Pois uma rede eficaz contribui para um sistema eléctrico mais acessível e confiável.

O surgimento de novos pontos de consumo impulsiona a expansão de infraestruturas de transmissão eléctrica, levando ao estabelecimento de pontos de derivação (T-off) nas linhas para permitir adicionar novas subestações.

O ponto derivação (T-off) em uma linha de transmissão refere-se a um ponto de conexão onde uma linha secundaria se conecta a linha principal. É um ponto onde parte da

energia que esta sendo transportada é direccionada para diferentes destinos, como subestações ou outros sistemas de distribuição, sem interromper o fluxo principal ao longo da linha de transmissão.



*Figura 3: Ilustração de um ponto de derivação (Fonte: O Autor, 2024)*

Estes pontos derivação (T-off) devem ser implementados por meio de equipamentos de protecção adequada. Pois um ponto derivação (T-off) sem protecção adequada pode ter vários impactos negativos no sistema eléctrico, afectando tanto segurança quanto a confiabilidade do sistema.

Assim sendo, um ponto de derivação onde a energia é desviada sem a presença de dispositivos de protecção representa um risco a integridade da linha de transmissão e ao fornecimento de energia para áreas conectadas a essa derivação.

Algumas das principais consequências de ponto de derivação (T-off) sem protecção são:

➤ **Risco de falha e curto-circuitos**

Um ponto derivação (T-off) sem protecção pode aumentar o risco de falhas eléctricas ou curto-circuitos. Sem protecção, um curto-circuito em um ramal pode afectar a linha de transmissão principal, levando a interrupção ou danos a outros componentes do sistema;

➤ **Dificuldade em isolar falhas**

Um dos principais benefícios de dispositivos de protecção em ponto derivação (T-off) é a capacidade de isolar falhas. Pois sem a protecção uma falha em um ponto pode se espalhar para outras partes do sistema, resultando em uma interrupção no fornecimento de energia em todas as cargas conectadas na linha.

## 3.2. Painel eléctrico

Um painel eléctrico genericamente compreende um conjunto de dispositivos de manobra associados a equipamentos de protecção, comando, medição e controle complementados por acessórios instalados internamente a um cubículo normalmente metálico dotado de estruturas de suporte (Mamede, 2013).



*Figura 4: Exemplo de um painel eléctrico exterior (Fonte: O Autor, 2024)*

Os painéis eléctricos em pontos de derivação são projetados de acordo com as necessidades específicas de cada instalação, levando em consideração a carga eléctrica, os requisitos de segurança e as normas regulatórias aplicáveis. Eles podem incluir disjuntores, seccionadores, fusíveis, relés de protecção, medidores e outros componentes para garantir um fornecimento confiável e seguro de energia eléctrica para os pontos de derivação.

### 3.2.1. Classificação dos painéis eléctricos

Os painéis eléctricos podem ser classificados de várias maneiras, dependendo de vários factores, tais como sua função, localização, nível de tensão e tipo de montagem. Aqui estão algumas classificações comuns:

#### a) Quanto ao nível de tensão

O nível de tensão de um painel eléctrico está relacionado à classe de tensão dos equipamentos no interior dos quais estão instalados. Em geral, os painéis são classificados em seguintes níveis de tensão:

- Painel de baixa tensão: projetados para operar em sistemas elétricos com tensões abaixo de 1000 volts, como instalações residenciais e comerciais;
- Painel de média: utilizados em sistemas com tensões compreendidas entre 1000 volts e 33000 volts, como em subestações e indústrias;
- Painel de média/alta tensão: utilizados em sistemas com tensões superiores a 33000 volts, como em subestações e centrais de geração.

#### **b) Quanto a função**

Os painéis podem ser projectados para desempenharem diferentes funções dentro de um sistema eléctrico.

- Painel de comando: Quando nele são instalados equipamentos de comando e manobra de circuitos de baixa ou média tensão, tais como disjuntores, contactores, chaves seccionadoras, chaves inversoras, entre outros;
- Painel de controle: Quando nele são instalados dispositivos e circuitos destinados a realizar o controle de equipamentos a partir de sinais enviados por relés ou por outros dispositivos;
- Painel de medição: Quando nele são instalados equipamentos e dispositivos destinados à medição de parâmetros eléctricos, tais como consumo, demanda, corrente, entre outros;
- Painel de protecção: destinado a proteger equipamentos e circuitos contra sobrecargas, curtos-circuitos e outras falhas eléctricas;
- Painel de distribuição: usado para distribuir energia eléctrica para diferentes circuitos ou áreas.

#### **c) Quanto a localização**

- Painel de interior: instalado dentro de edifícios ou estruturas;
- Painel de exterior: montado ao ar livre, geralmente em subestações ou locais sem protecção contra intempéries.

#### **d) Quanto ao tipo de montagem**

- Painel de parede: montado na parede para economizar espaço;
- Painel de piso: instalado no chão, geralmente em grandes instalações onde há mais espaço disponível.

Essas são apenas algumas das classificações comuns de painéis eléctricos, e a escolha depende das necessidades específicas de cada instalação ou aplicação.

### 3.3. Equipamentos do painel eléctrico

Os painéis eléctricos possuem em sua composição diferentes equipamentos, tais como de medição, transformação, manobra e protecção.

#### 3.3.1. Para-raios

Na protecção de sistemas eléctrico, durante sobre tensões de manobra ou atmosféricas, os para-raios desempenham um importante papel em limitar o nível de tensão e protegem os equipamentos do sistema eléctrico, conduzindo o excesso de corrente do sistema para a terra, quando ocorrem grandes perturbações (Uchôa, 2014).

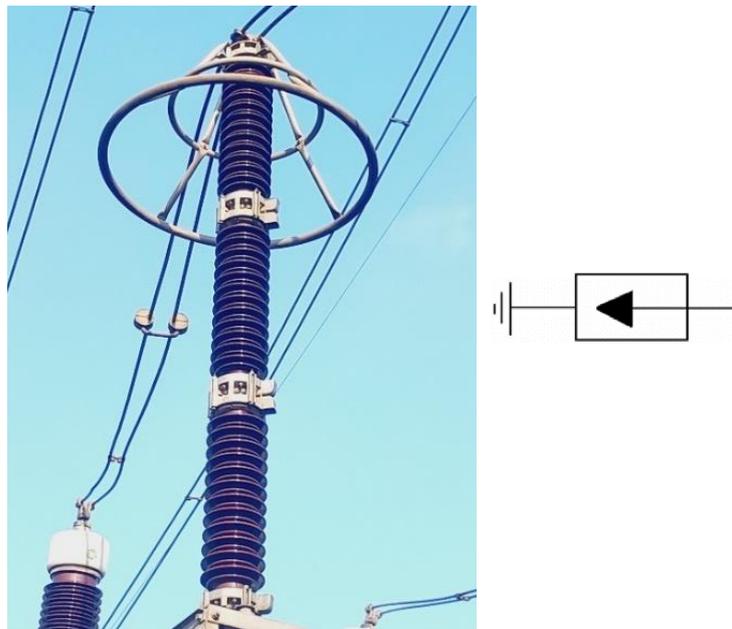


Figura 5: Para-raios e o respectivo símbolo (Fonte: O Autor, 2024)

Os para-raios são equipamentos que tem a função de proteger os equipamentos eléctricos no caso de ocorrência de surtos de tensão, devido à descarga atmosférica ou por manobras na rede, provocados pela operação de chaves seccionadoras e disjuntores. Assim, o para-raios tem como objetivo impedir que surtos de sobretensões oriundas de descargas atmosféricas, que eventualmente se propagam através dos cabos e demais condutores presentes nas linhas de transmissão, possam atingir e causar danos aos demais equipamentos presentes na instalação. Estes podem ser aplicados para protecção de estruturas edificadas e para protecção de linhas de transmissão de energia

eléctrica, redes de distribuição de energia eléctrica e subestações eléctricas contra impulso atmosférico e de manobra.

Este equipamento deve actuar de forma á:

- Limitar impulsos de tensão em equipamentos, descarregando para a terra a corrente de surto que atinge;
- Ter boa capacidade de isolamento a tensão nominal, isto é, não adicionar riscos ao equipamento ao qual esta conectado.

#### **3.3.1.1. Características construtivas**

Existem dois tipos de características construtivas de para-raios que garantem o funcionamento e a protecção do sistema eléctrico, sendo eles constituídos de elementos não lineares de carbonato de silício (SiC) e óxido de zinco (ZnO).

##### **a) Para-raios de Carboneto de Silício**

Estes para-raios são formados de elementos resistivos não lineares constituídos de carboneto de silício (SiO) em série com centelhadores (*gaps*). O carboneto de silício (SiO) tem a função de conduzir a corrente eléctrica proveniente da descarga atmosférica em baixas tensões residuais.

##### **b) Para-raios de Óxido de Zinco**

Por definição estes para-raios apresentam como material dos elementos resistivos não lineares o óxido de zinco (ZiO). Atualmente, esse tipo de para-raios são os mais usados, por apresentarem uma excelente característica de não linearidade devido ao ZiO, não havendo a necessidade de *gaps* em série neste tipo de para-raios.

#### **3.3.1.2. Características eléctricas**

- Tensão nominal: é a máxima tensão de operação para o qual o para-raios é capaz de interromper a corrente na frequência do sistema. Ou seja, é a máxima tensão eficaz fase-terra em que o para-raios pode ser instalado;
- Frequência nominal: é a frequência para a qual foi projetado o para-raios.
- Corrente de descarga: é a corrente de impulso ou de surto que percorre o para-raios depois do centelhamento;
- Corrente nominal de descarga: é o valor de pico da corrente de descarga para uma forma de onda de  $8/20\mu s$ .

- Tensão disruptiva de impulso: é o valor da tensão de uma onda de polaridade determinada, que há maior valor aplicado nos terminais de para-raios antes da sua descarga.
- Tensão disruptiva á frequência industrial: é o valor eficaz da menor tensão senoidal de frequência industrial, que produzira descarga quando apicada aos terminais do para-raios.

### 3.3.2. Disjuntor de potência

Os disjuntores são equipamentos destinados à interrupção e ao restabelecimento das correntes elétricas num determinado ponto do circuito (Mamede, 2013).



Figura 6: Disjuntor a SF6 e respectivo símbolo (Fonte: O Autor, 2024)

É um equipamento mecânico de manobra capaz de estabelecer, conduzir e interromper correntes sobre condições normais do circuito e num determinado intervalo de tempo. Também interrompem correntes sob condições anormais, tais como as de curto-circuito. Uma característica importante dos disjuntores é que eles sempre devem ser instalados acompanhados dos relés de proteção. Os relés são os equipamentos responsáveis pela detecção das correntes anormais do sistema elétrico, sendo configurados para operar ou não a abertura do disjuntor em determinadas situações. Dessa forma, sem a presença dos relés nos circuitos, o disjuntor é apenas um interruptor que permite a manobra do circuito.

### 3.3.2.1. Características de funcionamento

Os disjuntores de potência são usados nos sistemas elétricos de potência com a finalidade de proporcionar a ele uma operação segura e confiável frente às diversas perturbações nas quais ele está sujeito e estando o seu emprego relacionado ao comportamento da corrente elétrica que nele flui.

Esses equipamentos possuem como características de funcionamento os seguintes parâmetros básicos de operacionalidade (Frazão, 2019):

- a) Estando com seus contatos fechados, o disjuntor deve ser um excelente condutor, ou seja, apresentar perdas mínimas.
- b) Estando com seus contatos abertos, o disjuntor deve ser um excelente isolador entre as partes do sistema interligadas por ele.
- c) Tendo em mente que a intensidade da corrente de curto-circuito pode atingir valores extremamente elevados, o disjuntor deve ser capaz de suportar, sem se danificar, a máxima corrente de curto que o atravessa para, em seguida, interrompê-la.
- d) O tempo de operação do disjuntor, também denominado tempo de comutação, deve ser extremamente curto, na ordem de milissegundos, cuja finalidade é minimizar a intensidade dos arcos elétricos nas câmaras de extinção.
- e) O disjuntor não pode causar sobretensões durante a comutação.
- f) O disjuntor deve ser confiável e seguro em toda a sua operação.

Os disjuntores elétricos podem ser classificados quanto o meio de extinção do arco elétrico, que são:

- **Disjuntores a óleo:** Os disjuntores isolados a óleo são dispositivos cujo princípio de extinção do arco voltaico se baseia na decomposição das moléculas do material isolante causada pelas altas temperaturas atingidas no interior dos disjuntores no instante da ocorrência deste arco. Esse princípio de extinção permite o resfriamento da câmara que envolve os contactos do disjuntor e se distingue em dois processos: o efeito do hidrogênio e o efeito do fluxo líquido.
- **Disjuntores a ar comprimido:** Os disjuntores isolados a ar comprimido têm seu princípio de extinção do arco voltaico associado a uma fonte de ar pressurizado. Essa fonte pressurizada cria um fluxo de ar sobre o arco elétrico de forma que

seja possível resfriar a região dos contactos do dispositivo e expulsar o gás ionizado por suas altas temperaturas de forma a reestabelecer a rigidez dielétrica do material isolante da câmara do disjuntor.

- **Disjuntores a vácuo:** Os disjuntores isolados a vácuo são equipamentos cujo padrão de formação do arco eléctrico é diferente de todos os outros tipos de disjuntores. Nos disjuntores a vácuo, o arco voltaico se forma através dos íons metálicos provenientes da evaporação do metal dos contactos do dispositivo durante a ocorrência do curto-circuito e pode ser classificado como difuso, quando é distribuído por toda a superfície dos contactos, ou contraído, quando é possível localizar um foco de emissão iónica sobre os contatos.
  
- **Disjuntores a SF6:** Os disjuntores isolados a SF6 são dispositivos cujo princípio de funcionamento é semelhante ao dos disjuntores isolados a ar comprimido, onde é criado sobre o arco voltaico um fluxo de gás SF6 de maneira que seja possível reduzir a temperatura da câmara de extinção do arco e recompor a rigidez dielétrica do meio presente.

### 3.3.2.2. Características eléctrica

É importante que sejam definidas as características nominais dos disjuntores, algumas dessas características são:

- Tensão nominal: é definida como a máxima tensão do sistema no qual o disjuntor será aplicado;
- Nível de isolamento: é nas tensões de impulso e nas tensões de frequência industrial que o disjuntor pode suportar;
- Frequência nominal: é a frequência do sistema em que o disjuntor será utilizado;
- Corrente nominal: é o valor da corrente que o disjuntor é capaz de conduzir em serviço nominal, na frequência nominal e sem exceder os limites de temperatura;
- Corrente de interrupção nominal de curto-circuito: é a máxima corrente de curto-circuito que o disjuntor será capaz de interromper;
- Corrente de curta duração admissível: é o valor da corrente que o disjuntor pode conduzir por um período especificado de tempo (1 ou 3 segundos);
- Valor se crista da corrente admissível: é o valor da corrente de crista que o disjuntor pode conduzir sem deterioração do seu material;

- Tensão transitória de restabelecimento: é a tensão de referência que constitui o limite que o disjuntor é capaz de interromper na ocorrência de curto-circuito em seus terminais.

### 3.3.3. Seccionador

Define-se como um dispositivo mecânico de manobra capaz de abrir e fechar um circuito elétrico quando uma corrente de intensidade desprezível é interrompida ou restabelecida. Também é capaz de conduzir correntes sob condições normais do circuito e durante um tempo especificado, correntes sob condições anormais, como curto-circuito (Muzy, 2012).

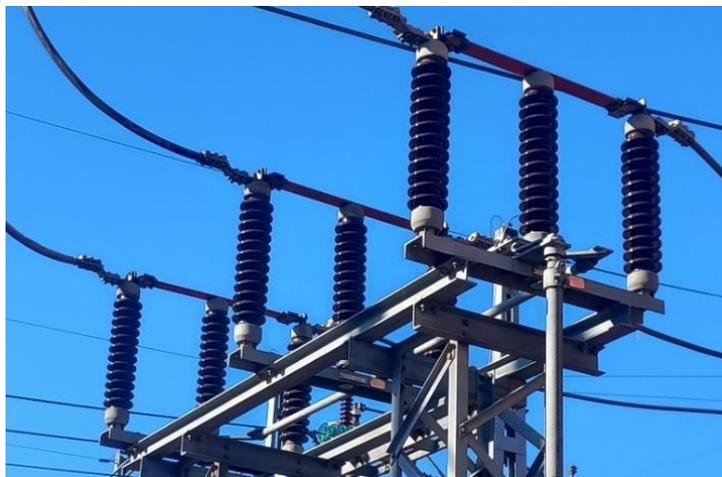


Figura 7: Seccionador e respectivo símbolo (Fonte: O Autor, 2024)

#### 3.3.3.1. Características de funcionamento

Os seccionadores são dispositivos destinados à abertura, fechamento, transferências de cargas e aterramento de trechos dos circuitos a que estão instalados. Esses equipamentos são projectados para operar após a abertura dos disjuntores e atender aos seguintes requisitos de manobras (Rodrighês, 2015):

- Na posição fechada não deve oferecer resistência a corrente que circula (nominal ou de defeito);
- Na posição aberta deve suportar com segurança as tensões que se estabelecem;
- Somente operam em circuitos sem passagem de corrente.

Podem ser classificados com base em três características, tais como:

- Funcionalidade;
- Forma de operação;
- Tipo de abertura.

Quanto à funcionalidade, os seccionadores são utilizados normalmente para isolar alguns componentes ou equipamentos que têm de ser sujeitos a manutenção periódica. Para isso, são instalados em cada lado do equipamento e, estando em posição aberta, garantem que não passa corrente eléctrica, podendo realizar-se a manutenção em segurança. Os seccionadores são também instalados para realizar o *by-pass* aos disjuntores ou outro equipamento e podem ainda ser utilizados para manobras da subestação quando há transferência de carga entre barramentos.

Quanto à forma de operação, é necessário esclarecer que os seccionadores só devem ser accionados depois de os disjuntores efetuarem o corte da carga naquele ramo. Por outro lado, quando se pretende recolocar em serviço o ramo, os seccionadores devem fechar antes do disjuntor voltar à posição de engate. O comando de operação de um seccionador pode ser realizado de forma manual ou automática. Atualmente, o sistema mais utilizado é o automático podendo assim accionar ou colocar os dispositivos fora de serviço remotamente, estando o seccionador integrado no sistema de supervisão e controlo das subestações (SCADA).

Quanto ao tipo de abertura dos seccionadores, estes podem ser:

- **Abertura vertical:** os seccionadores com abertura vertical são dispositivos compostos por três colunas de isoladores instalados sobre uma única base e cujo movimento de seus contactos móveis seja perpendicular ao plano de montagem do seccionador.
- **Basculante ou dupla abertura:** os seccionadores com abertura dos contactos móveis de modo basculante são compostos por três colunas de isoladores ligadas por uma base única de maneira que as duas colunas de isoladores externas são fixas e suportam os terminais e o interior móvel do equipamento. A movimentação da parte móvel do equipamento acontece em rotação ao ponto de fixação à base.
- **Abertura lateral:** os seccionadores com abertura lateral são compostos por duas colunas de isoladores ligadas a uma única base de forma que o contacto fixo seja suportado por uma coluna fixa e o contacto móvel por uma coluna rotativa. Esse dispositivo possui uma lâmina responsável pelo movimento de abertura e

fechamento de seus contatos e este movimento ocorre de forma paralela ao plano de montagem do seccionador.

- **Abertura central:** os seccionadores com abertura central são compostos por duas colunas de isoladores, sendo ambas rotativas e ligadas a uma única base. Esses dispositivos possuem uma lâmina responsável pela abertura e fechamento de seus contatos e seu movimento é seccionado em duas partes.
- **Aterramento:** os seccionadores de aterramento são compostos por duas colunas de isoladores fixas, contatos fixos e uma lâmina cujos movimentos de fechamento e abertura são paralelos aos isoladores.
- **Semi-pantográfica:** os seccionadores com modo de abertura semi-pantográfica são dispositivos que possuem uma lâmina articulada para um lado e com capacidade de dobrar sobre si mesma.
- **Pantográfica:** os seccionadores com modo de abertura pantográfica são dispositivos que possuem lâmina articulada com capacidade de dobrar sobre si mesma.

### 3.3.3.2. Características eléctricas

A seguir definem-se algumas das características desses equipamentos:

- Tensão nominal: é a tensão para o qual o equipamento é projectado para o serviço contínuo, esta tensão deve ser igual a tensão operativa do sistema no qual o dispositivo esta instalado;
- Corrente nominal: é o valor da corrente que o equipamento deve conduzir continuamente sem exceder os valores de temperatura especificadas para os seus componentes;
- Nível de isolamento; é o valor da crista da tensão a ser suportada pela chave entre as partes vivas e as aterradas, quando submetidas a um impulso com forma de onda equivalente a descarga atmosférica. Esta tensão é usada para definir o nível de isolamento;
- Corrente suportável de curta duração: é o valor eficaz da corrente que a chave pode conduzir num período especificado de tempo.

### 3.3.4. Transformador de corrente

Os transformadores de corrente são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e protecção funcionar adequadamente sem que seja necessário possuírem correntes nominais de acordo com a corrente de carga do circuito ao qual estão ligados (MAMEDE, 2013).

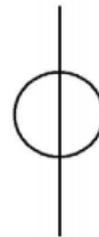


Figura 8: Transformador de corrente e respectivo símbolo (Fonte: O Autor, 2024)

Estes transformadores de instrumentos possuem padronizações de suas características conforme normas nacionais e internacionais e têm como principais funções:

- Alimentação dos sistemas de protecção e medição contidos nas subestações eléctricas de maneira a reduzir a corrente dos circuitos de alta tensão a valores seguros para manuseio;
- Permitir a isolamento entre o circuito primário e o circuito secundário.

#### 3.3.4.1. Características construtivas

Os transformadores de corrente são dispositivos projetados para operar conforme o serviço ao qual serão destinados de modo que TCs de medição e protecção possuem características diferentes e específicas entre si quanto às classes de exatidão, aos tipos de núcleo, a curva saturação e a configuração dos enrolamentos.

De acordo com Mamede, os transformadores de corrente podem ser divididos em classe A e B, que possuem alta e baixa impedância interna, respectivamente.

- **Classe A** – possui alta impedância interna, isso é, o TC tem reactância de dispersão do enrolamento secundário apreciável;
- **Classe B** – possui baixa impedância interna, isso é, o TC tem reactância de dispersão do enrolamento secundário desprezível;

Os TCs de medição operam com o núcleo saturado de forma que seja possível estimar as altas correntes que circulam por ele. Este tipo de TC possui como característica:

- Faixa de operação entre  $(0 - k)I_n$ , onde  $k$  corresponde a relação de transformação real (variando de 1,2 a 2,0) e  $I_n$  a corrente nominal do transformador de corrente.
- Classes de exatidão de 0,3%, 0,6% e 1,2%.

Os TCs de protecção operam com o núcleo não saturado, isolando o circuito primário do circuito secundário e fornecendo a corrente do secundário para equipamentos de protecção como, por exemplo, os relés. Este tipo de TC possui como característica:

- Faixa de operação entre  $(0 - k)I_n$ , onde  $k$  corresponde a relação de transformação real (variando de 20 a 50) e  $I_n$  a corrente nominal do transformador de corrente.
- Classes de exatidão de 5% e 10%.

Além disso, os TC's podem ser diferenciados a partir da quantidade de circuitos magneticamente acoplados e pelo meio que isto é feito. Eles podem ter múltiplos enrolamentos primários ou secundários isolados eletricamente entre si, ou possuir, a partir de um único circuito primário, múltiplos núcleos conectados.

#### **3.3.4.2. Características eléctricas**

- Corrente primaria nominal: é a corrente que circula no primário do transformador de corrente e possui valores padronizados;
- Corrente secundária nominal: é a corrente que circula no secundário do transformador de corrente e possui valores padronizados, geralmente 5A.
- Relação nominal: é a relação de transformação entre a corrente do primário e o secundário;
- Carga nominal: carga secundária nominal é a impedância ligada aos terminais secundários do TC, cujo valor corresponde à potência para a exatidão garantida, sob corrente nominal;

- Nível de isolamento: é definida pela máxima tensão do circuito ao qual o transformador de corrente vai ser conectado;
- Frequência nominal: é a frequência do sistema em que o equipamento será utilizado;
- Classe de exatidão: é a classe de precisão em função do serviço no qual o TC vai ser empregado.

### 3.3.5. Transformador de potencial

Os transformadores de potencial são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuir tensão de isolamento de acordo com a da rede à qual estão ligados (MAMEDE, 2013).

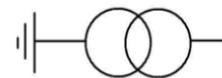


Figura 9: Transformador de tensão e respectivo símbolo (Fonte: Santos, 2018)

Na sua forma mais simples, os transformadores de potencial possuem um enrolamento primário de muitas espiras e um enrolamento secundário por meio do qual se obtém a tensão desejada, normalmente padronizada.

Sua principal aplicação é na medição de tensões com valores elevados, ou seja, em seu circuito primário (entrada) é conectada a tensão a ser medida, sendo que no secundário (saída) será reproduzida uma tensão reduzida e diretamente proporcional a do primário. Assim, com menor custo e maior segurança, pode-se conectar o instrumento de medição (voltímetro) no secundário.

### **3.3.5.1. Características construtivas**

Os transformadores de potencial, como já indicado neste trabalho, são transformadores cujo projecto e funcionamento são semelhantes a um pequeno transformador de potência de forma que os enrolamentos primário e secundário trabalhem a fim de reduzir a valores seguros o nível de tensão aplicado aos equipamentos de proteção e medição presentes no sistema elétrico. Esses transformadores são classificados conforme suas características construtivas sendo eles dos tipos: indutivos e capacitivos.

#### **a) Transformador de potencial do tipo indutivo**

Os TPs do tipo indutivo (TPI) são projetados de maneira que seu funcionamento seja muito semelhante ao transformador de potência e com isso os seus enrolamentos primários e secundários envolvem o mesmo de núcleo. Esses transformadores são projetados para operar com tensões de até 138 kV, são construídos conforme os 3 subgrupos:

- **Grupo 1:** O transformador de potencial é projetado para ligações entre fases.
- **Grupo 2:** O transformador de potencial é projetado para ligações entre fase e neutro dos sistemas diretamente aterrados.
- **Grupo 3:** O transformador de potencial é projetado para ligações entre fase e neutro de sistema onde não se garanta a eficácia do aterramento.

#### **b) Transformador de potencial do tipo capacitivo**

Os transformadores de potencial do tipo capacitivos (TPC) são construídos utilizando dois conjuntos de capacitores que servem como um divisor de tensão ligado em fase-terra para o circuito a ele conectado. Esses transformadores são projetados para serem usados em sistemas cuja tensão nominal seja superior a 138 kV.

Entretanto, apesar da semelhança construtiva entre os transformadores de instrumentos e de potencial, os TPs não se diferenciam construtivamente conforme o serviço desempenhado (proteção e medição), sendo classificados principalmente conforme as suas classes de exatidão (0,3 - 0,6 - 1,2) sendo cada usada de acordo com sua finalidade:

- Classe de exatidão 0,3: são utilizados em medições de energia elétrica com fins de facturamentos;

- Classe exatidão 0,6: são aplicados na alimentação de instrumentos de medições de energia elétrica sem o objetivo de faturamento e em equipamentos de proteção;
- Classe exatidão 1,2: são destinados na medição indicativa de tensão.

Com as seguintes faixas de operação:

Para medição:  $(0,9 \text{ a } 1,1)V_n$ , onde  $V_n$  é a tensão nominal do transformador de potencial.

Para protecção:  $(0,05 \text{ a } 1,9)V_n$ , onde  $V_n$  é a tensão nominal do transformador de potencial.

### **3.3.5.2. Características eléctricas**

- Tensão primária nominal: é a tensão em que o primário do transformador poderá ser submetido no circuito e possui valores padronizados;
- Tensão secundária nominal: é a tensão do secundário do transformador de potencial;
- Nível de isolamento: é definida pela máxima tensão do circuito ao qual o transformador de corrente vai ser conectado;
- Classe de exatidão: é a classe de precisão em função do serviço no qual o TP vai ser empregado;
- Grupo de ligação: é estabelecido a partir da alimentação do sistema e o modo que o mesmo será ligado.

### **3.3.6. Barramento**

É um equipamento eléctrico cuja finalidade é receber energia eléctrica de uma ou mais fontes na mesma tensão, e distribuir para uma ou mais cargas na mesma tensão. É através do barramento que são feitas as conexões entre as linhas de transmissão ou distribuição.

O barramento eléctrico ou simplesmente barramento, é um elemento composto de material condutor, os materiais mais empregados na sua construção são o cobre e o alumínio, devido às suas características de grande condutividade de corrente eléctrica (Sampaio, 2020).



Figura 10: Barramento tubular rígido (Fone: Cormec, 2020)

Normalmente os barramentos possuem formatos de tubos, barras ou cabos. São responsáveis pelo fornecimento de tensão e condução da corrente elétrica nos circuitos presentes no interior de quadros de distribuição, painéis elétricos, subestações e entre outros. Os barramentos podem ser flexíveis ou rígidos. Em relação ao primeiro, utiliza-se cabos nus e são encontrados principalmente em subestações de grande dimensão. Possuem, no entanto alguns pontos negativos, pois como são constituídos de material maleável e estão sujeitos a oscilações provenientes do vento ou chuva, fazendo com que seja necessário aumentar a distância entre fases de modo a garantir a segurança. Em contrapartida como pontos positivos a utilização destes barramentos demanda menor número de estruturas metálicas, além de serem relativamente mais baratos que os barramentos rígidos.

Em relação aos barramentos rígidos, estes podem ter várias formas, como barras, vergalhões e tubos. Estes são utilizados quando a otimização do espaço ou factores estéticos são parâmetros a ter em conta.

No processo de dimensionamento de barramentos deve se ter em conta quatro passos, que consiste na verificação de que um determinado barramento escolhido, é adequado ou não a uma determinada instalação elétrica:

- **Em função da condição de aquecimento em regime permanente:** A verificação da condição de aquecimento é feita através da simples comparação entre a corrente de serviço da instalação em questão, e a corrente máxima admissível pelo barramento escolhido.

- **Em função da resistência mecânica ao curto-circuito:** consiste em verificar se o barramento escolhido consegue suportar os esforços electrodinâmicos a que poderá ser sujeito em caso de curto-circuito.
- **Em função dos esforços térmicos devidos ao curto-circuito:** Consiste em encontrar a secção mínima que o condutor deverá ter.
- **Em função da condição de ressonância:** procura-se garantir que, aquando da ocorrência de um curto-circuito, a frequência de ressonância própria do barramento, não se encontra perigosamente próxima da frequência eléctrica da instalação.

### 3.4. Relés de protecção

Os relés de protecção são dispositivos responsáveis por detectar defeitos ou condições anormais de operação no sistema eléctrico de potência a partir de sinais provenientes dos transformadores de corrente e potencial, e com base nestas informações, atuam sobre os componentes defeituosos, desligando equipamentos e isolando trechos do sistema, evitando danos maiores aos equipamentos e ao próprio sistema (Santos, 2018).

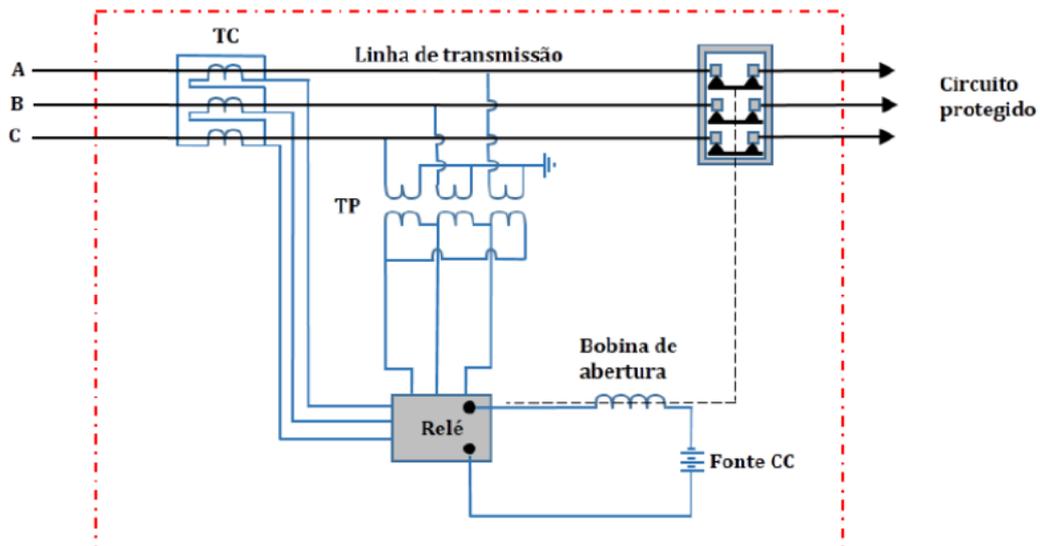


Figura 11: Diagrama esquemático de um sistema de protecção típico (fonte: Pereira, 2018)

Um diagrama de um sistema de protecção típico é apresentado na figura acima. Seu princípio de funcionamento pode ser descrito da seguinte forma: os transformadores de

potencial e corrente reduzem as magnitudes das grandezas envolvidas (tensão e corrente, respectivamente) para níveis aceitáveis de leitura e acesso seguro. Em seguida, essas informações são disponibilizadas ao relé, que se encarrega de processá-las. Caso os valores das grandezas excedam valores pré-definidos, os contactos do relé são fechados. Neste instante, a bobina de abertura do disjuntor é energizada, o que resulta na abertura dos contactos principais do disjuntor e isolamento do componente ou circuito sob falta.

A protecção de qualquer sistema eléctrico é feita com o objectivo de aumentar a disponibilidade no suprimento de energia eléctrica às cargas e, ainda mais importante, visando diminuir ou evitar risco de vida e danos materiais, sempre que ocorrer situações anormais durante a operação do mesmo.

Para que um sistema eléctrico seja provido de protecção adequada, o relé que protege o mesmo deve garantir:

- **Confiabilidade:** a protecção deve permitir que o sistema eléctrico funcione com segurança e corretamente, sob todas as circunstâncias.
- **Selectividade:** sistema de protecção deve apresentar as propriedades de reconhecimento e selecção das condições em que deve operar, a fim de evitar operações desnecessárias.
- **Sensibilidade:** a faixa de incerteza entre as condições de operação e de não operação deve ser a menor possível.
- **Velocidade:** o desligamento do trecho ou equipamento defeituoso no menor tempo possível.

As condições para atuação do relé são:

- Grandezas medidas ultrapassam os limites pré-definidos para partida do relé;
- Tempo de duração da falta ultrapassa o valor de tempo pré-definido no relé.

### 3.4.1. Funções principais dos relés de protecção

As funções de um relé de protecção são caracterizadas por um código numérico, obedecendo a uma tabela elaborada pela American National Standards Institute (ANSI). A seguir, estão descritas as principais funções:

- **Relé de sobrecorrente – Função ANSI 50/51:** quando a corrente elétrica que circula sobre o equipamento que se quer proteger supera um valor previamente ajustado, o relé atua.
- **Relé diferencial de corrente – Função ANSI 87:** compara as correntes elétricas que circulam entre os dois terminais (zona protegida) de um equipamento que se quer proteger. Quando há diferença significativa no módulo entre essas correntes, o relé deve atuar, enviando um comando ao disjuntor, desligando o sistema.
- **Relé direcional – Função ANSI 67:** reconhece o sentido em que corrente ou potência circulam em uma determinada parte do sistema. Caso fluam no sentido inverso ao normal, o relé deve atuar.
- **Relé de sobretensão – Função ANSI 59:** atua quando o sistema elétrico a ser protegido é submetido a níveis de tensão superiores aos valores máximos permitidos (110% do valor nominal).
- **Relé de subtensão – Função ANSI 27:** atua quando o sistema elétrico a ser protegido é submetido a níveis de tensão inferiores aos valores mínimos necessários aos equipamentos elétricos em operação (80% do valor nominal).
- **Relé de tensão – Função ANSI 27/59:** atua em condições de subtensão e sobretensão.
- **Relé de distância – Função ANSI 21:** atua quando a impedância da linha de transmissão for inferior a um valor ajustado. O tempo de atuação é proporcional a distância entre o ponto de localização do relé até o ponto do defeito.

- **Relé de religamento – Função ANSI 79:** envia um sinal de fechamento automático ao disjuntor, aberto devido a uma falha, quando as condições normais do circuito são reestabelecidas.
- **Relé de frequência – Função ANSI 81:** atua em situações de subfrequência e sobrefrequência, sempre que a frequência medida está fora do valor ajustado.
- **Relé de bloqueio – Função ANSI 86:** atua sobre a bobina de abertura do disjuntor, impedindo seu fechamento devido a algum defeito do equipamento ou da unidade de proteção responsável, garantindo a segurança de equipamentos e operadores.

Para linhas de transmissão, são aplicadas proteções principais e de retaguarda, sendo a mais utilizada, a proteção de distância, devido a sua simplicidade de parametrização (ajuste e coordenação) e sua viabilidade econômica (Pereira, 2018).

### **3.4.2. Relé de distância**

Os relés de distância (função 21, segundo a ANSI) são amplamente utilizados para proteção de linhas de transmissão. Através de sinais de tensão e de corrente provenientes dos TP e TC, respectivamente. Esses relés estimam a impedância desde a sua posição até o ponto em falta. Como a impedância de uma LT é relativamente constante, esses relés identificam a distância do ponto em curto-circuito, ou seja, a impedância aparente até esse ponto. Além disso, também podem operar utilizando os parâmetros de reatância e admitância até o ponto em falta.

#### **3.4.2.1. Zonas de proteção**

A seletividade e a coordenação dos relés de distância estão diretamente relacionadas aos ajustes de suas zonas de proteção, uma vez que seus alcances estão associados a diferentes tempos de atuação. Deve-se ressaltar que, comumente, são utilizadas três zonas de proteção, mas, a depender da aplicação, podem ser acrescentadas mais zonas de atuação (Oliveira, 2022). Portanto, os critérios de ajustes são definidos por (Cruz, 2013):

- **Primeira zona:** alcance da proteção correspondente à percentagem de 80 a 90% da impedância total da linha de transmissão.

- **Segunda zona:** alcance da proteção correspondente a 100% da linha de atuação da primeira zona, acrescido de 20 a 50% da linha de transmissão adjacente.
- **Terceira zona:** alcance da proteção corresponde a 100% da linha de atuação da primeira zona, acrescido de 100% da linha de actuação da segunda zona de transmissão e acrescido de 20 a 50% da linha de transmissão adjacente.

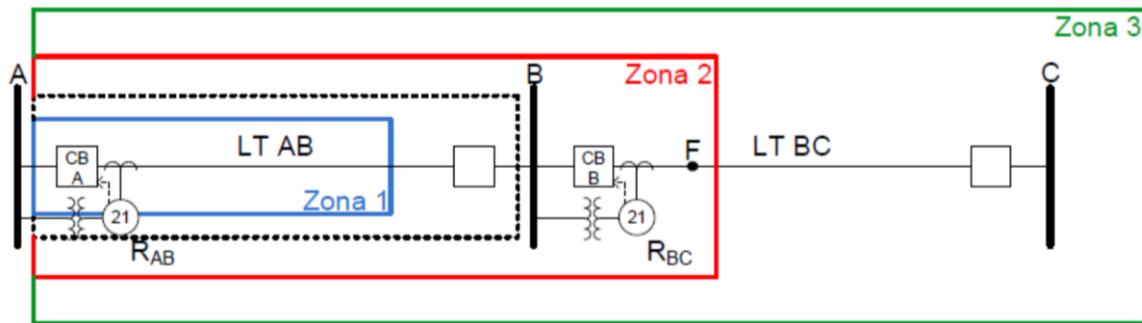


Figura 12: Zonas de proteção do relé de distância (Fonte: Cruz, 2013)

Na figura acima, podem ser verificadas as zonas de proteção de um relé de distância que está protegendo o trecho entre as barras A e B. A linha pontilhada mostra a zona de proteção desejada, onde é ideal que haja a operação instantânea do relé. Como existe um pequeno erro na determinação do ponto de alcance, deve-se considerar uma Zona 1 de subalcance para garantir que não haja alcance além do primeiro trecho da linha AB.

No entanto, a zona 1 não protege todo o trecho da LT, pois a região entre o fim da zona 1 e a barra B não está protegida. Então, tem-se uma segunda zona de proteção, que sobrealcança o terminal da linha. Para a ocorrência de uma falta no ponto F, a Zona 2 do relé  $R_{AB}$  deve ser ajustada de forma que a proteção do trecho seguinte da linha opere antes do relé no terminal A.

A segunda zona de proteção do relé  $R_{AB}$  dá proteção de retaguarda para a linha BC, essa retaguarda depende do ajuste de alcance para esta zona. Para prover a proteção de retaguarda para toda a linha, o relé deve ser equipado com uma terceira zona de proteção.

### 3.4.2.2. Critérios de coordenação

Para a coordenação de um sistema elétrico, como se sabe, deve-se adotar um intervalo de tempo entre duas proteções consecutivas, chamado de intervalo de coordenação, cujo valor conservador é de 0,40 s, podendo-se, no entanto, admitir o valor de 0,30 s (Filho e Mamede, 2013).

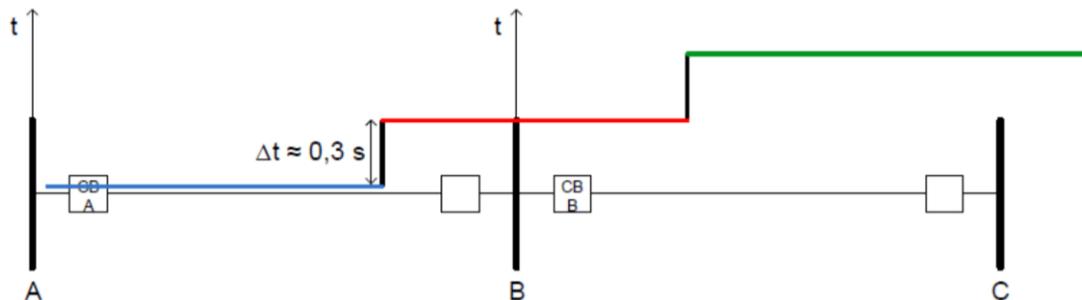


Figura 13: Tempo de atuação do relé de distância (Fonte: Cruz, 2013)

- A protecção de 1ª zona não é dotada de temporização intencional. O tempo de operação do relé é intrínseco ao equipamento.
- A protecção de 2ª zona é normalmente ajustada para um tempo de atuação de 0,40 a 0,60 s, a depender do esquema de coordenação com as protecções de 2ª zona dos terminais remotos.
- A protecção de 3ª zona normalmente é ajustada para um tempo de atuação de 0,80 a 1,0 s, a depender do esquema de coordenação com outras protecções utilizadas.

Porem, os tempos de ajuste deverão ser feitos de modo que haja coordenação e selectividade no sistema.

### 3.4.2.3. Ajuste de impedância

Ajuste de impedância consiste em ajustar os pontos de actuação da curva de distância do relé, sendo esta definida em termos de impedância da linha e representa a relação entre a impedância medida pela protecção e a distância ao longo da linha. O ajuste de impedância determina o ponto ao longo da linha em que o relé irá operar em resposta a uma falta, garantindo que o relé responda apenas as faltas dentro da zona de protecção designada, isolando a secção defeituosa da linha enquanto mantém o restante do sistema operacional.

A impedância aparente primária é obtida através da equação:

$$Z = \frac{V}{I} \quad (1)$$

Sendo V e I, respectivamente, a tensão e a corrente na linha adjacente ao relé.

A impedância aparente secundária é obtida nos enrolamentos secundários de seus respectivos transformadores, é obtida através da equação:

$$Z_s = |Z| \times \frac{RTC}{RTP} \quad (2)$$

Os ajustes do relé de impedância podem ser feitos com base no resultado da equação:

$$Z_r = |Z| \times \frac{RTC}{RTP} \times K \quad (3)$$

Onde K é o valor em p.u. do comprimento da linha que se deseja proteger.

## 4. CAPÍTULO IV – DESENVOLVIMENTO DO PROJECTO

### 4.1. Descrição do projecto

O presente projecto tem como objectivo dimensionar painéis de corte de entrada e saída (In and Out) para um ponto de derivação (T-off) na linha CL1 de modo a garantir um fornecimento seguro e eficiente para a carga conectada, pois este proporciona um sistema eléctrico estável, confiável e minimiza as interrupções.

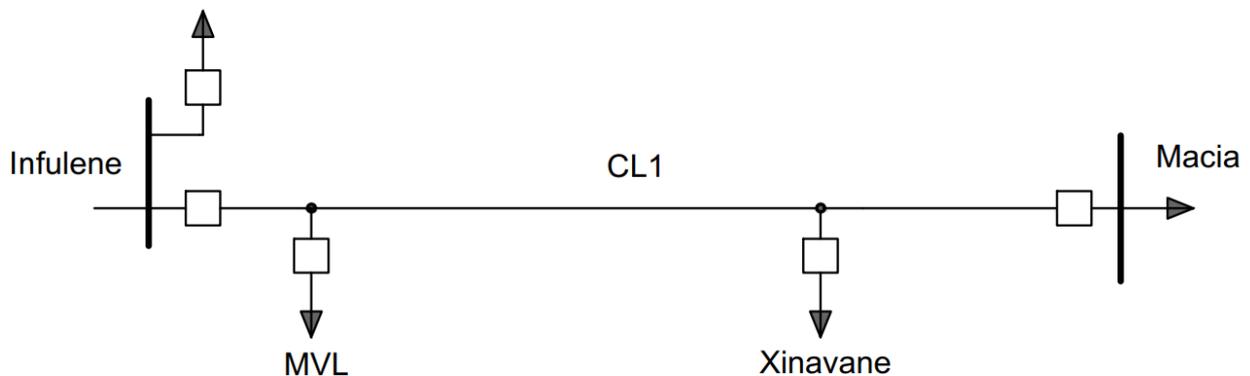


Figura 14: Representação da configuração actual (Fonte: O Autor, 2024)

A figura acima representa a configuração actual da derivação da SE de Xinavane na linha CL1, onde essa ligação é feita de forma directa sem a aplicação de qualquer dispositivo de manobra e protecção. Em caso de ocorrência de uma falta a jusante do ponto de derivação a protecção no início da linha na SE Infulene irá actuar para eliminar a falta e conseqüentemente haverá interrupção no fornecimento de energia a toda carga conectada a linha.

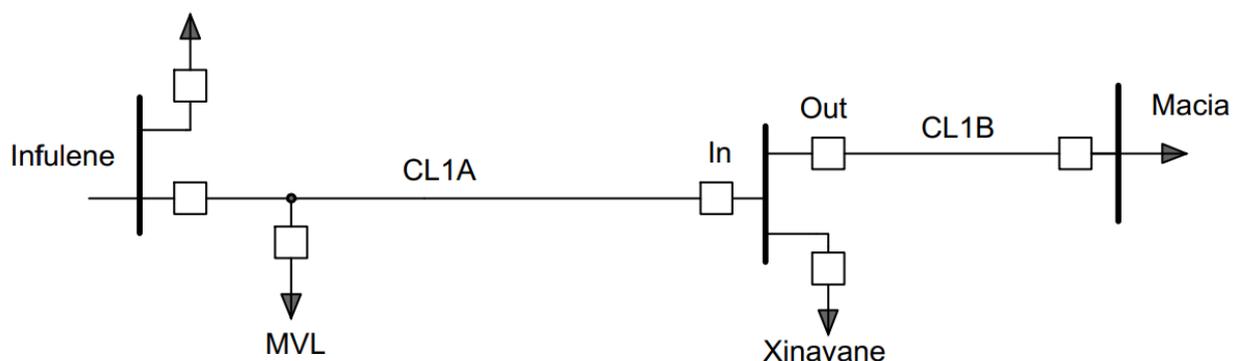


Figura 15: Representação da configuração com os painéis de In and Out (Fonte: O Autor, 2024)

A figura acima representa a proposta de uma nova configuração para a derivação da SE de Xinavane, onde esta será feita através de painéis de entrada e saída equipadas com

equipamentos de medição, corte, manobra e seccionamento. Assim em caso de ocorrência de uma falta a jusante do ponto onde se fez a ligação da SE de Xinavane, a protecção no painel de saída da linha irá actuar de modo a eliminar falta sem interromper o fornecimento de energia eléctrica as restantes cargas conectadas a linha CL1. A nova configuração propõe a divisão da linha em dois troços, sendo o primeiro troço da SE de Infulene até SE de Xinavane (CL1A) e o segundo troço da SE de Xinavane até a SE de Macia (CL1B).

## 4.2. Características da linha

A linha em estudo designa-se por CL1, as suas características são apresentadas na tabela abaixo.

Tabela 1 : Dados da linha de transmissão (Fonte: O Autor, 2024)

Características	Valor/descrição
Tensão nominal	110 kV
Tensão máxima	123 kV
Corrente nominal	314,92 A
Frequência nominal	50 Hz
Aterramento	Eficaz
Corrente de curto-circuito	3538,4 A
Comprimento	125 Km

## 4.3. Dimensionamento dos equipamentos

Neste projecto serão dimensionados e especificados os seguintes equipamentos pertencentes aos painéis:

- Para-raios;
- Disjuntor de potência;
- Seccionador;
- Transformador de corrente;
- Transformador de potencial;
- Barramentos;
- Ajuste dos Relés.

### 4.3.1. Dimensionamento do para-raios

Para o dimensionamento do para-raios será usado o catálogo da ABB.

$$U_{m\acute{a}x} = 1,05U_n \quad (4)$$

$$U_{m\acute{a}x} = 1,05U_n = 1,05 \times 110KV = 115,5 kV$$

Selecciona-se um para-raios com uma tensão máxima padronizada logo acima:

$$U_{m\acute{a}x} = 123 kV$$

Para um sistema com aterramento eficaz e tensão máxima de 123 kV a tensão nominal mínima do para-raios será dado pela seguinte equação:

$$U_r = 0,72U_{m\acute{a}x} \quad (5)$$

$$U_r = 0,72U_{m\acute{a}x} = 0,72 \times 123 kV = 88,56 kV$$

Selecciona-se um para-raios com uma tensão nominal padronizada logo acima:

$$U_r = 90 kV$$

Para uma tensão máxima de 123 kV, o para-raios será com descarga de linha de classe 2 PEXLIM R, com corrente de descarga nominal de 10 kA.

Para o nível de poluição baixo, a fuga específica é de 16 mm/kV ( $U_{m\acute{a}x}$ ). A distância de fuga será:  $d = \frac{16mm}{kV} \times 123 kV = 1968 mm \approx 2000 mm$ .

Designação do para-raios selecionado: PEXLIM R 90-YH123

Devem ser instalados um conjunto de 3 (três) para-raios em cada painel, sendo instalado 1 (um) em cada fase, com a finalidade de proteger os equipamentos elétricos contra descargas atmosféricas e sobretensões, com as seguintes características apresentadas na tabela a baixo.

Tabela 2: Especificações do para-raios (Fonte: O Autor, 2024)

Características	Valor/descrição
Tipo construtivo	Óxido de zinco
Frequência nominal	50 Hz
Tensão nominal	90 kV
Corrente nominal de descarga	10 kA
Distância de fuga	2000 mm
Nível de proteção contra impulsos de comutação	186 kV
Nível de proteção contra impulsos atmosféricos	234 kV

### 4.3.2. Dimensionamento Disjuntor de potência

Os disjuntores a instalar nos painéis serão tripolares de uso exterior.

A corrente nominal do disjuntor será:

$$I_n = \frac{S_n}{\sqrt{3} \times U_n} \quad (6)$$
$$I_n = \frac{2 \times 30 \text{ MVA}}{\sqrt{3} \times 110 \text{ kV}} = 314,92 \text{ A}$$

A corrente nominal do disjuntor deverá ser igual ou superior a corrente nominal, devendo assumir um valor padronizado.

Os disjuntores deverão possuir as seguintes características:

Tabela 3: Especificações do disjuntor (Fonte: O Autor, 2024)

Características	Valor/descrição
Meio isolante	SF6
Isolador	Polimérico
Frequência nominal	50 Hz
Tensão nominal	123 kV
Corrente nominal	400 A
Capacidade de interrupção mínima	10 kA
Tensão suportável nominal de frequência fundamental de curta duração	230 kV
Tensão suportável nominal de impulso atmosférico	550 kV

### 4.3.3. Dimensionamento do seccionador

O seccionador deverá ter a abertura central, pois proporcionam um isolamento seguro entre as secções da linha de transmissão. Porque quanto maior for o nível de tensão maior deverá ser as dimensões da faca, exigindo maior esforço no processo de abertura da mesma. Portanto a chave de abertura central permite seccionar a faca em duas partes distribuindo os esforços de forma igual entre os isoladores.

Tabela 4: Especificações do seccionador (Fonte: O Autor, 2024)

Características	Valor/descrição
Frequência nominal	50 Hz
Tensão nominal	123 kV
Corrente nominal	400 A
Capacidade de interrupção mínima	10 kA
Distância entre pólos	1100 mm
Tensão suportável nominal de frequência fundamental de curta duração	230 kV
tensão suportável nominal de impulso atmosférico	550 kV

#### 4.3.4. Dimensionamento transformador de corrente

Para o dimensionamento do TC deve se ter em conta dois critérios básicos:

- 1) O TC deve funcionar adequadamente em condição normal de operação:

$$I_{p(nomTC)} \geq k \times I_{p(nom)} \quad (7)$$

$k$  – factor de sobrecarga da concessionaria (  $k=1,2$  )

- 2) O TC não deve saturar sob condição de falta máxima:

$$20 \times I_{p(nomTC)} \geq I_{f(max)} \quad (8)$$

Assim: 
$$\begin{cases} I_{p(nomTC)} \geq k \times I_{p(nom)} \Rightarrow I_{p(nomTC)} \geq 1,2 \times 314,92A \Rightarrow I_{p(nomTC)} \geq 377,9A \\ 20 \times I_{p(nomTC)} \geq I_{f(max)} \Rightarrow I_{p(nomTC)} \geq \frac{3538,4A}{20} \Rightarrow I_{p(nomTC)} \geq 176,92A \end{cases}$$

O TC seleccionado terá: 
$$\begin{cases} I_{p(nomTC)} = 400 A \\ I_{s(nomTC)} = 5 A \end{cases}$$

A carga total a ser ligada ao secundário do TC é 14VA.

A impedância será:

$$Z_C = \frac{S_C}{I_{s(nomTC)}^2} \quad (9)$$

$$Z_C = \frac{14VA}{5A^2} = 0,56\Omega$$

A máxima tensão induzida no secundário do TC será:

$$V = F_S \times I_{s(nomTC)} \times Z_C \quad (10)$$

$$V = 20 \times I_{s(nomTC)} \times Z_C = 20 \times 5A \times \frac{14VA}{5A^2} = 56V \Rightarrow V = 100V$$

Selecciona-se o seguinte TC pela norma ANSI: 400/5A; 25VA.

Tabela 5: Especificações do transformador de corrente (Fonte: O Autor, 2024)

Características	Valor/descrição
Corrente nominal primaria	400A
Corrente nominal secundaria	5A
Relação de transformação	400/5A
Aplicação	Proteção e medição
Instalação	Exterior
Frequência nominal	50 Hz
Tensão nominal secundaria	110V
Classe de exatidão para proteção	5%
Classe de exatidão para medição	0,3%
Carga nominal	C25
Tensão suportável nominal de frequência fundamental de curta duração	230 kV
Tensão suportável nominal de impulso atmosférico	550 kV

#### 4.3.5. Dimensionamento transformador de potencial

Para o dimensionamento do TP deve se ter em conta o grupo de ligação, sendo para este caso aplicável o grupo 2, assim a relação nominal para um sistema de 110 kV de acordo com a tabela será: 138000/110 V.

Estima-se que a carga total ligada ao TP será de 17,5VA.

Tabela 6: Especificações do transformador de potencial (Fonte: O Autor, 2024)

Características	Valor/descrição
Tensão nominal primaria	138 kV
Tensão nominal secundaria	110 V
Relação de transformação	138000/110 V
Aplicação	Proteção e medição
Instalação	Exterior
Frequência nominal	50 Hz
Grupo de ligação	2
Classe de exatidão	0,6 %
Carga nominal	P25 (ABNT) ou X (ANSI)
Tensão suportável nominal de frequência fundamental de curta duração	230 kV
Tensão suportável nominal de impulso atmosférico	550 kV

#### 4.3.6. Dimensionamento do barramento

O barramento servira de ponto de ligação entre a linha que sai da SE de Infulene e as linhas para alimentar a SE de Xinavane e Macia.

Tabela 7: Dados de entrada do barramento (Fonte: O Autor, 2024)

Características	Valor/descrição
Corrente nominal	314,92 A
Corrente de curto-circuito	1149,87 A
Frequência	50 Hz
Fator x	1,5
Fator Icc/Ip	2
Distancia entre apoios	1500 mm
Distancia entre fases	1100 mm
Tempo de actuação	0,1 s
Material	Alumínio
Carga de segurança a flexão	600 kgf/cm <sup>2</sup>
Modulo de elasticidade	650000 kgf/cm <sup>2</sup>

O dimensionamento de um barramento deve obedecer a quatro (4) critérios:

1. Condições de aquecimento em regime permanente;
2. Resistência mecânica ao curto-circuito;
3. Esforços térmicos devido ao curto-circuito;
4. Condição de ressonância.

➤ **Condição de aquecimento em regime permanente**

$$I_{nB} \geq I_s \quad (11)$$

Para corrente de serviço igual a 314,92 A, seleciona-se um barramento com uma corrente imediatamente superior. Portanto de acordo com a tabela 13, para um barramento tubular em alumínio tem-se:

$$I_{nB} = 354 \text{ A}; \quad S = 113 \text{ mm}^2; \quad p = 0,305 \frac{\text{kg}}{\text{m}}; \quad 20 \times 16 \text{ mm}$$

$$I_{nB} \geq I_s \rightarrow 354 \text{ A} > 314,92 \text{ A} \text{ (condição satisfeita)}$$

➤ **Resistência mecânica ao curto-circuito**

$$W \geq \frac{mf}{\sigma} \quad (12)$$

Segue-se calculando a corrente de choque, a força electromecânica e o momento fletor:

$$I_{ch} = x\sqrt{2} \times I_{cc} \quad (13)$$

$$I_{ch} = x\sqrt{2} \times I_{cc} = 1,5\sqrt{2} \times 1149,87 \text{ A} = 2439,24 \text{ A} = 2,44 \text{ kA}$$

$$Fe = 0,02 \times c \times \frac{l}{a} I_{cc} \quad (14)$$

$$Fe = 0,02 \times c \times \frac{l}{a} = 0,02 \times 2,44^2 \times \frac{1500}{1100} = 0,162 \text{ kgf}$$

$$mf = \frac{Fe \times l}{16} \quad (15)$$

$$mf = \frac{Fe \times l}{16} = \frac{0,162 \text{ kgf} \times 150 \text{ cm}}{16} = 1,519 \text{ kgf} \times \text{cm}$$

De acordo com a tabela 14, para um tubo com dimensões 20x16mm, o módulo de resistência é:

$$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} \quad (16)$$

$$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32D} = \frac{\pi(20^4 - 16^4)}{32 \times 20} = 463,699 \text{ mm}^3 = 0,464 \text{ cm}^3$$

Verificando a condição:

$$W \geq \frac{mf}{\sigma} \rightarrow 0,464 \text{ cm}^3 \geq \frac{1,519 \text{ kgf} \times \text{cm}}{600 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}} \rightarrow 0,464 \text{ cm}^3 > 0,0023 \text{ cm}^3 \text{ (condição satisfeita)}$$

➤ **Esforços térmicos devido ao curto-circuito**

$$S_n \geq S_{min} \quad (17)$$

O próximo passo é verificar se o tubo escolhido atende as condições dos esforços térmicos devido ao curto-circuito, iniciando com o cálculo da corrente térmica e secção mínima.

$$I_{th} = I_{cc} \times \sqrt{m+n} \quad (18)$$

Os valores de m e n são obtidos a partir do gráfico em anexo X: m=0,18 e n=0,9

$$I_{th} = 1149,87 \times \sqrt{0,18 + 0,9} = 1194,98 \text{ A}$$

$$S_{min} = \frac{I_{th}}{K} \times \sqrt{t} \quad (19)$$

O valor do factor k é obtido através da tabela 15, onde k=104 para alumínio.

$$S_{min} = \frac{I_{th}}{K} \times \sqrt{t} = \frac{1194,98 \text{ A}}{104} \times \sqrt{0,1 \text{ s}} = 3,634 \text{ mm}^2$$

Para o tubo seleccionado a secção é 113 mm<sup>2</sup>.

$$S_n \geq S_{min} \rightarrow 113 \text{ mm}^2 > 3,634 \text{ mm}^2 \text{ (condição satisfeita)}$$

➤ **Condição de ressonância**

$$f_0 \notin [45; 55] \cup [90; 110]$$

$$f_0 = 112 \sqrt{\frac{E \times J}{p \times l^4}} \quad (20)$$

Por fim verifica-se a condição de ressonância. Para isso, calcula-se o valor do momento de inércia de acordo com a tabela 14, tem-se:

$$J = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} \quad (21)$$

$$J = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64} = \frac{\pi(20^4 - 16^4)}{64} = 4636,99 \text{ mm}^4 = 0,464 \text{ cm}^4$$

Para o material seleccionado tem-se:

$$E = 650000 \text{ kgf/cm}^2$$

$$p = 0,305 \times 10^{-2} \text{ kg/cm}$$

$$f_0 = 112 \sqrt{\frac{E \times J}{p \times l^4}} = 112 \sqrt{\frac{650000 \text{ kgf/cm}^2 \times 0,464 \text{ cm}^4}{0,305 \times 10^{-2} \text{ kg/cm} \times (150 \text{ cm})^4}} = 0,442 \text{ Hz}$$

O valor da frequência própria de ressonância do barramento não se encontra no intervalo definido. Portanto o barramento seleccionado é adequado a instalação.

#### 4.3.7. Ajuste do relé

##### Impedância do primeiro troço da linha (Infulene - Xinavane)

$$l = 91 \text{ Km}$$

A impedância primaria será:  $Z_{P1} = (0,1049 + j0,3963) \Omega/\text{Km}$

$$Z_{P1} = (0,1049 + 0,3963i) \times 91 = 9,5459 + 36,0633i$$

$$|Z_{P1}| = \sqrt{9,5459^2 + 36,0633^2} = 37,3053$$

A impedância secundaria será:  $|Z_{S1}| = |Z_{P1}| \times \frac{RTC}{RTP} = 37,3053 \times \frac{400/5}{138000/110} = 2,3789 \Omega$

##### Impedância do segundo troço da linha (Xinavane - Macia)

$$l = 34 \text{ Km}$$

A impedância primaria será:  $Z_{P2} = (0,1049 + 0,3963i) \Omega/\text{Km}$

$$Z_{P2} = (0,1049 + 0,3963i) \times 34 = 3,5666 + 13,4742i$$

$$|Z_{P2}| = \sqrt{3,5666^2 + 13,4742^2} = 13,9382$$

A impedância secundaria será:  $|Z_{S2}| = |Z_{P2}| \times \frac{RTC}{RTP} = 13,9382 \times \frac{400/5}{138000/110} = 0,8888 \Omega$

##### ➤ Ajuste do relé R1

A impedância vista pelo relé:

$$Z_r = K \times |Z_S| \quad (22)$$

Primeira zona Z1: 80% da linha

$$Z_{r1} = 0,8 \times Z_{S1} = 0,8 \times 2,3789\Omega = 1,9031\Omega$$

O tempo de actuação da primeira zona deverá ser instantânea, assim  $T = 0s$ .

Segunda zona Z2: 100% da linha + 50% da linha seguinte

$$Z_{r2} = Z_{S1} + 0,5 \times Z_{S2} = 2,3789\Omega + 0,5 \times 0,8888\Omega = 2,8233\Omega$$

O tempo de actuação da segunda zona é ajusta de forma a ter coordenação no sistema, considerando m atraso de 0,4s. O ajuste da segunda zona é:  $T2 = T1 + 0,4s = 0,4s$

### ➤ Ajuste do relé R2

A impedância vista pelo relé:  $Z_r = K \times |Z_S|$

Primeira zona Z1: 80% da linha

$$Z_{r1} = 0,8 \times Z_{S1} = 0,8 \times 2,3789\Omega = 1,9031\Omega$$

O tempo de actuação da primeira zona deverá ser instantânea, assim  $T = 0s$ .

Segunda zona Z2: 100% da linha

$$Z_{r2} = Z_{S1} = 2,3789\Omega$$

O tempo de actuação da segunda zona:  $T2 = T1 + 0,4s = 0,4s$

### ➤ Ajuste do relé R3

A impedância vista pelo relé:  $Z_r = K \times |Z_S|$

Primeira zona Z1: 80% da linha

$$Z_{r1} = 0,8 \times Z_{S2} = 0,8 \times 0,8888\Omega = 0,7111\Omega$$

O tempo de actuação da primeira zona deverá ser instantânea, assim  $T = 0s$ .

Segunda zona Z2: 100% da linha

$$Z_{r2} = Z_{S2} = 0,8888\Omega$$

O tempo de actuação da segunda zona:  $T2 = T1 + 0,4s = 0,4s$

### ➤ Ajuste do relé R4

A impedância vista pelo relé:  $Z_r = K \times |Z_S|$

Primeira zona Z1: 80% da linha

$$Z_{r1} = 0,8 \times Z_{S2} = 0,8 \times 0,8888\Omega = 0,7111\Omega$$

O tempo de actuação da primeira zona deverá ser instantânea, assim  $T = 0s$ .

Segunda zona Z2: 100% da linha + 50% da linha seguinte

$$Z_{r2} = Z_{S2} + 0,5 \times Z_{S1} = 0,8888\Omega + 0,5 \times 2,3789\Omega = 2,0783\Omega$$

O tempo de actuação da segunda zona:  $T2 = T1 + 0,4s = 0,4s$

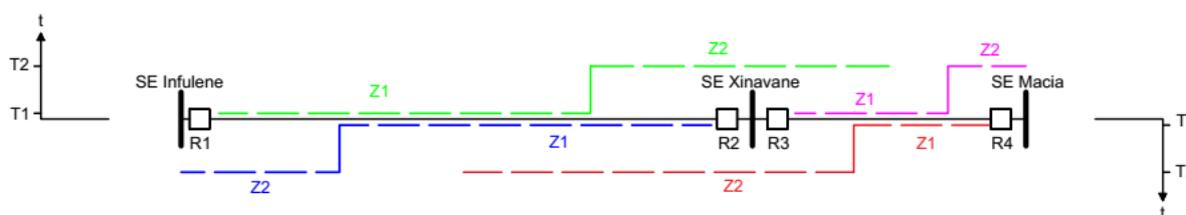


Figura 16: Figura 17: Ilustração das zonas de protecção dos relés (Fonte: O Autor, 2024)

A figura acima ilustra as zonas de protecção dos relés, onde a zona 1 representa a protecção principal e a zona 2 a protecção de retaguarda, assim cada zona principal cobre uma secção da linha na qual o relé de distância responde as faltas com base na sua posição ao longo da linha, havendo falhas na actuação principal a protecção de retaguarda deverá actuar para garantir a selectividade das protecções. Para garantir essa protecção selectiva, os tempos de ajuste dos relés são ajustados de forma que o relé mais próximo da falta opere mais rapidamente do que o relé mais afastado.

## 4.4. Esquema unifilar do projecto

O esquema abaixo ilustra a disposição dos equipamentos nos painéis eléctricos, onde o painel de entrada esta ligada a SE de Infulene que representa a fonte de alimentação,

logo na entrada do painel encontra-se os para-raios responsáveis por proteger contra os surtos de tensão, seguido pelos transformadores de medida utilizados para medir e monitorar a tensão e corrente, fornecendo tais informações para o controle e protecção do sistema, seguido pelo seccionador de linha responsável por isolar e interromper o fluxo de energia. Seguido pelo disjuntor que interrompe a corrente eléctrica em caso de um defeito. Seguido de um seccionador de barramento utilizado para isolar os disjuntores em caso de manutenção e por fim o barramento que distribui a energia eléctrica para as duas subsecções a de Xinavane e Macia a partir de um outro painel de saída constituído pelos mesmos equipamentos instalados no painel de entrada.

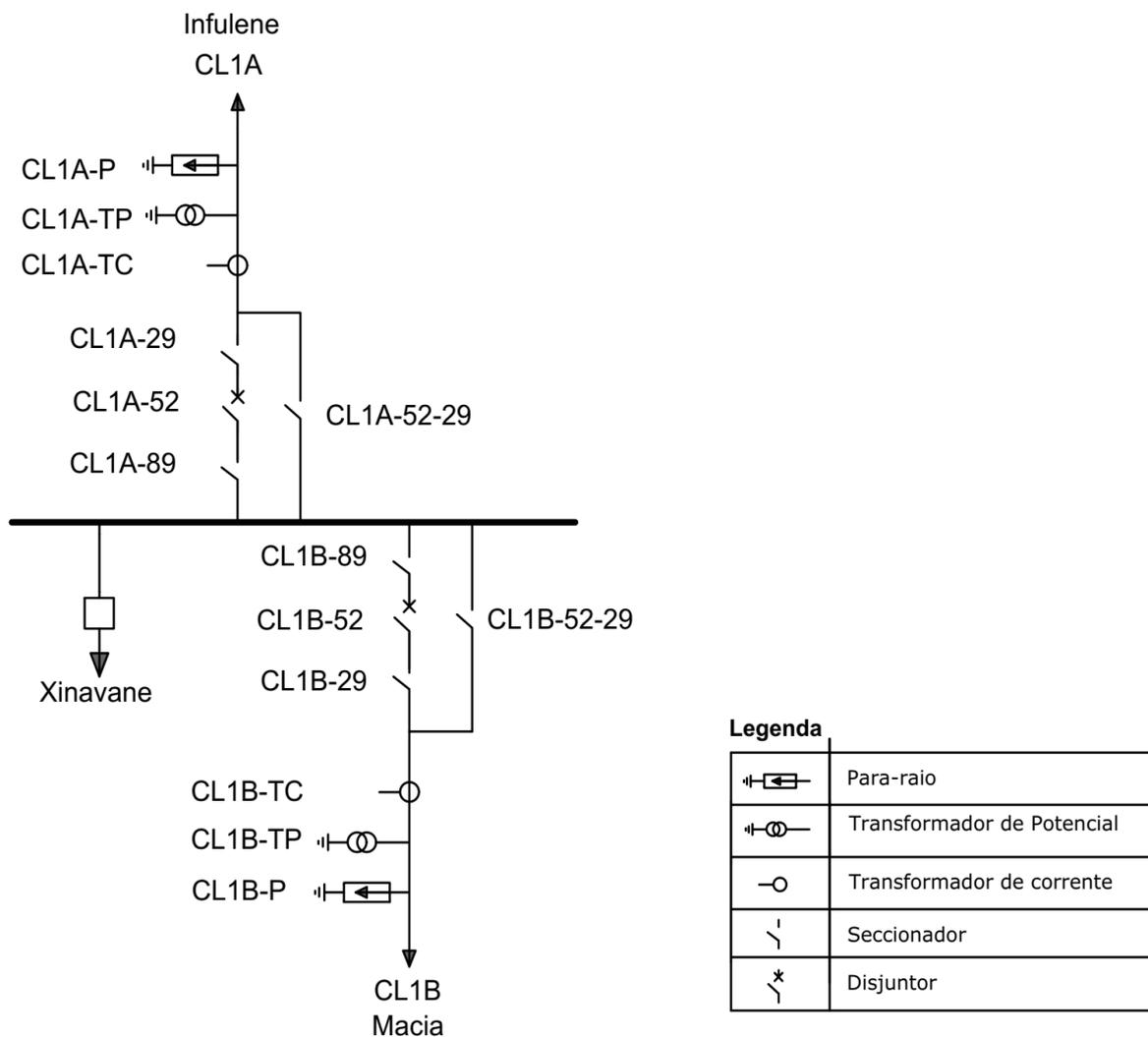


Figura 17: Esquema unifilar do projecto (Fonte: O Autor, 2024)

## 4.5. Estimativa de custo

Tabela 8: Estimativa de custo (Fonte: O Autor, 2024):

Ord	Designação	Qtd	Custo unit (MZN)	Custo total
1	Disjuntor de potência	2	1995120,00	3990240,00
2	Para-raios	6	95000,00	570000,00
3	Seccionador	6	900000,00	5400000,00
4	Transformador de corrente	6	1200000,00	7200000,00
5	Transformador de potencial	6	1200000,00	7200000,00
6	Relé de distância	2	1100000,00	2200000,00
7	Barramento	20 m	163800,00	163800,00
			Total	26724040,00

## 5. CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 5.1. Conclusão

O desenvolvimento do presente projecto teve como objectivo principal dimensionar dois painéis eléctricos de entrada e saída para o ponto de derivação da subestação de Xinavane na linha de transmissão CL1, dando ênfase nos desafios enfrentados na transmissão de energia para atender a crescente demanda e garantir a confiabilidade no fornecimento. Portanto, o projecto apresenta os principais aspectos a considerar no dimensionamento dos equipamentos, que incluem a capacidade de carga, a protecção adequada e as condições operacionais da linha de transmissão.

Tendo sido realizado os cálculos de dimensionamento de cada equipamento do painel, conclui-se que a correcta especificação dos parâmetros de correntes, coordenação da protecção, coordenação de isolamento e configuração dos mesmos estão em conformidade com as normas e regulamentos estabelecidos para garantir que o sistema possa responder de forma segura e eficiente, garantindo que os painéis não apenas atendam as exigências de carga, mas também proporcionem a robustez necessária para assegurar continuidade e a confiabilidade no fornecimento de energia eléctrica.

Por fim, o desenvolvimento do presente projecto não apenas propõe a eliminação do ponto de derivação através da aplicação de painéis de entrada e saída na linha de transmissão, mais também promove uma operação mais eficiente e confiável do sistema eléctrico, contribuindo significativamente para a estabilidade do sistema e melhorando a qualidade no fornecimento de energia. Desta forma, conclui-se que os objectivos do presente projecto, tanto geral quanto os específicos foram alcançados, podendo a proposta ser aplicável no caso em estudo.

## **5.2. Recomendações**

Dadas as vantagens que o presente projecto trará no desempenho do fornecimento de energia eléctrica, para trabalhos futuros relacionados ao tema de painéis eléctricos de entrada e saída (In and Out) em linhas de transmissão eléctrica, recomenda-se:

- Implementação de sistemas de protecção avançados, através da integração de sistemas de teleprotecção;
- Implementação de redundâncias na protecção dos trechos da linha, através da incorporação de protecção diferencial;
- Aumento da capacidade da linha.

## 6. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FILHO, João Mamede. **Manual de equipamentos elétricos**. 4ª ed. LTC. Rio de Janeiro. 2013.

FILHO, Mamede João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. **Proteção de Sistemas Elétricos de Potência**. LTC. Rio de Janeiro. 2013.

UCHÔA, Wagner Ignácio de Andrada. **Proteção de linhas de transmissão e subtransmissão frente a descargas atmosféricas**. 2014.

SANTOS, Arlane Marcos dos. **Automação de Subestações**. UFOP. 2018

Frazão, Rodrigo José Albuquerque. **Proteção do sistema elétrico de potência**. Editora e Distribuidora Educacional S.A. 2019.

RODRIGUES, Daniela Soares Fernandes. **Análise da aplicação de equipamentos híbridos de proteção e seccionamento em subestações elétricas**. UFMG. 2015

MUZY, Gustavo Luis Castro de Oliveira. **Subestações Elétricas**. UFRJ. 2012

SAMPAIO, Rodrigo Duarte. **Subestações de energia elétrica: metologia e dimensionamento para uma planta elétrica industrial**. UFAM. 2020

Silva, Andre Costa. **Sistemas elétricos de potência e proteção de linhas de transmissão**. UFOP. 2020.

Oliveira, Ana Carolina Pereira de. **Proteção de distância em linhas de transmissão com compensação série através de rede neural artificial**. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais. 2022

CRUZ, Maurício Engers Da. **Análise do desempenho de relés de distância sob condição de saturação dos transformadores de corrente**. UFP. 2013

EIRELES, Denise. **Aplicabilidade de subestações compactas isoladas a gás em grandes centros urbanos: proposta de procedimento aplicado à expansão do sistema elétrico**. Universidade Federal de Minas Gerais. 2010.

TISOTT, Aramis. **Estudo do uso de barramentos rígidos em subestacoes**. UFRGS. Porto Alegre. 2011.

ABB. Switchgear Manual. 10<sup>a</sup> ed. Berlim. 2001.

ABB. Para-raios de alta tensão. 5<sup>a</sup> ed. 2004.

## 7. ANEXO

## ANEXO 1: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DO PARA-RAIOS

Tabela A1-1: Especificações técnicas do para-raios (fonte: ABB 2004)



### Sumário de dados de desempenho

<b>Tensões de sistema (<math>U_m</math>)</b>	24 - 170 kV
<b>Tensões nominais (<math>U_r</math>)</b>	18 - 144 kV
<b>Corrente de descarga nominal (IEC)</b>	10 kA <sub>pico</sub>
<b>Corrente de classificação (ANSI/IEEE)</b>	10 kA <sub>pico</sub>
<b>Capacidade de resistência à corrente de descarga:</b>	
Corrente alta por 4/10 $\mu$ s	100 kA <sub>pico</sub>
Corrente baixa por 2.000 $\mu$ s	550 A <sub>pico</sub>
<b>Capacidade de energia:</b>	
Classe de descarga de linha (IEC) [2 impulsos, (IEC Cl. 8.5.5)]	Classe 2 5,1 kJ/kV ( $U_r$ )
Cumpre/supera os requisitos do teste de descarga de linha de transmissão ANSI para sistemas de 170 kV.	
<b>Capacidade de curto-circuito /alívio de pressão</b>	50 kA <sub>sim.</sub>
<b>Isolamento externo</b>	Cumpre/supera padrões
<b>Resistência mecânica:</b>	
Carregamento de serviço estático permissível declarado (DPSSL)	1.000 Nm
Carregamento de serviço dinâmico máximo permissível (MPDSL)	1.600 Nm
<b>Condições de serviço:</b>	
Temperatura ambiente	-50 °C a +45 °C
Altitude de projeto (Altitudes maiores sob solicitação)	máx. de 1.000 m
Frequência	15 - 62 Hz

## ANEXO 2: ESPECIFICAÇÕES TÉCNICAS DOS ELEMENTOS DE PROTECÇÃO E SECCIONAMENTO

Tabela A2.1-2: Características técnicas do disjuntor (fonte: Tech, 2018)

<b>MAIN CHARACTERISTICS</b>					
Rated voltage Ur	kVrms	<b>123</b>	<b>145</b>	<b>170</b>	<b>245</b>
Interrupters / pole	nr	1	1	1	
Type		<b>SB6 123</b>	<b>SB6 145</b>	<b>SB6 170</b>	<b>SB6 245</b>
Rated frequency Fr	Hz	50 / 60			
Insulation levels					
- Power frequency	kVrms	230	275	325	460 (*)
- BIL 1,2/50ms	kVp	550	650	750	1050 (**)
Rated continuous current Ir	A	3150		3150-4000	
Symmetrical breaking capacity Isc	kA	31,5 - 40		31,5 - 40 -50	
Making capacity	kAp	2,5 times Isc (50Hz) - 2,6 times Isc (60Hz)			
Duration of short circuit	s	1 - 3			
Rated break time	ms	50			
Rated closing time	ms	<70			
Operating sequence		O-0,3s-CO-3min-CO or O.0,3s-CO-1min-CO or CO-15s-CO			
Minimum creepage distance	mm/kV	according to pollution levels of IEC 60815			
Ambient temperature range	°C	-25 to + 55			
Seismic capability	g	0,3 / 0,5			

Tabela A2.2-2: Características técnicas do seccionador (fonte: RS, 2018)

### Technical data

Rated voltage	72.5 kV	123 kV	145 kV
Rated current	Up to 4000 A		
Rated short-circuit current	Up to 63 kA (1s)		
Rated peak withstand current	Up to 160 kA		
Power frequency withstand voltage AC Hz, 1 min – against ground	140 kV	230 kV	275 kV
Power frequency withstand voltage AC 50 Hz, 1 min – across isolating distance	160 kV	265 kV	315 kV
Rated lightning impulse withstand voltage 1.2/50 µs – against ground	325 kV	550 kV	650 kV
Rated lightning impulse withstand voltage 1.2/50 µs – across isolating distance	375 kV	630 kV	750 kV

### ANEXO 3: RELAÇÕES NOMINAIS DOS TRANSFORMADORES DE MEDIDA

Tabela A3-3: Correntes primárias e relações nominais do RTC (fonte: Mamede, 2013)

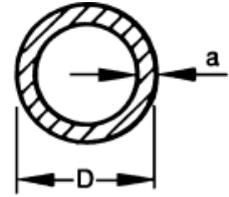
Corrente nominal	Relação nominal						
5	1:1	60	12:1	400	80:1	2500	500:1
10	2:1	75	15:1	500	100:1	3000	600:1
15	3:1	100	20:1	600	120:1	4000	800:1
20	4:1	125	25:1	800	160:1	5000	1.000:1
25	5:1	150	30:1	1000	200:1	6000	1.200:1
30	6:1	200	40:1	1200	240:1	8000	1.600:1
40	8:1	250	50:1	1500	300:1	-	-
50	10:1	300	60:1	2000	400:1	-	-

## ANEXO 4: PARAMEROS PARA DIMENSIONAMENTO DO BARRAMENTO

Tabela A4.1-4: características do barramento de alumínio (fonte: ABB 2001)

Table 13-9

Aluminium conductors of annular cross-section, ambient temperature 35 °C, conductor temperature 65 °C; with alternating current, phase centre-line distance  $\geq 2.0 \times$  outside diameter.



Outside diameter D mm	Wall-thickness a mm	Cross-section mm <sup>2</sup>	Weight <sup>1)</sup> kg/m	Material <sup>2)</sup>	Continuous current in A DC and AC up to 60 Hz		Continuous current in A	
					indoor painted	bare	outdoor painted	bare
20	2	113	0.305	E-Al F 10	305	257	365	354
	3	160	0.433	E-Al F 10	363	305	435	421
	4	201	0.544	E-Al F 10	407	342	487	472
	5	236	0.636	E-Al F 10	440	370	527	511
	6	264	0.713	E-Al F 10	465	392	558	540

Tabela A4.2-4: Modulo de resistência e momento de inercia (fonte: TISOTT, 2011)

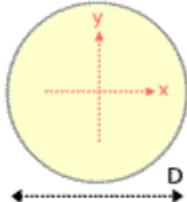
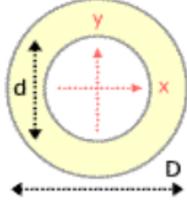
Tipo	Geometria	Módulo de Resistência	Momento de Inércia
Vergalhão		$W = \frac{\pi \times D^3}{32}$	$J = \frac{\pi \times D^4}{64}$
Tubo		$W = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{32 \times D}$	$J = \frac{\pi(D^4 - d^4)}{64}$

Tabela A4.3-5: factor  $k$  em função do material do barramento (fonte: TISOTT, 2011)

Fator $k$	
Condutores nus em cobre	159
Condutores nus em alumínio	104

Tabela A4.4-5: factor  $n$  (fonte: TISOTT, 2011)

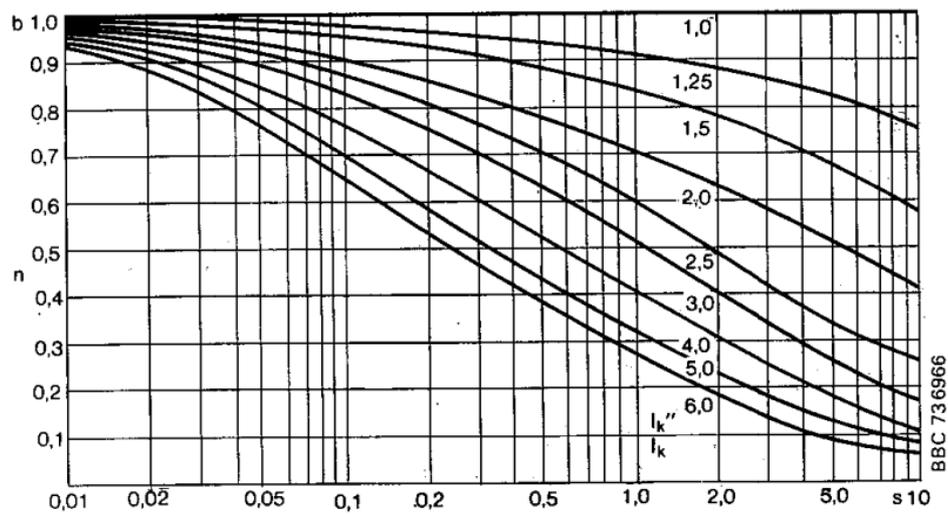
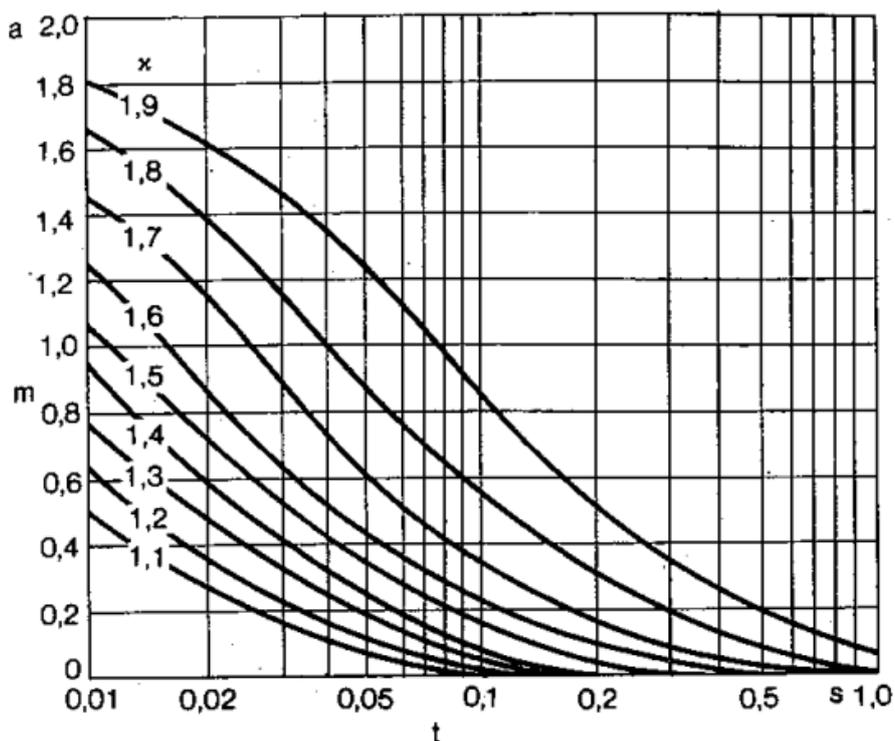


Tabela A4.5-5: factor  $m$  (fonte: TISOTT, 2011)



## ANEXO 5: DISTANCIAS MINIMAS PARA INSALACOES EXERIORES

Tabela A5-6: Distâncias mínimas para instalações exteriores (Boletim da república, 2011)

Tensão Nominal	Tensão máxima de serviço	Tensão de curta duração	Tensão de impulso	d Exterior
kV	kV	kV	kV	mm
1	1.1	-	-	-
3	3.6	10	20	120
			40	120
6.6	7.26	20	40	120
			60	120
11	12.1	28	60	150
			75	150
15	16.5	38	75	160
			95	160
22	24.2	50	95	160
			125	220
33	36.3	70	145	270
			170	320
45	52	95	250	480
66	72.6	140	325	630
80	88	-	-	-
88	96.8	-	-	-
100	110	-	-	-
110	123	230	550	900
				1100
132	145.2	230	550	1100
		275	650	1300
150	170	325	750	1500
220	245	360	850	1700
		395	950	1900
		460	1050	2100

## ANEXO 6: CARGAS PREVISTAS PARA OS TRANSFORMADORES DE MEDIDA

Tabela A6-7: Cargas previstas para os transformadores de medida (fonte: O Autor, 2024)

<b>Transformador de corrente</b>		<b>Transformador de potencial</b>	
Equipamento	Consumo (VA)	Equipamento	Consumo (VA)
Relé	8	Relé	8
Amperímetro	3,5	Voltímetro	7
Wattímetro	2,5	Wattímetro	2,5
	14		17,5

## ANEXO 7: FUNÇÕES ANSI

Tabela A7.1-8: FUNÇÕES ANSI

TABELA ANSI / IEC 61850		
ANSI	IEC	Denominação
1		Elemento Principal
2		Função de partida ou fechamento temporizado
3		Função de verificação ou interbloqueio
4		Contator principal
5		Dispositivo de interrupção
6		Disjuntor de partida
7		Disjuntor de anodo
8		Dispositivo de desconexão da energia de controle
9		Dispositivo de reversão
10		Chave de sequência das unidades
11		Reservada para futura aplicação
12		Dispositivo de sobrevelocidade
13		Dispositivo de rotação síncrona
14		Dispositivo de subvelocidade
15		Dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade ou frequência
16		Reservado para futura aplicação
17		Chave de derivação ou descarga
18		Dispositivo de aceleração ou desaceleração
19		Contator de transição partida-marcha
20		Válvula operada eletricamente
21	PDIS	Relé de distância
22		Disjuntor equalizador
23		Dispositivo de controle de temperatura
24		Relé de sobreexcitação ou Volts por Hertz
25		Relé de verificação de Sincronismo ou Sincronização
26		Dispositivo térmico do equipamento
27		Relé de subtensão
27-0		Relé de subtensão na alimentação auxiliar
28		Reservado para futura aplicação
29		Contator de isolamento
30		Relé anunciador de alarme
31		Dispositivo de excitação
32		Relé direcional de potência
33		Chave de posicionamento
34		Chave de sequência operada por motor
35		Dispositivo para operação das escovas ou curto-circuitar anéis coletores
36		Dispositivo de polaridade
37		Proteção de motor: relé de subcorrente ou subpotência
38		Dispositivo de proteção de mancal

Tabela A7.2-9: FUNÇÕES ANSI

39		Reservado para futura aplicação
40		Relé de perda de excitação
41		Disjuntor ou chave de campo
42		Disjuntor/ chave de operação normal
43		Dispositivo de transferência manual
44		Relé de sequência de partida
45		Reservado para futura aplicação
46		Relé de proteção de seqüência negativa
47		Relé de sequência de fase de tensão
48		Relé de sequência incompleta de partida
49	PTR	Relé de proteção térmica
50		Relé de sobrecorrente instantâneo
50N		Relé de sobrecorrente instantâneo de neutro
50BF	CBF	Relé de proteção de falha de disjuntor
51	PTOC	Relé de sobrecorrente temporizado
51N	PTOC	Relé de sobrecorrente temporizado de neutro
51GS		Relé de sobrecorrente temporizado de sensor de terra (GS)
52		Disjuntor de corrente alternada
53		Relé para excitatriz ou gerador CC
54		Disjuntor para corrente contínua, alta velocidade
55		Relé de fator de potência
56		Relé de aplicação de campo
57		Dispositivo de aterramento ou curto-circuito
58		Relé de falha de retificação
59	PTOV	Relé de sobretensão
59N	PTOV	Relé de tensão de terra
60		Relé de balanço de tensão / queima de fusíveis
61		Relé de balanço de corrente
62		Relé de interrupção ou abertura temporizada
63		Relé de pressão ou nível de fluxo líquido ou gás (Buchholz)
64		Relé de proteção de terra
65		Regulador (governador) de velocidade
66		Proteção de motor: supervisão do número de partidas
67	PTOC	Relé direcional de sobrecorrente
68		Relé de bloqueio por oscilação de potência
69		Dispositivo de controle permissivo
70		Reostato eletricamente operado
71		Dispositivo de detecção de nível
72		Disjuntor de corrente contínua
73		Contator de resistência de carga
74		Função de alarme

Tabela A7.3-10: FUNÇÕES ANSI

75		Mecanismo de mudança de posição
76		Relé de sobrecorrente DC
77		Transmissor de impulsos
78		Relé de medição de ângulo de fase/ proteção contra falta de sincronismo
79		Relé de religamento AC
80		Reservado para futura aplicação
81		Relé de sub / sobrefrequência
82		Relé de religamento DC
83		Relé de seleção/ transferência automática
84		Mecanismo de operação
85		Relé receptor de sinal de telecomunicação
86		Relé auxiliar de bloqueio
87B	PDIF	Proteção diferencial - barra
87T	PDIF	Proteção diferencial - transformador
87G	PDIF	Proteção diferencial - gerador
87L	PDIF	Proteção diferencial - linha
88		Motor auxiliar ou motor gerador
89		Chave seccionadora
90		Dispositivo de regulação
91		Relé direcional de tensão
92		Relé direcional de tensão e potência
93		Contator de variação de campo
94		Relé de desligamento
95 à 99		Reservado para aplicações específicas

## ANEXO 8: ACTA DE ENCONTROS REGULARES

Tabela A8.1-11: FUNÇÕES ANSI



FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

### ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2024ELEPD07	Data:	26/03/2024
---------------------	-------------	-------	------------

#### 1. AGENDA

<b>Apresentação do termo de atribuição de tema ao supervisor</b>
--

#### 2. PRESENCAS

<b>Supervisor</b>	MSc, Eng. Fernando Chachaia
<b>Estudante</b>	Emílio, Esmera Benjamim
<b>Outros</b>	

#### 3. RESUMO DO ENCONTRO

<b>Apreciação do termo de atribuição de tema</b>
--

#### 4. RECOMENDAÇÕES

<b>Melhorar os objectivos específicos</b>
---

<b>5. OBSERVAÇÕES</b>	
-----------------------	--

<b>6. DATA DO PROXIMO ENCONTRO</b>	
------------------------------------	--

Tabela A8.2-12: FUNÇÕES ANSI



**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

**ACTA DE ENCONTROS**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2024ELEPD07	Data:	08/05/2024
---------------------	-------------	-------	------------

**1. AGENDA**

**Apresentação da evolução do projecto**

**2. PRESENCAS**

<b>Supervisor</b>	MSc, Eng. Fernando Chachaia
<b>Estudante</b>	Emílio, Esmera Benjamim
<b>Outros</b>	

**3. RESUMO DO ENCONTRO**

**Apresentação do projecto e exposição de dificuldades.**

**4. RECOMENDAÇÕES**

- **Explicar os gráficos ilustrados no projecto;**
- **Ir em conformidade com o regulamento e normas;**
- **Melhorar as citações.**

**5. OBSERVAÇÕES**

**6. DATA DO PROXIMO ENCONTRO**

Tabela A8.3-13: FUNÇÕES ANSI



**FACULDADE DE ENGENHARIA**

**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

**ACTA DE ENCONTROS**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2024ELEPD07	Data:	03/06/2024
---------------------	-------------	-------	------------

**1. AGENDA**

<b>Apresentação do projecto final</b>
---------------------------------------

**2. PRESENCAS**

<b>Supervisor</b>	MSc, Eng. Fernando Chachaia
<b>Estudante</b>	Emílio, Esmera Benjamim
<b>Outros</b>	

**3. RESUMO DO ENCONTRO**

<b>Apresentação do projecto final ao supervisor</b>
---

**4. RECOMENDAÇÕES**

<ul style="list-style-type: none"><li>➤ <b>Melhorar o resumo;</b></li><li>➤ <b>Melhorar a conclusão;</b></li><li>➤ <b>Melhorar os desenhos técnicos.</b></li></ul>
--

<b>5. OBSERVAÇÕES</b>	
-----------------------	--

<b>6. DATA DO PROXIMO ENCONTRO</b>	
------------------------------------	--

## ANEXO 9: RELATÓRIO DE PROGRESSO

Tabela A9-14: FUNÇÕES ANSI



### FACULDADE DE ENGENHARIA

### DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

#### Relatório de Progresso

Referência do tema:	2024ELEPD07
---------------------	-------------

#### 1. ACTIVIDADES PLANIFICADAS

ACTIVIDADE	PRAZO PREVISTO
1. Apresentação de Termo de Atribuição de Tema ao supervisor	26/03/2024
2. Apresentação da evolução do projecto	08/05/2024
3. Apresentação de algumas dificuldades	20/05/2024
4. Apresentação do projecto final	03/06/2024

#### 2. CONTROLO DE EXECUCAO

ACTV.	DATA	ESTÁGIO (%)	OBSERVAÇÕES	RÚBRICA
1	27/03/2024	80	Melhoramento dos objectivos específicos	
2	10/05/2024	75	Explicação de gráficos ilustrados no projecto;	
3	11/05/2024	100	Ir em conformidade com o regulamento e normas;	
4	04/06/2024	75	Melhoramento dos desenhos técnicos.	
5	05/06/2024	90	Melhoramento do resumo e conclusão;	

## ANEXO 10: MODELO ICÓNICO DOS PAINÉIS

Figura A10.1-15: Modelo icónico dos painéis (fonte: o Autor, 2024)

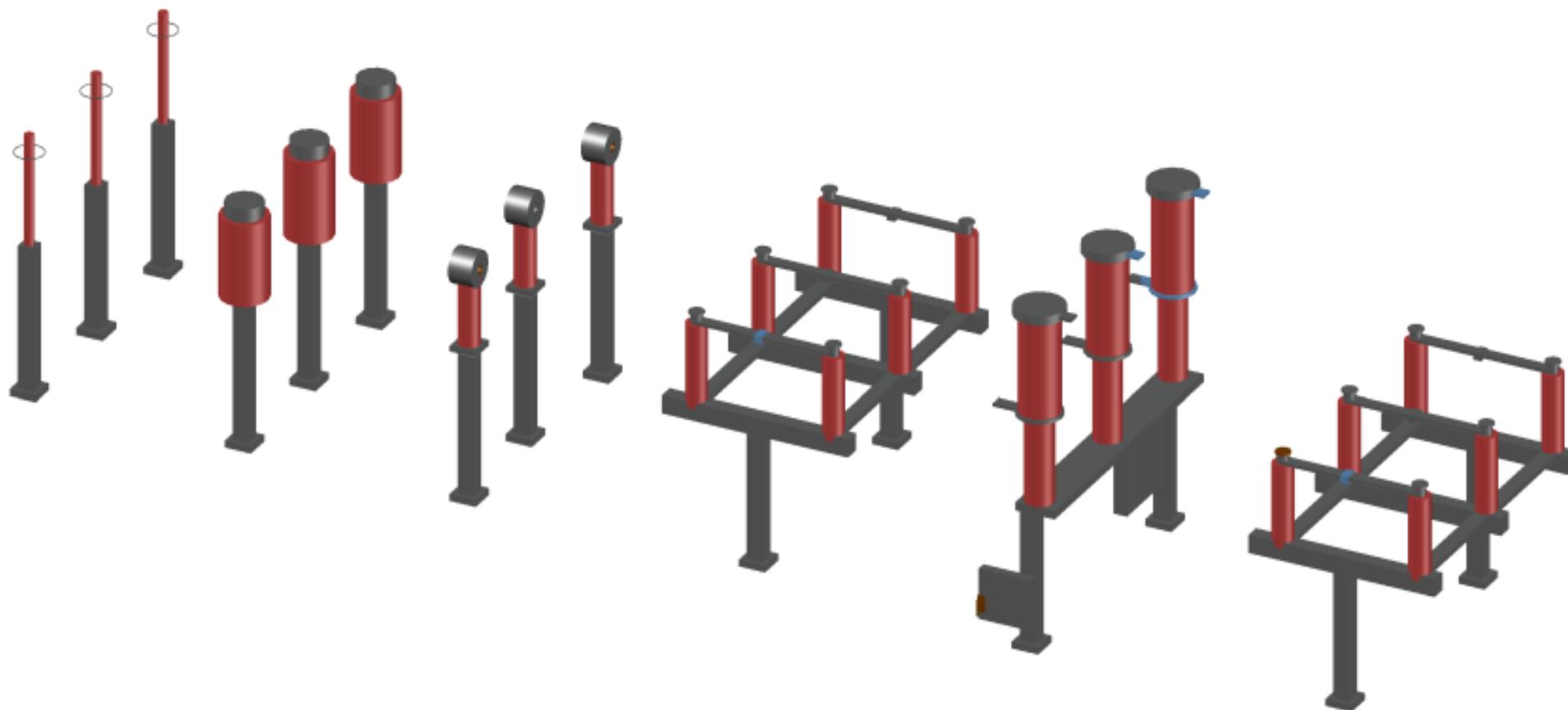


Figura A10.2-16: Modelo icónico dos painéis (fonte: o Autor, 2024)

