



UNIVERSIDADE  
EDUARDO  
MONDLANE

**FACULDADE DE ENGENHARIA  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA  
ESTÁGIO PROFISSIONAL**

**ANÁLISE DAS CAUSAS DE DISPAROS NAS LINHAS DE ALTA  
TENSÃO DE 110 kV CL4 E CL5 DA REGIÃO SUL DE  
MOÇAMBIQUE E PROPOSTA DE MITIGAÇÃO**

**Autor:**

Massingue, Jovial de Brazão Judas

**Supervisores:**

Doutor Gabriel Auziane, Eng.º (UEM)

Eng.º Nelson Américo Nhavoto (EDM)

Maputo, Novembro de 2025



**FACULDADE DE ENGENHARIA  
LICENCIATURA EM ENGENHARIA ELÉCTRICA  
ESTÁGIO PROFISSIONAL**

**ANÁLISE DAS CAUSAS DE DISPAROS NAS LINHAS DE ALTA  
TENSÃO DE 110 kV CL4 E CL5 DA REGIÃO SUL DE  
MOÇAMBIQUE E PROPOSTA DE MITIGAÇÃO**

**Autor:**

Massingue, Jovial de Brazão Judas

**Supervisores:**

Doutor Gabriel Auziane, Eng.º (UEM)

Eng.º Nelson Américo Nhavoto (EDM)

Maputo, Novembro de 2025

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, especialmente aos meus pais, que foram o meu alicerce em cada etapa desta caminhada.

À minha mãe Brígida Pedro Mondlane Massingue, pelo amor incondicional, apoio incansável e por acreditar sempre no meu potencial, mesmo nos momentos mais desafiantes e em todas as vertentes da minha vida. As suas orações silenciosas e sua presença constante foram a minha fortaleza nos dias mais difíceis.

Ao meu pai Judas Xavier Massingue, exemplo de dedicação, responsabilidade e sabedoria. Obrigado por me ensinar através do exemplo, por me motivar a prosseguir com os estudos e por acreditar firmemente nos meus sonhos. Os seus conselhos, a sua serenidade e o seu compromisso foram fundamentais para moldar o carácter e a determinação que hoje me permitem celebrar esta conquista.

Dedico aos meus irmãos mais novos, Lúcia Massingue, Pérola Massingue e Áriel Massingue, pelo carinho, incentivo e apoio moral ao longo da minha jornada académica.

Dirijo igualmente esta dedicatória à Djene Teresa Emiliano, companheira e luz nos meus dias sombrios. Obrigado por acreditar em mim quando eu próprio duvidei, por me ouvir quando eu apenas precisava de desabafar, e por caminhar ao meu lado com amor, paciência e compreensão.

A vocês, minha eterna gratidão. Este marco não é apenas meu é nosso.

## **AGRADECIMENTOS**

Em primeiro lugar, agradeço a Deus pela vida, saúde, motivação e por conceder sabedoria e forças suficientes para o desenvolvimento deste trabalho. Ele é o princípio e o fim da minha existência, e, por isso, serei eternamente grato.

Expresso um especial agradecimento aos meus pais, Judas Xavier Massingue e Brígida Pedro Mondlane Massingue, por terem sido minha primeira fonte de inspiração, tanto na vida carnal como espiritual. Obrigado por me incentivarem a colocar sempre os estudos em primeiro lugar, pelos conselhos sábios, pela motivação incansável e por tudo que tem feito em prol do meu bem-estar.

Agradeço aos meus irmãos mais novos, Lúcia Massingue, Pérola Massingue e Áriel Massingue pela inspiração e pelo suporte emocional.

Um reconhecimento muito especial ao Dr. Gabriel Auziane, Eng.º, meu supervisor, pela paciência, atenção, disponibilidade e pelos valiosos ensinamentos transmitidos ao longo do trabalho. Suas experiências profissionais e académicas não só contribuíram imensamente para o desenvolvimento deste projecto, assim como para o meu próprio crescimento profissional.

Ao meu supervisor da EDM, Eng.º Nelson Nhavoto, deixo o meu sincero agradecimento pela paciência, dedicação e prontidão em me ajudar em cada etapa deste trabalho, sempre mantendo um bom senso de humor.

Agradecer a todos os docentes da Faculdade de Engenharia da UEM, em especial aos docentes do Departamento de Electrotécnica por terem contribuído no processo de ensino e aprendizagem, o que foi imensamente importante para o meu desenvolvimento académico e profissional.

Aos meus amigos da Faculdade Matias Laura, Fernando Matsinhe, Darwin Cumbane, Pedro Siteo, Hélio Camunati, Cled Nhampule, Pascoal Orlando, Hélder Mubetei, Michael Francisco e aos demais colegas da turma de Engenharia eléctrica 2021, vão os meus especiais agradecimentos pelo suporte, pela partilha de conhecimentos e pela convivência diária que tanto contribuíram para o meu crescimento social e académico.

A todos que não tenha citado e que de forma directa ou indirecta contribuíram na minha caminhada estudantil.

Muito Obrigado!

## EPÍGRAFE

*“O temor do Senhor é o princípio da sabedoria; bons entendimentos têm todos os que observam os seus mandamentos.”*

*Salmos 111:10*

## RESUMO

O presente trabalho propõe analisar as causas dos disparos registados nas linhas de transmissão de 110 kV CL4 e CL5, localizadas na região sul de Moçambique, visando o aumento da fiabilidade e da continuidade de serviço do sistema eléctrico e propor soluções de mitigação. A pesquisa incide na necessidade da substituição dos relés estáticos por relés digitais, que oferecem maior direccionalidade, melhor selectividade e capacidade de comunicação para suportar esquemas avançados de protecção. É igualmente recomendada a implementação de cabo OPGW, que além da função de blindagem contra descargas atmosféricas, possibilita a teleprotecção rápida e segura entre as extremidades das linhas. A metodologia adoptada baseou-se na análise de dados reais de operação, tempos de indisponibilidade e registos de actuação das protecções, complementada com uma simulação do caso específico de actuação do relé de distância estático, comparativamente aos relés digitais, onde efetuou-se a proposta de novos ajustes. Foram ainda avaliadas as causas dos demais defeitos ocorridos, verificando-se que a maioria dos disparos resulta de faltas monofásicas à terra, seguindo-se faltas bifásicas e, com menor incidência, faltas trifásicas.

Dado o papel estratégico destas linhas na interligação com a África do Sul, as medidas técnicas propostas contribuem para a melhoria dos indicadores de continuidade e reforço da estabilidade do Sistema Eléctrico de Potência. Finalmente, é apresentado um plano de monitorização contínua e manutenção preventiva, que visa reduzir falhas, otimizar a actuação das protecções e garantir maior segurança e eficiência na operação da rede.

**Palavras-chave:** Linha de transmissão, Relés estáticos, Relés digitais, Protecções, Mitigação de disparos.

## ABSTRATS

This work aims to analyse the causes of tripping events recorded on the 110 kV transmission lines CL4 and CL5, located in the southern region of Mozambique, with the objective of increasing the reliability and continuity of service of the electric power system and proposing mitigation solutions. The research highlights the need to replace static relays with digital relays, which offer improved directionality, greater selectivity and advanced communication capabilities to support modern protection schemes. The implementation of OPGW cable is also recommended, as, in addition to providing shielding against lightning strikes, it enables fast and secure teleprotection between the ends of the lines.

The adopted methodology was based on the analysis of real operational data, outage durations and protection operation records, complemented by a simulation of the specific case involving the operation of the static distance relay, compared with digital relays, allowing the proposal of new settings. The causes of other fault events were also analysed, and it was verified that most trips result from single-line-to-ground faults, followed by phase-to-phase faults and, less frequently, three-phase faults.

Given the strategic role of these lines in the interconnection with South Africa, the proposed technical measures contribute to improving continuity indicators and reinforcing the stability of the Power System. Finally, a continuous monitoring and preventive maintenance plan is presented, aiming to reduce faults, optimize protection operation, and ensure greater safety and efficiency in network operation.

**Keywords:** Transmission line, Static relays, Digital relays, Protections, Trip mitigation.

# Índice

CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES INICIAIS .....	1
1.1. Introdução .....	1
1.2. Formulação do problema.....	1
1.3. Justificativa.....	2
1.4. Objectivos.....	3
1.4.1. Objectivo geral.....	3
1.4.2. Objectivos específicos .....	3
1.5. Metodologia.....	3
1.6. Organização do trabalho .....	4
CAPÍTULO II – DESCRIÇÃO GERAL DO LOCAL DO ESTÁGIO PROFISSIONAL.....	6
2.1. Considerações iniciais.....	6
2.2. Divisão de transporte Sul – Subestação de Infulene.....	6
2.2.1. Departamento de equipamentos de potência .....	7
2.2.2. Departamento de subestações .....	8
2.2.3. Departamento de Linhas e Infra-estruturas .....	8
CAPÍTULO III – REVISÃO DA LITERATURA .....	9
3.1. Sistema Eléctrico de Potência.....	9
3.2. Estrutura do Sistema Eléctrico de Potência .....	10
3.2.1. Subestação Geradora.....	10
3.2.2. Subestação de Transmissão.....	10
3.2.3. Subestação de Distribuição .....	11
3.3. Redes eléctricas.....	11
3.3.1. Generalidades sobre rede eléctrica .....	11
3.2.1. Diferentes tipos de redes eléctricas .....	11
3.2.2. Tensão nominal.....	11

3.2.3.	Funções das redes eléctricas .....	12
3.2.4.	Estrutura Topológica .....	12
3.4.	Linhas de Transmissão Eléctrica .....	14
3.4.1.	Configurações .....	14
3.4.2.	Parâmetros .....	14
3.4.3.	Classificação das linhas em função do comprimento .....	17
3.4.4.	Principais componentes da linha de transmissão .....	18
3.4.5.	Defeitos e condições anormais das Linhas.....	20
3.4.6.	Tipos de defeitos.....	20
3.5.	Protecção das Redes eléctricas .....	21
3.5.1.	Aspectos introdutórios .....	21
3.5.2.	Breve revisão histórica dos relés de protecção .....	22
3.5.3.	Relés electromecânicos.....	22
3.5.3.	Relés estáticos.....	23
3.5.4.	Relés Digitais .....	24
3.5.5.	Funções das protecções .....	25
3.6.	Técnicas de protecção de linhas de transmissão .....	27
3.6.1.	Equipamentos envolvidos .....	27
3.6.2.	Transformador de medida de intensidade.....	27
3.6.3.	Transformador de medida de tensão .....	28
3.6.4.	Disjuntores.....	29
3.6.5.	Protecção de distância.....	30
3.6.6.	Zonas de protecção .....	30
3.6.7.	Relé de distância (21).....	30
3.6.8.	Teleprotecção.....	33

CAPÍTULO IV: LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DAS LINHAS CL4 E CL5.....	34
4.1. Introdução .....	34
4.2. Caracterização técnica da linha CL4 (Corumana – Infulene, 110 kV) .....	34
4.2.1. Parâmetros eléctricos da linha CL4 .....	35
4.2.2. Equipamentos de protecções existentes da linha .....	35
4.3. Caracterização técnica da linha CL5 (Komatipoort – Corumana, 110 kV).....	36
4.3.1. Parâmetros eléctricos da linha CL5 .....	37
4.3.2. Equipamentos de protecções existentes da linha .....	37
4.4. Levantamento do histórico e falhas e disparos .....	38
4.5. Tempo de indisponibilidade .....	39
4.6. Zonas de protecção.....	39
CAPÍTULO V: INVESTIGAÇÃO DAS CAUSAS DOS DISPAROS NAS LINHAS CL4 E CL5 .	
5.1. Introdução .....	40
5.2. Caso de estudo .....	40
5.3. Inconvenientes dos relés de distância analógicos.....	41
5.4. Investigação das causas eléctricas dos disparos.....	42
5.4.1. Defeitos monofásicos a terra (SLG).....	42
5.4.2. Defeitos bifásicos (LL) e bifásicas à terra (LLG) .....	43
5.4.3. Defeitos Trifásicos (LLL) .....	44
5.5. Investigação das causas mecânicas e estruturais .....	44
5.5.1. Degradação de isolares .....	45
5.5.2. Vegetação próxima da linha.....	45
5.6. Investigação das causas atmosféricas .....	45
5.6.1. Investigação das causas atmosféricas .....	45
CAPÍTULO VI: MÉTODOS PRÁCTICOS DE MITIGAÇÃO DOS DISPAROS .....	46

NAS LINHAS CL4 E CL5.....	46
6.1. Troca dos relés analógicos para digitais e implementação do cabo OPGW nas Linhas CL4 e CL5 .....	46
6.1.2. Revisão dos alcances das zonas (Z1, Z2 e Z3).....	46
6.1.3. Teleprotecção.....	48
6.1.4. Explicação dos esquemas apresentados nas linhas CL4 e CL5 .....	48
6.2. Regulação do relé de distância das linhas .....	49
6.2.1. Parametrização do relé de distância digital (21) .....	49
6.3. Simulação computacional do caso em estudo com auxílio de Etap software.....	52
6.3.1. Esquema das linhas CL4 e CL5.....	52
6.3.2. Verificação do fluxo de potência .....	53
6.4. Medidas de mitigação para minimizar outros defeitos nas linhas.....	55
6.4.1. Reforço da protecção contra descargas atmosféricas .....	55
CAPÍTULO VII: PLANO DE MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA E MANUTENÇÃO PREVENTIVA DAS LINHAS CL4 E CL5.....	57
7.1. Breve descrição.....	57
7.2. Estimativa de custos para Implementação do projecto de substituição dos relés .....	57
7.2.2. Mão-de-obra .....	58
CAPÍTULO VIII: CONSIDERAÇÕES FINAIS .....	59
8.1. Conclusões.....	60
8.2. Recomendações.....	60
8.3. Bibliografia.....	62
8.3.1. Referências Bibliográficas .....	62
8.3.2. Outra bibliografia consultada .....	63

## **Lista de símbolos**

**UEM** – Universidade Eduardo Mondlane

**EDM** – Electricidade de Moçambique

**DTSU** – Divisão de Transporte Sul

**ETAP** – *Electrical Transient and Analysis Program* / Programa de Análise e Transmissão Eléctrica

**kV** – quilo-Volt

**m** – metro

**km** – quilómetros

**BL** – Linha com nível de tensão 275 kV

**CL** – Linha com nível de tensão 110 kV

**SCADA** – Supervisory Control And Data Acquisition / Sistema de Supervisão, Controlo e Aquisição de Dados

**SEP** – Sistema eléctrico de potência

**LT** – Linha de transmissão

**LTs** – Linhas de transmissão

**ASCR** – *Aluminum Conductor Steel reinforced* / condutores de alumínio com reforço de aço

**SF6** – Hexafluoreto de enxofre

**ESKOM**– *Electricity Supply Commission of South Africa* / Companhia Estatal de Electricidade da África do Sul.

**SAPP** – *Southern African Power Pool* / Sistema de Interligações Eléctricas da África Austral

**TTs** – Transformadores de medida de tensão

**TIs** – Transformadores de medida de intensidade

**ANSI** – *American National Standards Institute* / Instituto Americano de Normalização

**MAT** – Muito Alta Tensão

**AT** – Alta Tensão

**BT** – Baixa tensão

**A** – Ampère

**AP** – apêndice

**min** – minuto

**MTBF** – *Mean Time Between Failures* / Tempo médio entre falhas

**MTTR** – *Mean Time To Repair* / Tempo médio para reparação

**SE** – Subestação

**SLG** – *Single Line-to-Ground Fault* / Falta monofásica à terra

**LLG** – *Line-to-Line-to-Ground Fault* / Falta bifásica à terra

**LL** – *Line-to-Line Fault* / Falta bifásica sem terra

**TC** – Transformador de Corrente

**TP** – Transformador de Potencial

**OPGW** – *Optical Ground Wire* / Cabo de guarda com fibra óptica

**HCB** – Hidroelétrica de Cahora Bassa

**CA** – Corrente alternada

**CC** – Corrente contínua

**IEEE** – Instituto de Engenheiros Electricistas e Electrónicos

**R<sub>o</sub>** – Resistência homopolar

**X<sub>o</sub>** – Reactância homopolar

**U** – Tensão

**I** – Corrente

**IEC** – *International Electrotechnical Commission* / Comissão Eletrotécnica Internacional

**RSLEAT** – Regulamento de Segurança de Linhas Eléctricas de Alta Tensão

**R<sub>E</sub>** – Resistência equivalente de sequência zero utilizada na parametrização da protecção

**X<sub>E</sub>** – Reactância equivalente de sequência zero utilizada na parametrização da protecção

**KOLR** – Coeficiente de terra da linha parte resistiva

**KOLX** – Coeficiente de terra da linha parte indutiva

**K<sub>0</sub>** – Factor de compensação total da componente homopolar

## Lista de figuras

Figura 1: Vista panorâmica da SE de Infulene .....	6
Figura 2: Estrutura organizacional da DTSU .....	7
Figura 3: Sistema Eléctrico de Potência .....	9
Figura 4: Estrutura topológica da rede: a) radial; b) malhada; c) malhada (anel) com exploração radial .....	13
Figura 5: Representação modelo de linha curta .....	14
Figura 6: Diagrama fasorial de uma linha curta .....	15
Figura 7: Representação modelo de linha média .....	15
Figura 8: Diagrama fasorial de uma linha média com corrente no terminal receptor em atraso .....	16
Figura 9: Representação modelo de linha longa .....	16
Figura 10: Componentes principais de uma linha aérea de transmissão .....	17
Figura 11: Configurações típicas de LTs / torres e postes de 110 kV normalmente recomendadas em Moçambique. ....	18
Figura 12: Isolador de Vidro em uma linha de transmissão .....	19
Figura 13: Condutor ACSR .....	19
Figura 14: Cabo de Guarda OPGW .....	20
Figura 15: Representação esquemática dos principais tipos de curto-circuito em sistemas trifásicos: (a) Curto-circuito monofásico-terra; (b) Curto-circuito bifásico; (c) Curto-circuito trifásico. ....	21
Figura 16: Representação esquemática dos principais componentes de um relé eletromecânico. ....	22
Figura 17: Ilustração de um relé estático .....	23
Figura 18: Ilustração de um Relé Digital da NARI .....	24
Figura 19: Estrutura simplificada de uma protecção digital .....	25
Figura 20: Funções do relé SEL-311L .....	26
Figura 21: Transformador de medida de intensidade (a) e Representação esquemática do TC (b) .....	28
Figura 22: Transformador de medida de tensão capacitivo (a) e Representação esquemática do TP (b) .....	29

Figura 23: Disjuntor SF6 (a) e Representação esquemática (b).....	29
Figura 24: Características operacionais dos diferentes tipos de relés de distância no plano R–X .....	31
Figura 25:Esquema de uma linha com falta resistiva e alimentação pelos dois terminais. ....	32
Figura 26: Diagrama básico de um sistema de teleprotecção .....	33
Figura 27: Representação esquemática da linha CL4 .....	34
Figura 28: Relé da ABB .....	36
Figura 29: Representação esquemática da linha CL5 .....	37
Figura 30: Relé da ABB .....	38
Figura 31: Medida de relé de distância (21) em presença de um defeito bifásico .....	41
Figura 32: Circuito eléctrico para cálculo da impedância .....	43
Figura 33: Elementos estruturais empenados da torre da CL4 .....	44
Figura 34: Relé estático vs relé digital.....	46
Figura 35: Esquema ilustrativo da instalação dos relés nas linhas CL4 e CL5 e as suas respectivas zonas de protecção .....	47
Figura 36: Esquema ilustrativo do meio de comunicação entre relés por via da fibra óptica .....	48
Figura 37: Esquema das linhas e as respectivas protecções, desenhado no ETAP .....	52
Figura 38: Fluxo de potência da rede simulado no ETAP .....	53
Figura 39: Simulação de um defeito na linha CL5 e actuação incorrecta da protecção da linha CL4 .....	54
Figura 40: Simulação de um defeito na linha CL5 e não actuação da protecção da linha CL4 .....	55

## Lista de tabelas

Tabela 1: Comparação das classes de tensão das redes eléctricas .....	12
Tabela 2: Características das linhas de transmissão .....	17
Tabela 3: Funções do relé SEL-311L.....	26
Tabela 4: Parâmetros da linha CL4 .....	35
Tabela 5: Parâmetros da linha CL5 .....	37
Tabela 6: Dados dos disparos das linhas no período de 2022 a 2025 .....	38
Tabela 7: Tempos de interrupção.....	39
Tabela 8: Zonas de protecção .....	39
Tabela 9: Novos ajustes de zonas de protecção .....	47
Tabela 10: Protecções contra descargas atmosféricas .....	55
Tabela 11: Custo de aquisição do material .....	57
Tabela 12: Equipamentos e respetivas empresas de aquisição para a implementação e ensaios do sistema de protecção com relé SIPROTEC 7SA6 .....	59

## CAPÍTULO I – CONSIDERAÇÕES INICIAIS

### 1.1. Introdução

Os Sistemas Eléctricos de Potência (SEP) representam a infraestrutura fundamental para o fornecimento de energia eléctrica, integrando as fases de produção, transporte, distribuição e consumo. A produção de energia efectua-se em centrais especializadas, como por exemplo: hídricas, térmicas, eólicas e solares, cuja localização é determinada pela disponibilidade de recursos naturais e por condicionantes de ordem técnico-económica. Esta natureza da produção, aliada à complexidade inerente à interligação de cargas e à necessidade de garantir um serviço contínuo e fiável, confere aos SEP um carácter de sistema complexo e dinâmico. O Sistema Eléctrico de Potência (SEP) moçambicano é constituído por uma rede de transporte em múltiplos níveis de tensão (66, 110, 275 e 400 kV). Na região sul, essa função é desempenhada pela Divisão de Transmissão Sul (DTSU), responsável por linhas estratégicas que alimentam importantes cargas industriais das províncias de Maputo, Gaza e Inhambane. Os sistemas de protecção nas subestações são os grandes responsáveis por fazer com que a energia eléctrica chegue aos consumidores finais com qualidade, já que sua função é impedir a propagação de qualquer tipo de falha ocorrida em qualquer ponto da transmissão até aos centros de carga. Diante deste cenário, este trabalho busca analisar os disparos nas linhas de alta tensão de 110 kV CL4 e CL5, avaliando as suas causas e impactos na continuidade do sistema eléctrico associadas. O estudo visa ainda propor soluções técnicas de mitigação que contribuam para o aumento da fiabilidade operacional e a redução das mesmas interrupções no sistema de transmissão de energia eléctrica.

### 1.2. Formulação do problema

As linhas de transmissão de energia eléctrica CL4 (Corumana-Infulene) e CL5 (Komatipoort-Corumana), localizadas na província de Maputo, operam a um nível de tensão de 110 kV e constituem elementos essenciais do sistema de transmissão. Estas linhas asseguram o escoamento de energia proveniente da Central de Corumana (CL4) e o fornecimento de potência de interligação com a vizinha África do Sul (CL5).

No entanto, durante o período de exploração destas linhas, têm-se registado disparos frequentes das protecções, fenómeno que compromete a continuidade do fornecimento de energia eléctrica, causando vários prejuízos operacionais e financeiros.

Perante este cenário, surge a necessidade de investigar as causas que estão na origem desses disparos, compreender os seus impactos na rede eléctrica da região e propor soluções eficazes que permitam minimizar a sua ocorrência. Dessa forma, a questão central de estudo é a seguinte:

### **Quais são as causas dos disparos nas linhas CL4 e CL5 e como mitigá-los?**

#### **1.3. Justificativa**

A escolha do tema justifica-se pela relevância crítica que as linhas de transmissão desempenham para os Sistemas Eléctricos de Potência (SEP), garantindo o equilíbrio entre geração e carga. Bem como pelos frequentes disparos registados nessas linhas de transmissão quer sejam provocados por causas atmosféricas (descargas eléctricas e surtos) ou por causas técnicas (defeitos temporários, desequilíbrios de corrente e falhas de coordenação), podendo causar interrupções no serviço, desequilíbrios na rede e perdas económicas significativas.

No dia 07 de setembro de 2025, registou-se um evento particularmente relevante: um disparo na linha CL5 (Komatipoort → Corumana) que resultou na operação do lado sul, com disparo inesperado do disjuntor da CL4, que interliga SE Corumana à SE Infulene. Na sequência, os disjuntores de 110 kV dos transformadores também se desligaram afectando a continuidade do serviço. Dessa forma, o tema é de grande Relevância pois busca compreender esses fenómenos, propor medidas de mitigação e melhorar a confiabilidade da rede de transmissão, reduzindo desligamentos indevidos e assegurando maior estabilidade da rede de transmissão.

## 1.4. Objectivos

### 1.4.1. Objectivo geral

Analisar as causas de disparos nas linhas de alta tensão de 110 kV CL4 e CL5 da rede eléctrica na região sul de Moçambique e propor soluções que permitam reduzir o número de disparos.

### 1.4.2. Objectivos específicos

- Levantar os dados das condições operacionais actuais das linhas e histórico de falhas, disparos e tempos de indisponibilidade das linhas CL4 e CL5.
- Investigar as causas dos disparos nas linhas CL4 e CL5.
- Propor métodos práticos para a mitigação de disparos das protecções das linhas CL4 e CL5.
- Desenvolver um plano de monitorização contínua e manutenção preventiva.

## 1.5. Metodologia

Para a realização deste projecto, será seguida a seguinte metodologia:

- **Pesquisa bibliográfica:** nesta fase, serão realizadas consultas a livros, artigos científicos, normas e regulamentos e outras fontes oficiais com intuito de obter o máximo de dados necessários para a composição da componente teórica e do desenvolvimento do presente projecto.
- **Pesquisa documental:** consiste na colecta de dados em fontes primárias, serão analisados relatórios de manutenção, registos de disparos nas linhas em estudo da DTSU e relatórios técnicos da EDM.
- **Pesquisa de campo:** será conduzida observação directa nas subestações e painéis das linhas CL4 e CL5, medições de grandezas em estudo, recolha de dados e características técnicas Relevantes, desafios operacionais e entrevistas a engenheiros e operadores.

### Quanto as técnicas de análise de dados:

- **Simulação computacional:** Serão utilizadas ferramentas como **ETAP** (para modelação das linhas, simulação de curtos-circuitos e coordenação de protecção) e **AutoCAD** (para desenho e modelação de esquemas).
- **Interpretação:** verificação das relações entre as variáveis em estudo, a fim de aprofundar os conhecimentos sobre os fenómenos.

### 1.6. Organização do trabalho

O trabalho está organizado em oito capítulos, nomeadamente:

**CAPÍTULO I: CONSIDERAÇÕES INICIAIS**, neste capítulo faz-se uma breve apresentação do trabalho, constando a introdução, a formulação do problema, a justificativa da escolha do tema, os objectivos do trabalho e a respectiva metodologia usada para a realização do mesmo.

**CAPÍTULO II: DESCRIÇÃO GERAL DO LOCAL DO ESTÁGIO PROFISSIONAL**, neste capítulo, é feita uma introdução à instituição de acolhimento do estágio profissional, a Subestação de Infulene, na Matola. São descritos os aspetos relativos à sua constituição, missão e visão, bem como as principais actividades desempenhadas em cada departamento.

**CAPÍTULO III: REVISÃO DA LITERATURA**, no presente capítulo, é exposto o enquadramento teórico do trabalho. A sua construção consistiu na recolha de informação a partir de diversas fontes bibliográficas, como normas técnicas, livros, artigos científicos e teses, com o propósito de fundamentar a concepção do estudo realizado.

**CAPÍTULO IV: LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DAS LINHAS CL4 E CL5**, no presente capítulo serão descritas as condições operacionais actuais das linhas CL4 e CL5, bem como o respetivo histórico de falhas, disparos e indisponibilidades. O objectivo é caracterizar tecnicamente o estado das linhas e estabelecer a base para a análise subsequente.

**CAPÍTULO V: INVESTIGAÇÃO DAS CAUSAS DOS DISPAROS NAS LINHAS CL4 E CL5**, neste capítulo procede-se à investigação das principais causas dos disparos ocorridos nas linhas CL4 e CL5, através da análise dos registos, sinalizações e condições de operação. A

síntese desta avaliação permite identificar padrões de actuação e origens prováveis dos defeitos.

**CAPÍTULO VI: MÉTODOS PRÁCTICOS DE MITIGAÇÃO DOS DISPAROS NAS LINHAS CL4 E CL5**, no presente capítulo apresentam-se propostas técnicas orientadas para a redução dos disparos intempestivos e melhoria da coordenação entre protecções.

**CAPÍTULO VII: PLANO DE MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA E MANUTENÇÃO PREVENTIVA DAS LINHAS CL4 E CL5**, neste capítulo é desenvolvido um plano de monitorização contínua e manutenção preventiva específico para as linhas CL4 e CL5. Pretende-se estruturar actividades e periodicidades que reforcem a fiabilidade operacional e reduzam a incidência de falhas.

**CAPÍTULO VIII: CONSIDERAÇÕES FINAIS**, aqui são apresentadas as conclusões relativas ao trabalho desenvolvido e recomendações para futuros estudos e/ou projectos.

**ANEXOS:** são apresentados os esquemas do projecto, os catálogos consultados, os registos de disparos, as chapas características dos equipamentos envolvidos, bem como algumas das especificações técnicas Relevantes para o projecto em análise.

## CAPÍTULO II – DESCRIÇÃO GERAL DO LOCAL DO ESTÁGIO PROFISSIONAL

### 2.1. Considerações iniciais

Neste capítulo será apresentada a instituição onde foi realizado o estágio profissional, bem como a estrutura organizacional que a compõe, destacando-se os diferentes departamentos e as principais actividades desenvolvidas em cada um deles.

### 2.2. Divisão de transporte Sul – Subestação de Infulene

A Subestação de Infulene está localizada na cidade de Matola, no bairro de Zona Verde na província de Maputo. Construída em 1977, com os níveis de tensão 275/110/66 kV é uma



Figura 1: Vista panorâmica da SE de Infulene

Fonte: Foto tirada pelo autor, 2025

das maiores da região de Maputo, assegurando o encaminhamento das potências das linhas provenientes das centrais de Ressano Garcia 275 kV (BL2) e Matola 275 kV (BL1).

A subestação integra:

- 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 recebe duas linhas de transmissão de 275 kV, designadas BL1 e BL2. A primeira tem origem na subestação da Matola 275 kV, enquanto a segunda é alimentada a partir da subestação de Ressano García. Importa salientar que a SE de Infulene se encontra ainda interligada à central de Corumana por intermédio da linha CL4, garantindo a continuidade e a estabilidade do fornecimento de energia na rede sul.

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

- Departamento de equipamento de potência;
- Departamento de linhas e infraestruturas;
- Departamento de subestações.

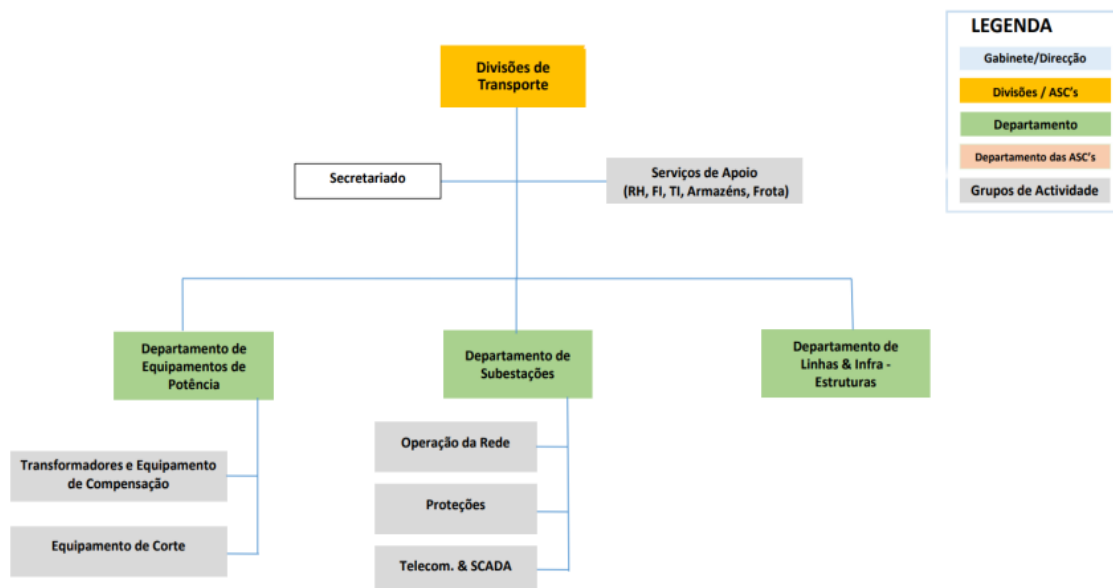


Figura 2: Estrutura organizacional da DTSU.

Fonte: Portal da EDM, 2025

### 2.2.1. Departamento de equipamentos de potência

Neste departamento, adquire-se experiência prática com todos os equipamentos de potência, utilizados no sistema eléctrico, desde a topologia das subestações até ao

funcionamento individual de cada componente. Entre as principais actividades destacam-se:

- Instalação e identificação dos equipamentos de potência tais como: disjuntores, seccionadores, transformadores;
- Teste, ensaios bem como medições de parâmetros como isolamento, resistência e temperatura de equipamentos para garantir conformidade com padrões de segurança e desempenho;
- Manutenção preventiva e correctiva destes equipamentos para garantir a fiabilidade do sistema.

### **2.2.2. Departamento de subestações**

O Departamento de Subestações é responsável pela operação, manutenção, automação e protecção das subestações eléctricas que compõem a rede de transporte. Dentre as actividades destacam-se:

- Monitorização em tempo real das subestações através do sistema SCADA, detectando alarmes e anomalias operacionais;
- Execução de ensaios, comissionamento, incluindo testes de injeção primária e secundária, verificação de cablagem de comando e confirmação de actuação dos relés;
- Análise de ocorrências e disparos, determinando as causas e propondo medidas correctivas ou ajustes de parametrização.

### **2.2.3. Departamento de Linhas e Infra-estruturas**

O departamento de linhas e infraestruturas é responsável pela operação e manutenção das infraestruturas das linhas de transmissão, dentre as actividades destacam-se:

- Construção, ampliação e manutenção das linhas de transmissão;
- Inspeção periódica das linhas, com o objectivo de detectar anomalias, prevenir falhas e otimizar o desempenho da rede;
- Intervenção rápida em situações de emergência, nomeadamente em casos de colapso de torres, rupturas de cabos ou interrupções no serviço eléctrico.

## CAPÍTULO III – REVISÃO DA LITERATURA

### 3.1. Sistema Eléctrico de Potência

Um sistema eléctrico de potência (SEP) pode definir-se como o conjunto de instalações, equipamentos e redes cuja função é gerar, transportar, transformar, distribuir e fornecer energia eléctrica aos consumidores finais com requisitos de qualidade, continuidade e segurança adequados. Este sistema é reconhecido como um dos mais complexos desenvolvidos pelo ser humano, razão pela qual a sua operação, controlo e manutenção requerem um elevado nível de tecnicidade (Mohan, 2016).

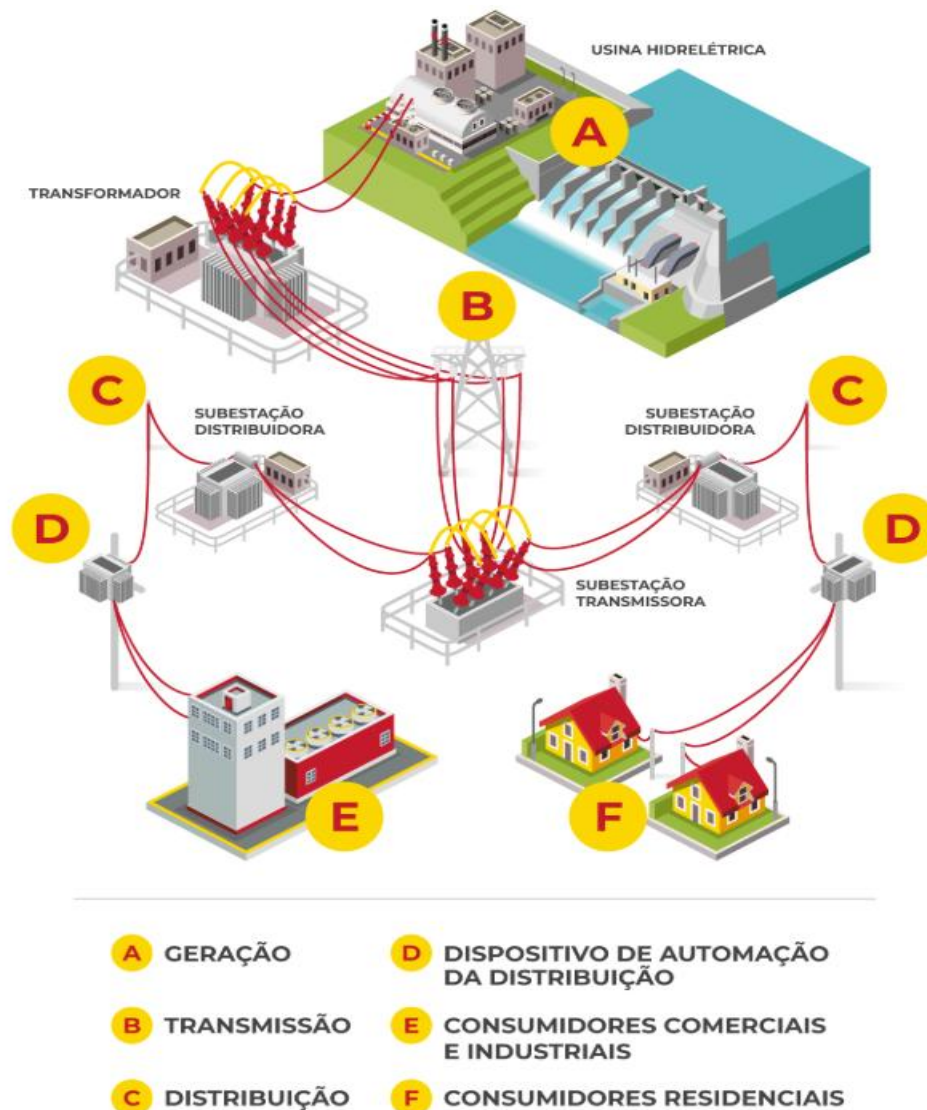


Figura 3: Sistema Eléctrico de Potência

Fonte: <https://idec.org.br/edasuaconta/o-setor>

## 3.2. Estrutura do Sistema Eléctrico de Potência

### 3.2.1. Subestação Geradora

A **subestação geradora** é o ponto de origem do sistema eléctrico. É nesta etapa que a energia proveniente de fontes primárias como a água, o gás natural, o carvão, o vento ou a radiação solar, é convertida em energia eléctrica por meio de geradores síncronos. Estes geradores produzem tensões relativamente baixas, normalmente compreendidas entre 3,3 kV e 15 kV, valores adequados para o funcionamento das máquinas, mas insuficientes para o transporte em longas distâncias.

Assim, junto à central geradora é instalado um **transformador elevador**, cuja função é aumentar a tensão para níveis adequados à transmissão, reduzindo as perdas de energia e aumentando a eficiência do sistema.

Em Moçambique, exemplos representativos incluem a Central Hidroeléctrica de Cahora Bassa (HCB), que gera energia a cerca de 16 kV, posteriormente elevada para 220 kV e 400 kV, e a Central Hidroeléctrica de Corumana, que opera a 11 kV e eleva para 110 kV, integrando a rede de transporte sul da Electricidade de Moçambique (EDM).

### 3.2.2. Subestação de Transmissão

A subestação de transmissão é um elemento fundamental no sistema eléctrico, responsável por elevar a tensão da energia eléctrica para níveis adequados ao seu transporte em longas distâncias, reduzindo as perdas na rede.

Estas instalações estabelecem a ligação entre as centrais geradoras e as subestações de distribuição, assegurando a transmissão eficiente e fiável da electricidade através das linhas de alta e muito alta tensão.

Em Moçambique, os níveis de tensão mais usados são 66 kV, 110 kV, 220 kV e 400 kV. Não existem linhas de Extra-Alta Tensão (acima de 400 kV) no país; O valor máximo actualmente em operação no Sistema Eléctrico Nacional em corrente alternada é de 400 kV. A interligação Cahora Bassa – Apollo, por sua vez, opera em corrente contínua com tensão nominal de 533 kV (EDM, 2023; JICA, 2023).

### **3.2.3. Subestação de Distribuição**

A distribuição representa a etapa final do sistema eléctrico, responsável por entregar a energia eléctrica aos consumidores finais.

As subestações de distribuição reduzem a tensão de 33 kV ou 11 kV para 400/230 V, tornando-a compatível com o consumo doméstico, comercial e institucional.

A EDM tem desenvolvido um vasto programa de expansão e modernização destas redes, designado “Energia para Todos”, com o objectivo de alcançar acesso universal à energia até 2030. Esta iniciativa prevê a construção de novas subestações, a reabilitação de infra-estruturas existentes e o reforço das ligações de média e baixa tensão, sobretudo em zonas rurais.

## **3.3. Redes eléctricas**

### **3.3.1. Generalidades sobre rede eléctrica**

Rede eléctrica é o conjunto de instalações e equipamentos interligados destinados à geração, transmissão e distribuição de energia eléctrica, de forma contínua, segura e eficiente, desde os centros de produção até os consumidores finais (Kindermann, G. 2011).

#### **3.2.1. Diferentes tipos de redes eléctricas**

Os tipos de redes podem ser classificados segundo diversos critérios, apresentando-se de seguida três, cujo interesse é evidente. O primeiro diz respeito a tensão nominal (ou de serviço), que é a grandeza que determina a capacidade de transporte e fixa as dimensões das linhas e da aparelhagem das subestações; o segundo, que é o mais importante, prende-se com a função que o sistema deve assegurar; o terceiro está ligado com a topologia da rede, fixando o seu modo de operação normal e as possibilidades de socorro em caso de falha (Paiva, 2015).

#### **3.2.2. Tensão nominal**

A classificação das redes é feita em função do nível de tensão nominal, o qual determina a sua aplicação técnica e os requisitos de construção e exploração.

Tabela 1: Comparação das classes de tensão das redes eléctricas

Nível de Tensão	Intervalo segundo Paiva (2011)	Intervalo segundo o Decreto n.º 60/2021 (Moçambique)	Utilização típica
Baixa Tensão (BT)	Até 1 kV	Até 1 kV	Instalações domésticas, comerciais e de serviços
Média Tensão (MT)	Superior a 1 kV e até 45 kV	Superior a 1 kV e $\leq 66$ kV	Redes de distribuição urbana, rural e industrial
Alta Tensão (AT)	Superior a 45 kV e até 110 kV	Superior a 66 kV e $\leq 220$ kV	Transporte regional e interligação entre subestações
Muito Alta Tensão (MAT)	Superior a 110 kV	Superior a 220 kV	Transporte nacional e interligação internacional

Fonte: Adaptado de Paiva (2011) e Boletim da República de Moçambique (2021).

Constata-se uma convergência no princípio de segmentação por níveis de tensão, diferindo apenas nos valores limite das categorias de média e alta tensão.

Enquanto Paiva (2011) considera a faixa de 45-110 kV como alta tensão, Moçambique desloca o limite inferior da alta tensão para acima de 66 kV, alinhando-se com as práticas regionais da SAPP (Southern African Power Pool).

### 3.2.3. Funções das redes eléctricas

- Rede de distribuição
- Rede de Transporte
- Rede de Interligação

### 3.2.4. Estrutura Topológica

De forma geral, a fiabilidade dos sistemas de distribuição depende directamente da sua configuração topológica, que determina o grau de continuidade do fornecimento em caso de avaria.

#### ➤ Rede radial

Uma rede radial é constituída, a partir de um ponto de alimentação, por linhas que se vão ramificando sem jamais se encontrarem num ponto comum (figura 4a). Correspondem a

menor fiabilidade e também ao menor custo, sendo tipicamente usadas na distribuição. Se não existir produção a eles ligado, o sentido de trânsito de energia é do ponto de alimentação para carga.

#### ➤ Rede malhada

Com este tipo de rede todos os consumidores podem ser alimentados por várias linhas, que são ligadas de forma a constituírem malhas fechadas (figura 4b). Os geradores estão ligados de forma que o trânsito de energia até aos consumidores se pode fazer por vários percursos. Todas as linhas devem estar dimensionadas para transmitir a potência necessária em caso de avaria da outra linha (designado por critério de segurança n-1). Estas redes asseguram uma maior fiabilidade, naturalmente, com um custo elevado, usando-se obrigatoriamente para as redes de transporte.

#### ➤ Rede malhada (anel) com exploração radial

Nas redes de distribuição em áreas urbanas com elevada densidade de carga, pode usar-se uma estrutura malhada (anel) com exploração radial, para que se utilizam interruptores normalmente abertos, que podem ser fechados em caso de indisponibilidade de um troço de linha, por forma a assegurar a continuidade de serviço (figura 4c).

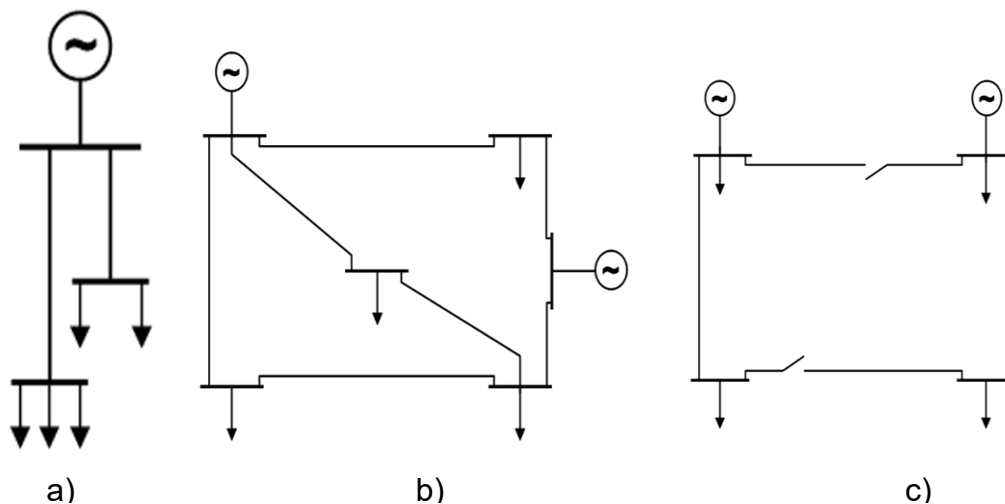


Figura 4: Estrutura topológica da rede: a) radial; b) malhada; c) malhada (anel) com exploração radial

Fonte: Paiva (2015)

### 3.4. Linhas de Transmissão Eléctrica

As linhas asseguram o transporte de energia eléctrica das centrais produtoras até aos consumidores finais. A transmissão de energia é realizada pelo campo electromagnético criado pela tensão entre os condutores e pela corrente que neles flui (Paiva, 2015).

#### 3.4.1. Configurações

As redes eléctricas podem ser configuradas de acordo com o tipo de instalação dos condutores.

De forma geral, distinguem-se três tipos principais: **as linhas aéreas**, que utilizam condutores suportados por postes ou torres; **os cabos subterrâneos**, instalados sob o solo para reduzir o impacto visual e aumentar a segurança; e **os cabos submarinos**, utilizados em interligações entre ilhas ou através de cursos de água.

#### 3.4.2. Parâmetros

Os parâmetros que caracterizam as linhas eléctricas são a impedância longitudinal e a admitância transversal, expressas em  $\Omega/\text{km}$  e  $\text{S}/\text{km}$ , respectivamente, e distribuídas ao longo do seu comprimento.

Na modelação das LT estes parâmetros estão uniformemente distribuídos ao longo da linha. Por simplificação, a resistência ( $R$ ) e a indutância ( $L$ ) são agrupadas na impedância série ( $Z$ ) por fase, enquanto a capacitância ( $C$ ) e a condutância ( $G$ ) são representadas pela admitância em derivação ( $Y$ ).

Nas linhas curtas, a influência da capacitância é desprezável, sendo apenas considerados os efeitos da resistência e da indutância, normalmente representados por parâmetros concentrados associados a um condutor ideal (Stevenson, 1986).

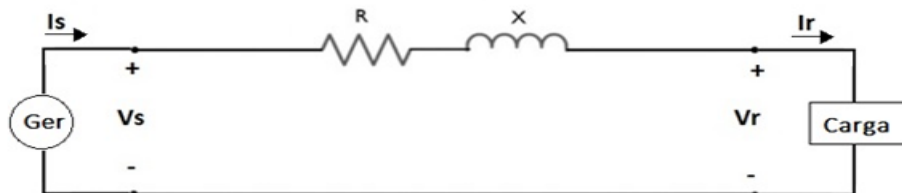


Figura 5: Representação modelo de linha curta

Fonte: Adaptado de Stevenson (1986)

$$Z = R + jX \quad (3.1)$$

$$V_s = V_R + ZI_s \quad (3.2)$$

$$I_s = I_R \quad (3.3)$$

A Figura 6 apresenta os diagramas fasoriais das cargas indutiva, resistiva e capacitiva, destacando o desfaseamento entre tensão e corrente em cada caso.

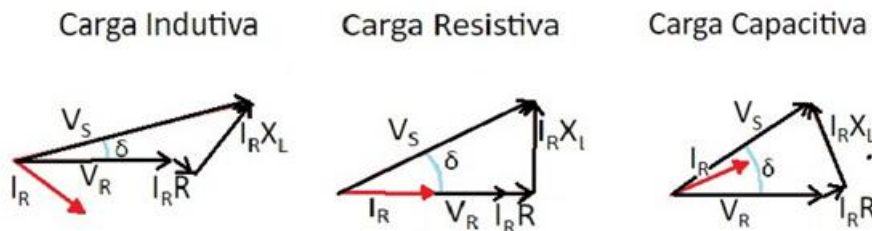


Figura 6: Diagrama fasorial de uma linha curta

Fonte: Adaptado de Stevenson, 1986

Para uma linha média é usado o chamado modelo pi-nominal, de modo que é considerada metade da admitância, que normalmente é a capacitância pura, em cada uma das extremidades da linha.

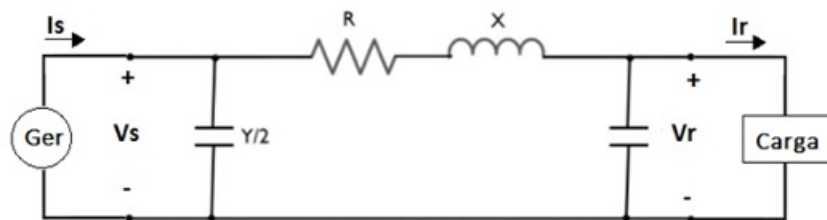


Figura 7: Representação modelo de linha média

Fonte: Adaptado de Stevenson, 1986

$$V_s = \left( \frac{ZY}{2} + 1 \right) V_R + ZI_R \quad (3.4)$$

$$I_s = \left( \frac{ZY}{4} + 1 \right) V_R Y + \left( \frac{ZY}{2} + 1 \right) I_R \quad (3.5)$$

O diagrama fasorial da Figura 8 ilustra o comportamento das tensões e da corrente numa linha de transmissão de comprimento médio, observadas no terminal receptor.

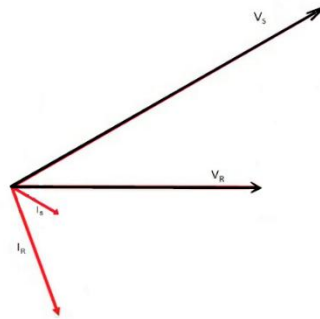


Figura 8: Diagrama fasorial de uma linha média com corrente no terminal receptor em atraso

Fonte: Adaptado de Stevenson (1986)

Para uma linha longa a representação mais exacta são os parâmetros distribuídos ao longo da linha e não mais representados como concentrados.

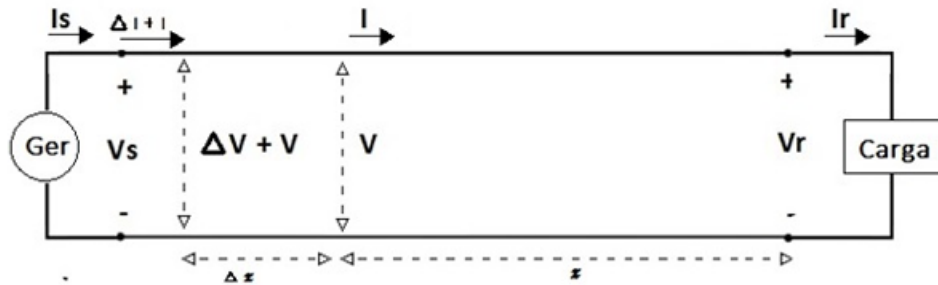


Figura 9: Representação modelo de linha longa

Fonte: Adaptado de Stevenson (1986)

A chamada impedância característica da linha é representada pela Equação 3.6, já a chamada constante de propagação é representada pela Equação 3.7. Sendo “z” a impedância em série por fase pela unidade de comprimento, composta pela resistência e pela indutância, e “y” a admitância em derivação por fase ao neutro pela unidade de comprimento, composta pela capacitância.

$$Z_c = \sqrt{\frac{z}{y}} \quad (3.6)$$

$$\gamma = \sqrt{yz} \quad (3.7)$$

Na Figura 9, “x” representa a distância a partir da barra receptora até o elemento infinitesimal x. Já  $\Delta v$ , é a elevação de tensão na outra extremidade da linha menos a tensão do lado da

carga. Pela resolução das equações diferenciais se obtêm as fórmulas para tensão e corrente na linha considerando a distância “x”.

$$V = V_R \cosh(\gamma x) + I_R Z_C \sinh(\gamma x) \quad (3.8)$$

$$I = I_R \cosh(\gamma x) + \frac{V_R}{Z_C} \sinh(\gamma x) \quad (3.9)$$

Segundo Glover (2012), uma linha de transmissão é normalmente uma estrutura aérea compreendendo condutores, isoladores, estruturas de suporte e, em muitos casos, fios de guarda. A Figura 10 mostra um exemplo de uma linha de transmissão.

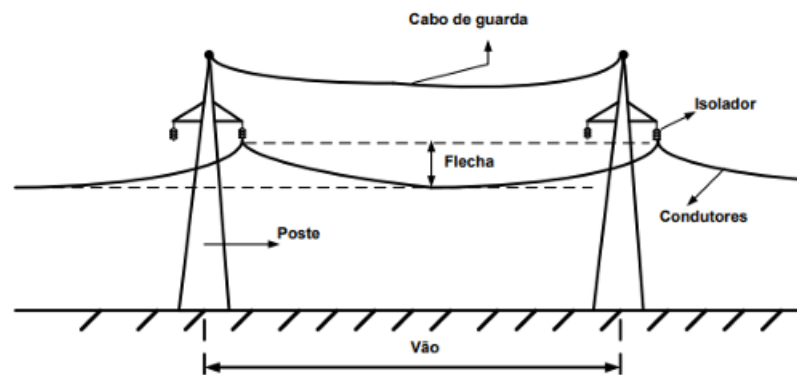


Figura 10: Componentes principais de uma linha aérea de transmissão

Fonte: Glover (2012)

### 3.4.3. Classificação das linhas em função do comprimento

Tabela 2: Características das linhas de transmissão

Tipo de linha	Comprimento
Linha curta	$L < 80$ km
Linha média	$80 \leq L \leq 250$
Linha longa	$L > 250$ km

Fonte: Glover (2012)

### 3.4.4. Principais componentes da linha de transmissão

Os principais componentes da linha de transmissão são:

- **Torres da linha de transmissão:** têm a função de, por um lado, dar sustentação física ao circuito eléctrico e, por outro, manter o espaçamento necessário entre cabos condutores e os cabos pára-raios. Geralmente em Moçambique encontramos o formato em “Y”, veja na Figura 11 as diferentes configurações frequentemente usadas em Moçambique, em linhas de transmissão de 110 kV.

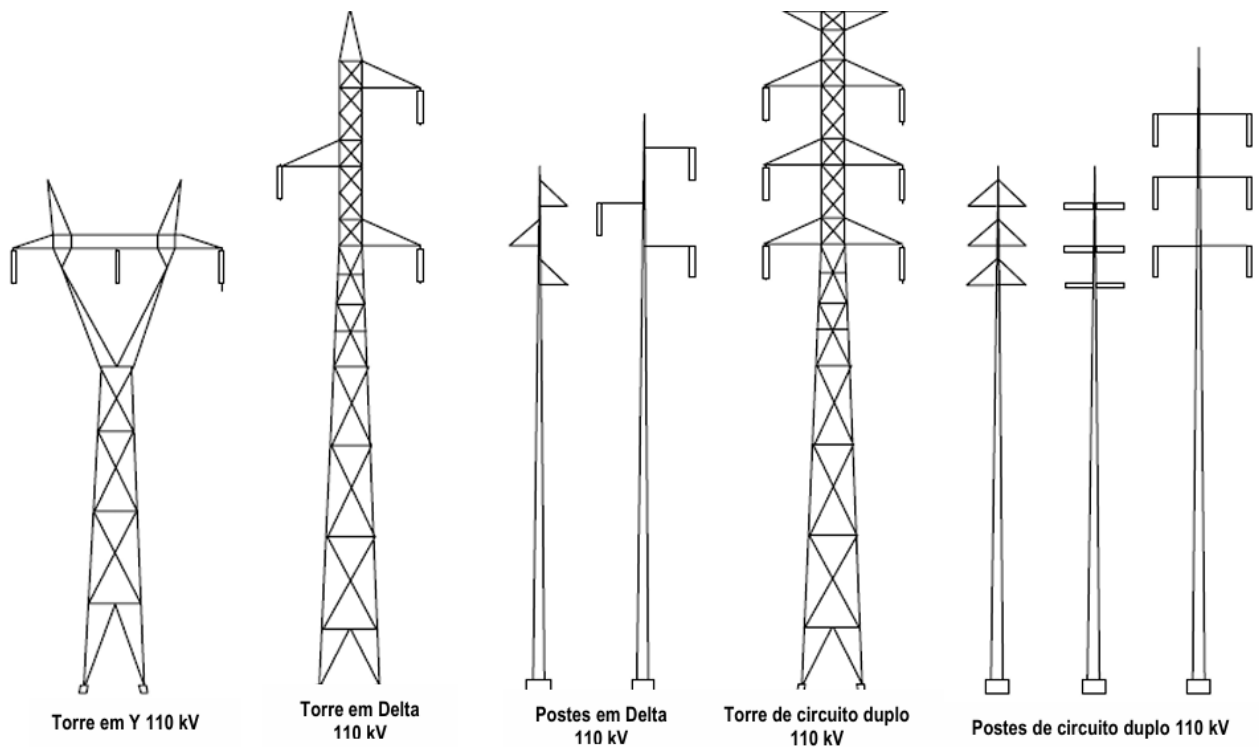


Figura 11: Configurações típicas de LTs / torres e postes de 110 kV normalmente recomendadas em Moçambique.

Fonte: EDM, 2016

- **Sistema de ligação à terra:** serve para descarregar as tensões eléctricas excedentes para a terra (por exemplo, em caso de descargas atmosféricas);
- **Isoladores:** possibilitam o isolamento entre os cabos eléctricos e as torres;



Figura 12: Isolador de Vidro em uma linha de transmissão

Fonte: <https://www.nooelectric.com/pt/products/china-u70bs-suspension-glass-insulators-with-stock.html>

- **Cabos condutores:** são os elementos activos das linhas de transmissão através dos quais as cargas eléctricas são transportados, da fonte de energia eléctrica até aos centros de carga; os cabos do tipo ACSR (“*Aluminum Conductor Steel reinforced*”) são compostos por camadas concêntricas de fios de alumínio, com um reforço central de aço. Possuem uma elevada condutividade e boa resistência mecânica, sendo habitualmente usados em LTs aéreas de 110 kV pela EDM, em Moçambique.

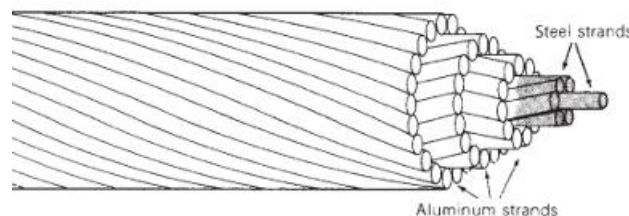
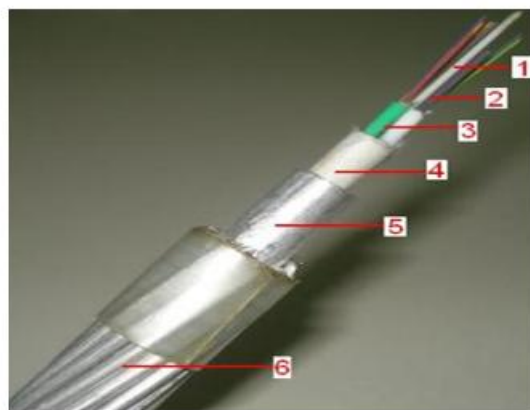


Figura 13: Condutor ACSR

Fonte: Fonte: Glover (2012)

**Cabos de guarda:** Ocupam a parte superior das estruturas e destinam-se a interceptar descargas de origem atmosférica e descarregá-las para o solo, evitando que causem danos e interrupções no sistema.



- 1 – elemento central dielétrico
- 2 – fibras ópticas
- 3 – tubos termoplásticos
- 4 – fitas de enfaixamento
- 5 – tubo de alumínio
- 6 – fios metálicos

Figura 14: Cabo de Guarda OPGW

Fonte: Gonzalez (2008)

### 3.4.5. Defeitos e condições anormais das Linhas

Para Delgado 2011, a rede eléctrica pode ser afectada por defeitos (curtos-circuitos, abertura de fases) e por outras condições anormais de funcionamento (sobrecargas, funcionamento fora de sincronismo, baixas frequências e outras). Os curtos-circuitos devem dar lugar ao disparo de disjuntores necessários à sua eliminação da rede, enquanto as outras condições anormais de funcionamento deverão ser corrigidas para evitar, na medida do possível, os disparos.

### 3.4.6. Tipos de defeitos

A linha de transmissão é o elemento mais vulnerável do sistema eléctrico. Os curtos-circuitos ocorrem principalmente devido aos defeitos na linha de transmissão. Distinguem-se os defeitos de isolamento e os de exploração.

Segundo Delgado (2011), os defeitos de isolamento são caracterizados pela destruição das características de diferentes meios isolantes na rede, como representados abaixo:

- Defeitos fase-terra (defeito monofásico à terra);
- Defeitos bifásicos com ou sem terra;
- Duplo defeito monofásico atingindo fases diferentes;
- Defeitos trifásicos com ou sem terra.

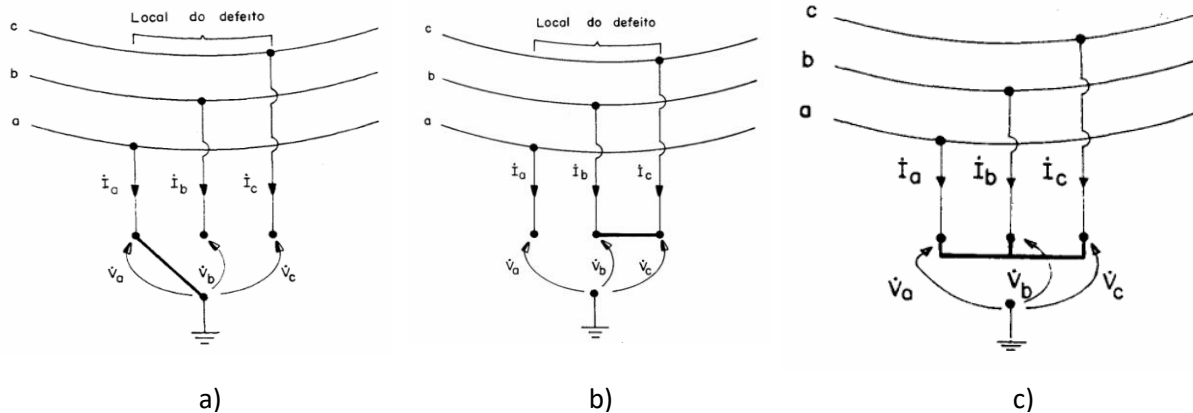


Figura 15: Representação esquemática dos principais tipos de curto-circuito em sistemas trifásicos: (a) Curto-circuito monofásico-terra; (b) Curto-circuito bifásico; (c) Curto-circuito trifásico.

Fonte: Kindermann (1997)

### 3.5. Protecção das Redes eléctricas

#### 3.5.1. Aspectos introdutórios

Da mesma forma que qualquer consumidor espera que um produto cumpra correctamente a sua função, o utilizador de energia eléctrica também exige receber a quantidade necessária de energia de forma estável e com qualidade. No entanto, podem ocorrer anomalias ou avarias que provoquem defeitos no sistema, comprometendo o seu funcionamento global e a continuidade do fornecimento.

Uma das soluções encontradas para reduzir esses problemas foi a interligação de vários subsistemas, permitindo que um sistema mais amplo e robusto suporte melhor a ocorrência de falhas. Paralelamente, a manutenção regular e preventiva dos equipamentos constitui outro meio fundamental para garantir a fiabilidade e o desempenho adequado do sistema eléctrico.

Apesar dessas abordagens, ainda assim podem ocorrer defeitos que ameacem de forma perigosa o funcionamento correcto do sistema. Esses defeitos devem ser contidos de forma rápida e segura de modo a não propagarem problemas pelos sistemas eléctricos (Blackburn e Domin, 2006).

### 3.5.2. Breve revisão histórica dos relés de protecção

Um relé de protecção é um equipamento eléctrico concedido para controlar em permanência certas grandezas dos circuitos eléctricos e provocar disparos de um ou vários disjuntores, no caso em que aquelas grandezas, pelo aparecimento duma anomalia, saiam dos limites fixados (Delgado, 2011).

Os relés podem ser simples dispositivos respondendo unicamente à corrente ou à combinação de corrente e de tensão, à combinação de duas correntes, a um equilíbrio de correntes, a uma diferença nas duas extremidades de um circuito ou mesmo a uma impedância.

### 3.5.3. Relés electromecânicos

Existem relés electromecânicos de vários tamanhos, pólos e níveis de potência, mas o princípio de funcionamento é o mesmo.

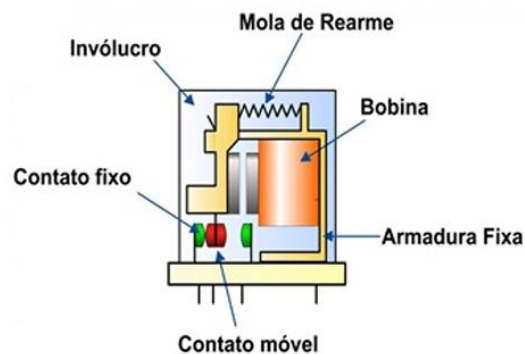


Figura 16: Representação esquemática dos principais componentes de um relé eletromecânico.

Fonte: <https://www.electricalibrary.com/2018/08/06/conheca-o-rele-eletromecanico/>

O princípio de funcionamento de um relé electromecânico é baseado no aparecimento de uma força mecânica em resposta a uma grandeza de excitação e que provoca uma actuação do seu contacto. Estes contactos podem ser normalmente abertos (NA), que fecham apenas quando o relé é energizado, ou normalmente fechados (NF), que abrem quando ocorre a excitação (Delgado, 2011).

#### Vantagem

- Grande duração de vida, devido a sua robustez.

### Inconvenientes:

- Deriva na selectividade e nas temporizações (afrouxamento da mola, por exemplo);
- Manutenção considerável.

### 3.5.3. Relés estáticos

Os relés estáticos também chamados de relés sólidos foram introduzidos nos primeiros anos da década de 1960, são construídos com dispositivos electrónicos próprios e específicos aos objectivos da protecção. Nestes relés, não há nenhum dispositivo mecânico em movimento, todos os comandos e operações são feitos electronicamente (Kinderman, 2005). Qualquer regulagem é efectuada pela mudança física no parâmetro de algum componente do circuito electrónico (hardware).



Figura 17: Ilustração de um relé estático

Fonte: Foto tirada pelo autor, 2025

### Vantagens:

- Não possui contactos nem partes mecânicas, portanto não gera arco eléctrico;
- Menor tamanho físico e maior resistência as vibrações mecânicas;
- Pouca manutenção.

### Inconvenientes:

- Sensibilidade a sobretensões;
- Necessita de uma alimentação em baixa tensão (baterias e acumuladores);
- Tempo de vida útil muito reduzido.

### 3.5.4. Relés Digitais

É uma protecção baseada em técnicas de microprocessadores. Mantêm os mesmos princípios das funções de protecção e guardam os mesmos requisitos básicos aplicados aos relés electromecânicos ou de indução e aos relés estáticos ou eletrônicos. No entanto, os relés digitais oferecem, além das funções dos seus antecessores, novas funções aos seus usuários adicionando maior velocidade, melhor sensibilidade, interfaceamento amigável, acesso remoto e armazenamento de informações (Mamede, 2011).



Figura 18: Ilustração de um Relé Digital da NARI

Fonte: Foto tirada pelo autor, 2025

#### Vantagens:

- Flexibilidade, graças a potência de cálculo e a capacidade de memória;
- Elevada precisão de medida devido a filtragem digital e os algoritmos de medida otimizados;
- Grande número de funções auxiliares, tais como, por exemplo, o controlo de carga, o registo de acontecimentos ou de defeitos de controle de temperatura.

#### Inconvenientes:

- Possibilidade de pouca redundância de hardware (protecções integradas) devido à tendência para a integração de muitas funções, com risco de diminuição da fiabilidade;
- Elevado custo relativo para funções simples;

- Necessidade do acompanhamento regular do "software" ('upgrades').

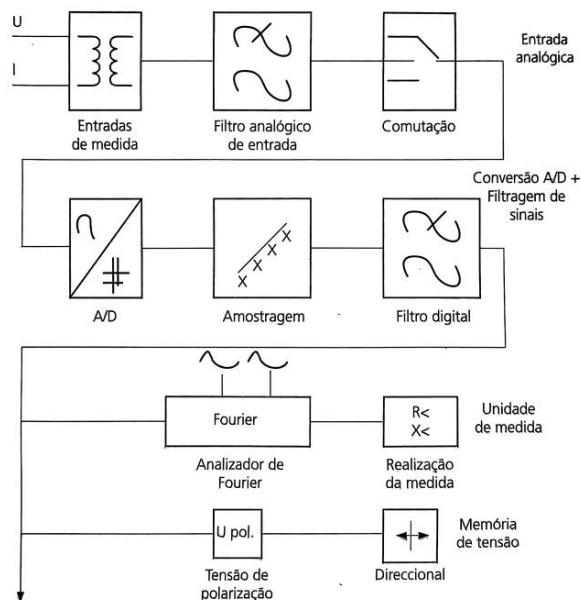


Figura 19: Estrutura simplificada de uma protecção digital

Fonte: Delgado (2011)

### 3.5.5. Funções das protecções

Nos sistemas eléctricos modernos, a protecção das linhas de transmissão é efectuada através de relés digitais. Diferentemente dos relés electromecânicos, que apenas actuavam com base numa única variável eléctrica, como a sobrecorrente, os relés digitais são capazes de desempenhar várias funções em simultâneo. Um exemplo é o relé SEL-311L, que reúne num só equipamento as funções apresentadas na Figura 20:

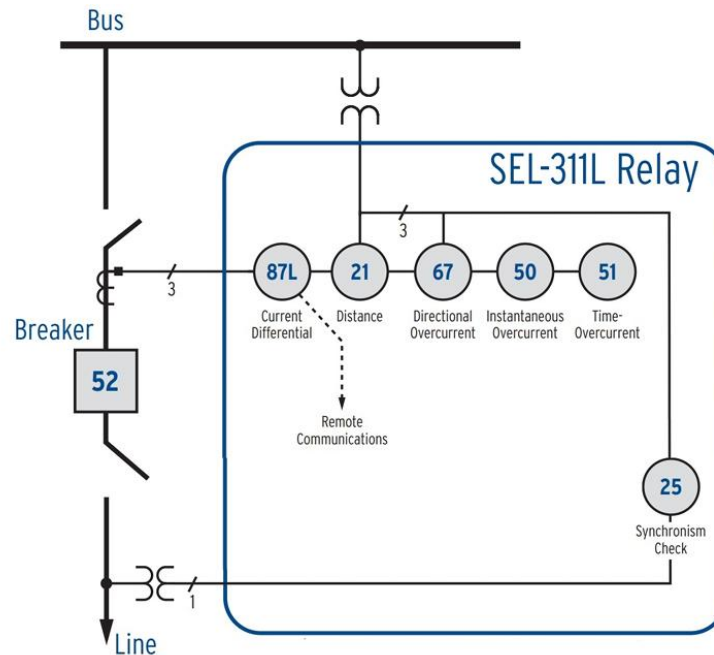


Figura 20: Funções do relé SEL-311L

Fonte: SELENIC 2025

Na Tabela 3 são mostradas as funções indicadas na Figura 20.

Tabela 3: Funções do relé SEL-311L

Função	Designação (Inglês)	Designação (Português)
87L	<i>Current Differential</i>	Diferencial de Corrente
21	<i>Distance</i>	Distância
67	<i>Directional Overcurrent</i>	Sobrecorrente Direcional
50	<i>Instantaneous Overcurrent</i>	Sobrecorrente Instantânea
51	<i>Time-Overcurrent</i>	Sobrecorrente temporizada
25	<i>Synchronism Check</i>	Verificação de sincronismo

Fonte: O autor, 2025

No Anexo 4, é possível verificar a tabela ANSI com as principais funções de protecção

Requisitos necessários que um sistema de protecção bem concebido deve garantir:

- **Confiabilidade:** actuar correctamente, não operar fora das condições parametrizadas e ter robustez para ficar um longo período sem actuar e não atrapalhar o funcionamento.
- **Selectividade:** continuação máxima do serviço com o mínimo de quedas de fornecimento. Abrir o número mínimo de disjuntores possível, identificar quando uma acção deve ser tomada ou quando deve ocorrer algum atraso na actuação.
- **Velocidade de operação:** duração de falha ser o menor tempo possível. Reduzir

a extensão dos danos e diminuir o tempo de paralisação do serviço.

- **Simplicidade:** a menor quantidade possível de equipamentos para realizar a protecção.
- **Sensibilidade:** requisito que garante a máxima fiabilidade na sua zona de actuação e permanece estável em condição de máxima carga.
- **Economia:** Protecção total ao menor custo possível.

De maneira genérica, a protecção somente actua quando há defeito e desligamentos desnecessários devem ser evitados, e caso haja defeito na zona de controle do relé as ordens devem ser precisas. A principal função da protecção por relés é promover a retirada rápida do equipamento que ocasiona a falha, e secundariamente a isso a localização e a identificação correcta das falhas.

### 3.6. Técnicas de protecção de linhas de transmissão

Um **defeito** corresponde a uma condição anómala em que o sistema se encontra em curto-circuito ou em circuito aberto. Nos sistemas de transmissão modernos, a eliminação de defeitos é automática. Se o defeito não for rapidamente removido, pode comprometer a estabilidade do sistema, danificar equipamentos e provocar desligamentos em cascata devido à actuação simultânea de várias protecções. A protecção responsável pela remoção directa do defeito é denominada **protecção primária**, enquanto a que actua apenas se a primária não operar é designada **protecção de retaguarda**.

#### 3.6.1. Equipamentos envolvidos

Para além dos relés, um sistema de protecção envolve ainda outros equipamentos essenciais que garantem a sua actuação adequada. Seguidamente apresentam-se, de forma breve, os principais dispositivos que complementam o funcionamento do sistema.

#### 3.6.2. Transformador de medida de intensidade

Segundo Boltinha (2019), os transformadores de medida de intensidade (TIs) destinam-se a fornecer uma imagem do valor da intensidade de corrente da instalação para os aparelhos de medida e contagem e para as unidades de protecção, comando e controlo, sendo ligados

em série. Os secundários dos TIs devem ser ligados à terra apenas num ponto, e não devem ser deixados em vazio, porque existe o risco do TI explodir. A Figura 21 ilustra um transformador de medida de intensidade.

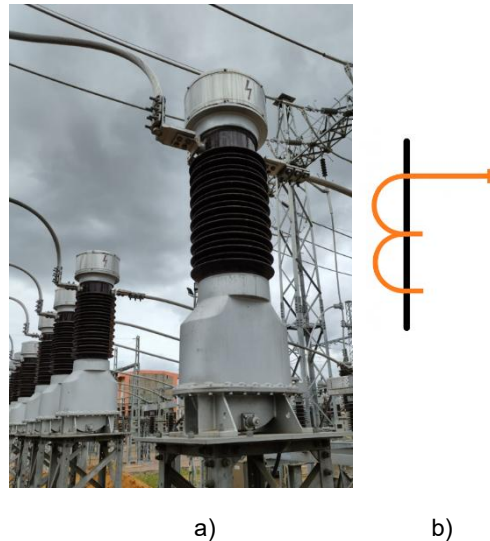


Figura 21: Transformador de medida de intensidade (a) e Representação esquemática do TC (b)

Fonte: Foto tirada pelo autor, 2025

### 3.6.3. Transformador de medida de tensão

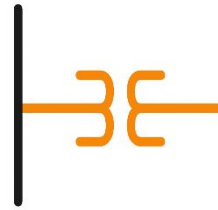
Segundo Boltinha 2019, os transformadores de medida de tensão (TTs) destinam-se a fornecer uma imagem do valor da tensão da instalação para aparelhos de medida e contagem e para as unidades de protecção, comando e controlo, sendo ligados em paralelo.

Os tipos de TTs utilizados nas subestações MAT/MAT e MAT/AT são os seguintes:

- Transformadores indutivos.
- Transformadores capacitivos



a)



b)

Figura 22: Transformador de medida de tensão capacitivo (a) e Representação esquemática do TP (b)

Fonte: Foto tirada pelo autor, 2025

### 3.6.4. Disjuntores

Os disjuntores destinam-se à interrupção das correntes de serviço e de curto-circuito. Actualmente o agente de extinção do arco utilizado nos disjuntores AT e MAT é o Hexafluoreto de Enxofre (SF<sub>6</sub>), como o que se apresenta na Figura 23, e o mecanismo de comando é geralmente por mola.

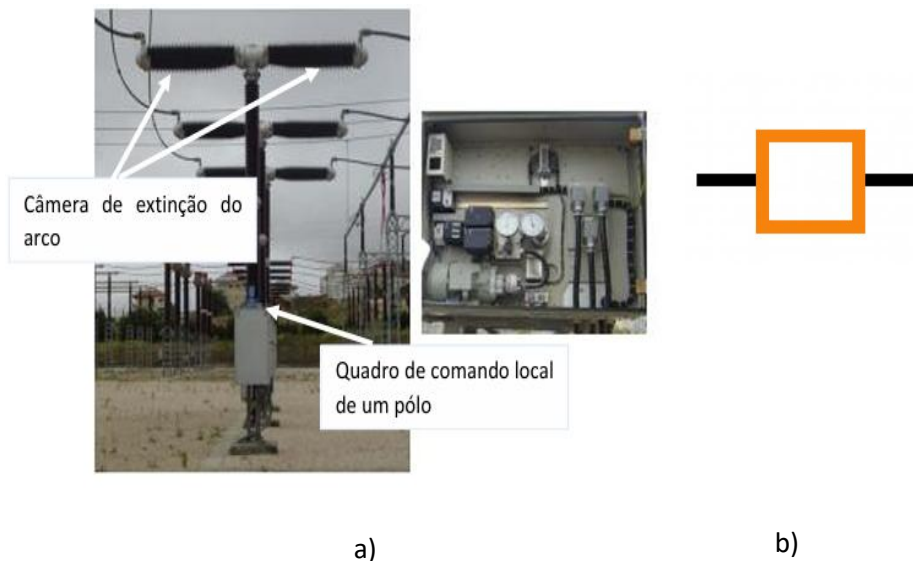


Figura 23: Disjuntor SF<sub>6</sub> (a) e Representação esquemática (b)

Fonte: (Boltinha, 2019)

### 3.6.5. Protecção de distância

### 3.6.6. Zonas de protecção

A selectividade dos sistemas de protecção está directamente relacionada com a definição dos limites de actuação de cada relé. É essa delimitação que determina quando a actuação deve ser imediata ou temporizada, assegurando que apenas o dispositivo mais próximo da falha intervém primeiro. A porção do sistema cuja protecção é atribuída a um determinado relé designa-se por zona de protecção, representando a área de responsabilidade desse equipamento dentro do esquema global de protecção eléctrica.

### 3.6.7. Relé de distância (21)

O relé de distância é utilizado na protecção de linhas de transmissão e baseia o seu funcionamento na relação entre a tensão e a corrente medidas no ponto de instalação. Através destas grandezas, o relé calcula a impedância aparente e compara-a com a impedância característica da linha, determinando assim a distância ao defeito.

De acordo com Delgado 2011, este tipo de relé não é totalmente selectivo devido a imperfeições inerentes aos sistemas de protecção, sendo por isso aplicado o princípio de escalonamento no tempo para definir as zonas de actuação.

O relé de distância divide a linha em três zonas de protecção:

- **Zona 1:** actua de forma instantânea (0 ms) até cerca de 80 a 90% do comprimento da linha LT1;
- **Zona 2:** protege os 10 a 20% restantes e uma parte (geralmente entre 20% a 50%) da linha adjacente LT2, com uma temporização intermédia (500 ms);
- **Zona 3:** corresponde a 100% de alcance da linha LT1, mais 100% de alcance da linha LT2 e mais 20% a 30% da linha LT3, com uma temporização de 800-1000 ms.
- **Zona 4:** É opcional, corresponde à zona reversa, quando o alcance do relé está no sentido inverso ao anteriormente adaptado, limitando-se ao secundário do transformador, com uma temporização de 1000 ms.

Por meio de alterações na unidade de operação e restrição obtêm-se quatro tipos básicos de relés de distância com características peculiares que os tornam adequados a aplicações definidas em linhas de transmissão. Esses relés levam as seguintes denominações:

- **Relé de reactância:** utilizado em linhas curtas, baseia-se apenas na reactância;
- **Relé MHO (admitância):** adequado para linhas longas, apresenta boa estabilidade durante oscilações;
- **Relé de impedância:** aplicado em linhas de média extensão, mas mais sensível a oscilações;
- **Relé quadrilateral:** combina várias características direcionais, oferecendo maior precisão e flexibilidade de operação.

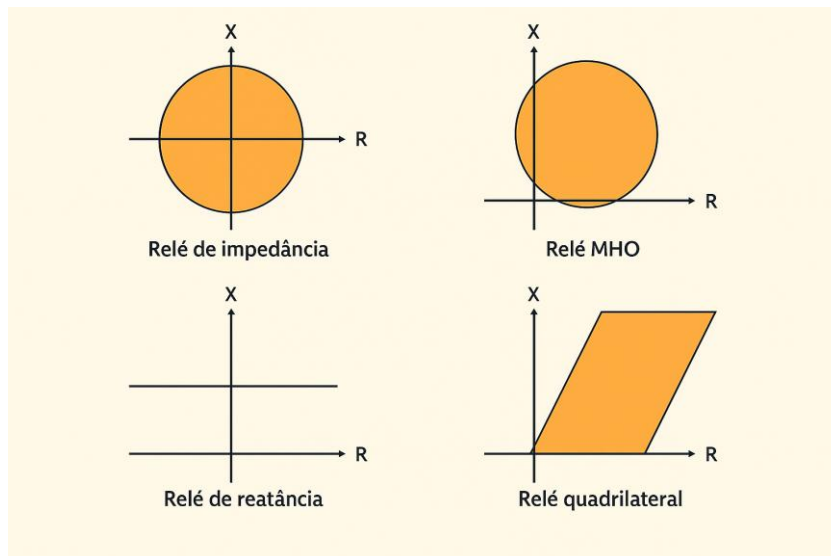


Figura 24: Características operacionais dos diferentes tipos de relés de distância no plano R–X

Fonte: Adaptado de Mamede (2011).

A Figura 25, representa um esquema de protecção de distância de uma linha de transmissão

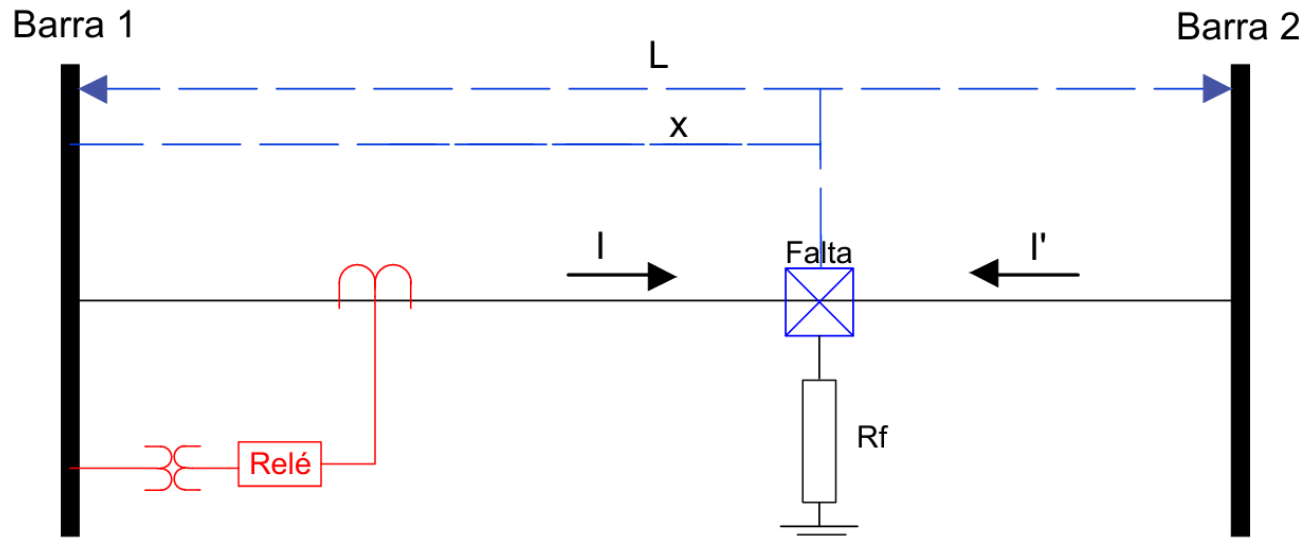


Figura 25:Esquema de uma linha com falta resistiva e alimentação pelos dois terminais.

Fonte: Adaptado de Alstom (2011)

Para uma falha no ponto indicado, que está localizada a “x” km da Barra 1, a impedância aparente vista pelo relé é  $Z_R$ , e é modelada pela Equação 3.9.  $V$  e  $I$  são respectivamente, tensão e corrente no TP e TC medidas pelo Relé.  $Z_L$  é a impedância longitudinal da linha por km,  $I'$  a corrente de *in-feed* advinda da outra barra.  $R_f$  é a resistência de falha (Alstom, 2011).

$$Z_R = \frac{V}{I} = \frac{xZ_L I + R_f(I + I')}{I} = xZ_L + R_f \left( 1 + \frac{I'}{I} \right) \quad (3.9)$$

Encontramos também outros tipos de protecções:

- Protecção de Sobrecorrente;
- Protecção de Sobretensão;
- Protecção diferencial;
- Protecção de falha do disjuntor;
- Protecção direcciona.

### 3.6.8. Teleprotecção

Para assegurar a confiabilidade e a selectividade existe a teleprotecção, que nada mais é do que a comunicação entre os relés de protecção. Essa comunicação pode ser feita por uma conexão física ou através de uma rede. O método mais comum é o sistema conhecido como onda portadora, também conhecido como *Carrier*, onde a própria linha é usada para propagação do sinal da teleprotecção. Esse sistema é composto pelo transmissor e receptor de sinal, filtros de onda, capacitores de acoplamento e pela unidade de sintonia.

Através dessa técnica, um dos terminais da linha é informado pelo terminal remoto, através de um sinal, do momento em que um defeito é detectado. Para abrir o disjuntor da linha os relés de ambos os terminais devem enxergar a falha. Esse procedimento é extremamente rápido, pois assim que os sensores do terminal remoto detectam o defeito o outro terminal é informado quase que instantaneamente.

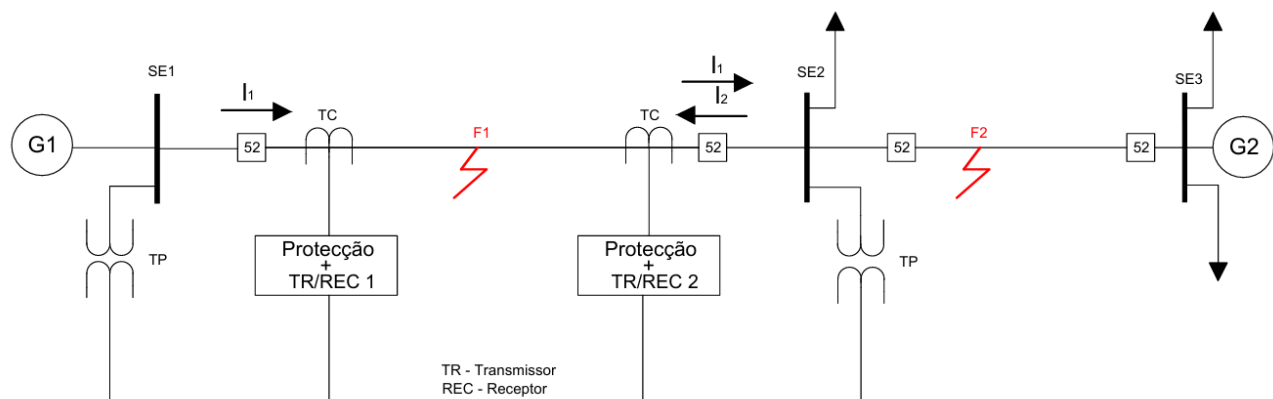


Figura 26: Diagrama básico de um sistema de teleprotecção

Fonte: Adaptado de Mamede (2011)

A protecção de distância, função 21, é a mais indicada para teleprotecção, pois seu alcance pré-determinado permite o estabelecimento de lógicas de sub-alcance ou sobre-alcance. Portanto, a velocidade de comunicação é fundamental para a teleprotecção. Entre as principais classificações de teleprotecção destacam-se os esquemas permissivos, de bloqueio, *Transfer Trip* e mistas, seleccionados conforme a filosofia de protecção, o nível de fiabilidade requerido e as condições do sistema eléctrico.

## CAPÍTULO IV: LEVANTAMENTO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS DAS LINHAS CL4 E CL5

### 4.1. Introdução

O presente capítulo apresenta o levantamento exaustivo das condições operacionais das linhas de transmissão CL4 (Corumana – Infulene, 110 kV) e CL5 (Komatipoort – Corumana, 110 kV). O objectivo é estabelecer uma compreensão detalhada do comportamento eléctrico e mecânico destas infra-estruturas, bem como caracterizar o histórico de falhas, disparos, tempos de indisponibilidade e parâmetros de protecção.

### 4.2. Caracterização técnica da linha CL4 (Corumana – Infulene, 110 kV)

A linha CL4 é uma linha de interligação que serve para o intercâmbio de potência entre rede de região sul e Komatipoort. Esta linha interliga a subestação de Infulene e Corumana, dependendo das condições de operação a linha pode entregar potência no barramento de Corumana assim como pode entregar ao de Infulene.

A linha possui tensão nominal de 110 kV e cerca de 90 km de extensão, atravessando zonas rurais, áreas de vegetação, cursos de água e zonas urbanas. A sua estrutura assenta em apoios metálicos autoportantes do tipo treliça, equipadas com condutor ACSR, não dispendo de cabo de guarda. O isolamento é assegurado por isoladores de suspensão em material polimérico, coexistindo ainda isoladores de vidro em troços mais antigos.

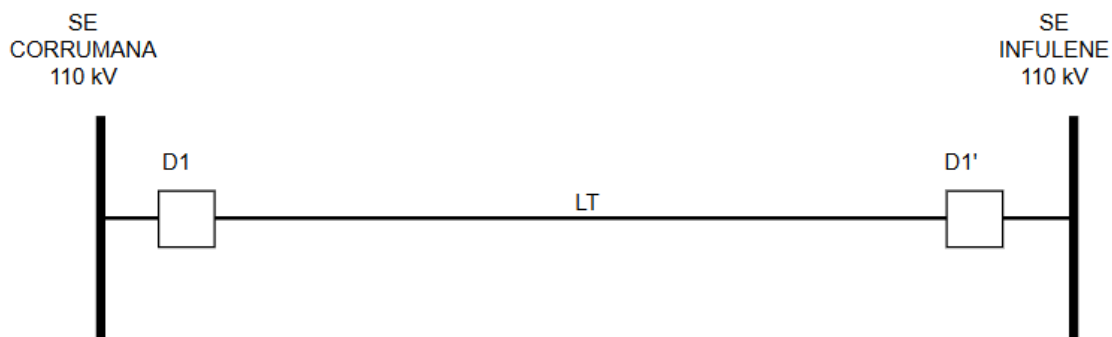


Figura 27: Representação esquemática da linha CL4

Fonte: O Autor, 2025

#### 4.2.1. Parâmetros eléctricos da linha CL4

A linha apresenta os seguintes parâmetros típicos (por km):

Tabela 4: Parâmetros da linha CL4

Parâmetros	Símbolo	Unidade	Valor
Resistência de sequência positiva	R1	$\Omega/\text{km}$	0,1049066
Reactância de sequência positiva	X1	$\Omega/\text{km}$	0,3962875
Susceptância de sequência positiva	B1	$\mu\text{S} / \text{km}$	2,91544
Resistência de sequência zero	R0	$\Omega/\text{km}$	0.2560275
Reactância de sequência zero	X0	$\Omega/\text{km}$	1,384471
Susceptância de sequência zero	B0	$\mu\text{S} / \text{km}$	1,631479
Comprimento	L	km	92
Potência Nominal	Sn	MVA	99
Corrente nominal	In	A	519,62
Tensão nominal	Vn	kV	110
Frequência nominal	Fn	Hz	50

Fonte: EDM - DTSUL

#### 4.2.2. Equipamentos de protecções existentes da linha

A linha está equipada com disjuntores, pára-raios, seccionadores e relés de protecção ABB da série RAZOA instalados nas subestações terminais. Em conjunto, estes dispositivos asseguram a coordenação das protecções, a rápida actuação em situação de falha e as condições necessárias para a exploração segura e estável da linha.



Figura 28: Relé da ABB

Fonte: Foto tirada pelo autor, 2025

#### 4.3. Caracterização técnica da linha CL5 (Komatipoort – Corumana, 110 kV)

A linha CL5 é uma linha de interligação que serve para o intercâmbio de potência entre rede de Komatipoort e região sul. Esta linha interliga a subestação de Komatipoort e Corumana, dependendo das condições de operação a linha pode entregar potência no barramento de Corumana assim como pode entregar ao de Komatipoort.

A linha possui tensão nominal de 110 kV e cerca de 45 km de extensão, atravessando zonas rurais, áreas de vegetação, cursos de água e zonas montanhosas. A sua estrutura assenta em apoios metálicos autoportantes e estaiadas, devido a desníveis do terreno, equipadas com condutor ACSR, não dispendo de cabo de guarda. O isolamento é assegurado por isoladores de suspensão em material polimérico, coexistindo ainda isoladores de vidro em troços mais antigos.

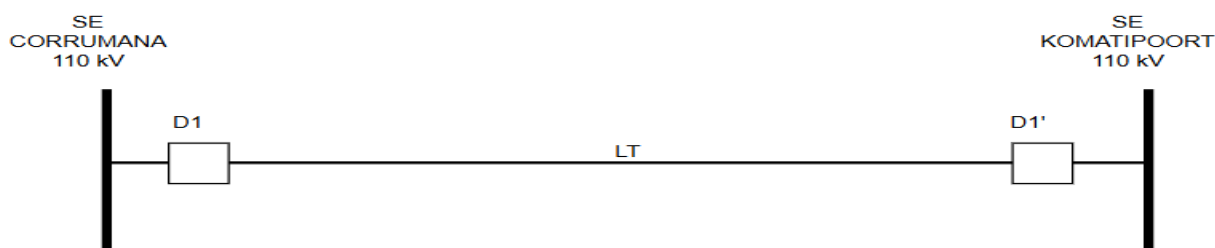


Figura 29: Representação esquemática da linha CL5

Fonte: O Autor, 2025

#### 4.3.1. Parâmetros eléctricos da linha CL5

Tabela 5: Parâmetros da linha CL5

Parâmetros	Símbolo	Unidade	Valor
Resistência de sequência positiva	R1	$\Omega/\text{km}$	0,1049066
Reactância de sequência positiva	X1	$\Omega/\text{km}$	0,3962875
Susceptância de sequência positiva	B1	$\mu\text{S}/\text{km}$	2,91544
Resistência de sequência zero	R0	$\Omega/\text{km}$	0.2560275
Reactância de sequência zero	X0	$\Omega/\text{km}$	1,384471
Susceptância de sequência zero	B0	$\mu\text{S}/\text{km}$	1,631479
Comprimento	L	km	45
Potência Nominal	Sn	MVA	99
Corrente nominal	In	A	519,62
Tensão nominal	Vn	kV	110
Frequência nominal	Fn	Hz	50

Fonte: EDM - DTSUL

#### 4.3.2. Equipamentos de protecções existentes da linha

A linha está equipada com disjuntores, pára-raios, seccionadores e relés de protecção ABB da série RAZOA instalados nas subestações terminais. Em conjunto, estes dispositivos asseguram a coordenação das protecções, a rápida actuação em situação de falha e as condições necessárias para a exploração segura e estável da linha.



Figura 30: Relé da ABB

Fonte: Foto tirada pelo autor, 2025

#### 4.4. Levantamento do histórico e falhas e disparos

Os dados apresentados nesta secção foram compilados a partir de registos operacionais, e relatórios de campo. O período analisado corresponde aos anos 2022 – 2025, com destaque para o evento crítico de 07 de setembro de 2025. A Tabela 6 apresenta o número de falhas registadas, por ano:

Tabela 6: Dados dos disparos das linhas no período de 2022 a 2025

Ano	CL4	CL5	Tipo predominante de falha
2022	19	5	SLG (monofásica)
2023	7	3	SLG e LLG
2024	5	3	SLG e descargas atmosféricas
2025	5	3	SLG e actuações indevidas

Fonte: EDM – DTSUL

#### 4.5. Tempo de indisponibilidade

A avaliação do tempo de indisponibilidade das linhas é essencial para compreender a duração e a severidade das interrupções ocorridas. A Tabela 7 apresenta os principais tempos de interrupção registados nas linhas CL4 e CL5.

Tabela 7: Tempos de interrupção

Linha	Médias interrupções (min)	Evento mínimo (s)	Evento máximo (min)
CL4	9	1,5	41
CL5	3,5	1,2	250

Fonte: EDM – DTSUL

#### 4.6. Zonas de protecção

A Tabela 8 apresenta os valores configurados para cada uma das zonas de protecção pelas protecções actuais analógicas da ABB.

Tabela 8: Zonas de protecção

Linha	Tipo de Relé (Analógico)	Zona 1	Zona 2	Zona 3
CL4	ABB RAZOA	80%	120%	200%
CL5	ABB RAZOA	85%	130%	220%

Fonte: EDM - DTSUL

## CAPÍTULO V: INVESTIGAÇÃO DAS CAUSAS DOS DISPAROS NAS LINHAS CL4 E CL5

### 5.1. Introdução

Este capítulo apresenta a investigação aprofundada das causas dos disparos ocorridos nas linhas de transmissão CL4 (Corumana – Infulene) e CL5 (Komatipoort – Corumana), no dia 07 de setembro de 2025 com base no levantamento realizado no capítulo anterior, na análise de dados operacionais, inspecções de campo e entrevistas com técnicos da DTSUL. O objectivo central é identificar as causas que conduziram aos disparos registado no 07 de setembro de 2025, considerado estes disparos mais relevantes pela sua magnitude e impacto sistémico.

### 5.2. Caso de estudo

No dia 07 de setembro de 2025, registaram-se disparos nas linhas CL4 e CL5, resultando na indisponibilidade simultânea de ambas.

Durante este período, as cargas ficaram sem alimentação eléctrica, o que provocou interrupções significativas no fornecimento de energia. Para a concessionária EDM, o incidente traduziu-se em prejuízos operacionais e económicos, aumentando igualmente a preocupação da equipa técnica, que viu a necessidade de investigar com rigor a causa raiz destes disparos nas linhas.

#### 5.2.1. Investigação da causa raiz dos disparos das linhas

Após a intervenção da equipa técnica, verificou-se que o defeito se localizou na linha CL5, onde foi observado um defeito bifásico terra, tendo as protecções de distância (21) dessa linha actuado de forma selectiva, com a abertura adequada dos respectivos disjuntores.

Todavia, subsistiu uma questão crítica: a razão pela qual as protecções de distância (21) da linha CL4 também actuaram abrindo o disjuntor do lado de Corumana, apesar de o defeito não se encontrar dentro da sua zona de protecção. Esta actuação indevida levanta preocupações quanto ao comportamento do sistema de protecções, podendo indicar problemas de coordenação, sensibilidade excessiva, configuração inadequada ou eventuais

acoplamentos eléctricos entre as duas infra-estruturas, exigindo uma análise mais aprofundada. Os relés instalados para proteger as linhas são relés estáticos.

### 5.3. Inconvenientes dos relés de distância analógicos

Os relés de distância estáticos apresentam várias limitações, incluindo baixa flexibilidade de parametrização, menor precisão no ajuste das zonas de protecção e deriva dos componentes, o que aumenta a probabilidade de erros de alcance e actuações indevidas. Possuem tempos de actuação superiores, não permitem registo nem análise de eventos, e são mais sensíveis a ruído electromagnético, vibrações e envelhecimento. Fraca integração com sistemas de automação e teleprotecção, prejudicando a selectividade. Acresce ainda a falta de direcionalidade adequada em certas condições, o que reduz a capacidade de distinguir correctamente o sentido do defeito, comprometendo a fiabilidade da protecção.

#### 5.3.1. Valores “vistos” pelo relé (21) instalado, para defeito bifásico com resistência do defeito

O esquema apresentado na Figura 32 ilustra a distribuição das impedâncias, bem como a forma como o relé interpreta a relação entre tensão e corrente para determinar a localização do defeito e decidir a actuação.

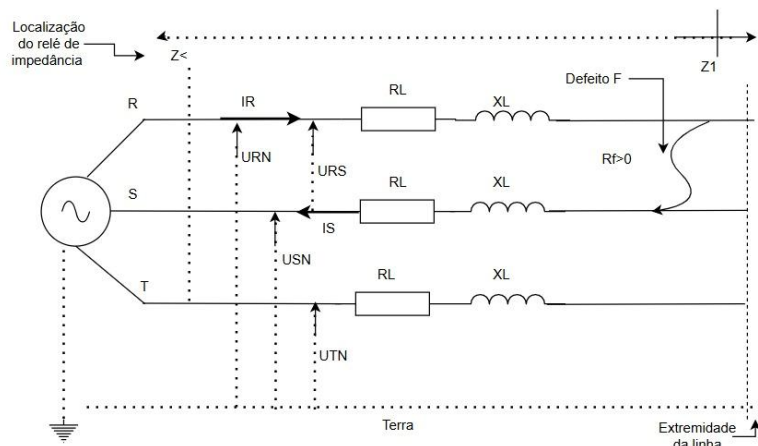


Figura 31: Medida de relé de distância (21) em presença de um defeito bifásico

Fonte: Adaptado de Delgado (2011)

Do circuito podemos obter as seguintes equações:

$$\overline{V}_{RS} = \overline{V}_R - \overline{V}_S = (RL + jX_L) * \overline{I}_R - (RL + jX_L) * \overline{I}_S + R_f * \overline{I}_R \quad (5.10)$$

$$\overline{Z}_{RS} = \frac{\overline{V}_R - \overline{V}_S}{\overline{I}_R - \overline{I}_S} = \frac{(R_L + jX_L) * \overline{I}_R - (R_L + jX_L) * \overline{I}_S}{\overline{I}_R - \overline{I}_S} + \frac{R_f}{\overline{I}_R - \overline{I}_S} \quad (5.11)$$

Com  $\overline{I}_R = -\overline{I}_S$  a equação toma a forma que se segue:

$$\overline{Z}_{RS} = \frac{2 * \overline{I}_R (R_L + jX_L)}{2 * \overline{I}_R} + \frac{R_f * \overline{I}_R}{2 * \overline{I}_R} = R_L + \frac{R_f}{2} + jX_L \quad (5.12)$$

$$R_{medido} = \text{Re}al(Z_{RS}) = RL + \frac{R_f}{2} \quad (5.13)$$

$$X_{medido} = \text{Im}a(Z_{RS}) = XL \quad (5.14)$$

O resultado mostra que, nos relés analógicos, há uma medida correcta da parte reactiva por ser imune a influência da resistência de defeito. Para a parte real a resistência é adicionada a metade da resistência do defeito. E note que a medida, neste caso, é feita globalmente, não sendo possível regular separadamente a parte resistiva,  $R_L$ , e a parte indutiva  $X_L$  da linha. Quando existe resistência de defeito, o relé interpreta essa resistência como se fosse distância da linha, acha que o defeito está mais longe do que realmente está (sobrealcance). Analisando a inconveniência do relé chega-se as seguintes conclusões, de que houve falta de direcionalidade, quando o relé da CL4 opera por defeitos ocorridos na CL5. Além desses disparos que ocorreram no dia 07 de setembro, as linhas apresentam vários outros defeitos, abaixo apresentam-se as causas desses defeitos.

## 5.4. Investigação das causas eléctricas dos disparos

### 5.4.1. Defeitos monofásicos a terra (SLG)

Os defeitos monofásicos à terra representaram cerca de 70% dos disparos registados, estando maioritariamente associadas ao contacto momentâneo do condutor com vegetação, à sujidade acumulada nos isoladores, à humidade elevada, às correntes de fuga e a descargas atmosféricas indirectas. As inspecções em campo revelaram que vários

isoladores da linha CL4 apresentavam poluição significativa e fissuras, factores que contribuíam para a ocorrência frequente de falhas temporárias.

Efeito no relé de distância durante uma falha SLG, a corrente de sequência zero aumenta significativamente, podendo alterar o cálculo da impedância aparente vista pelo relé 21:

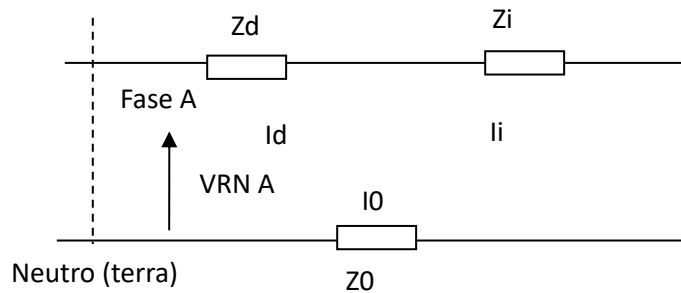


Figura 32: Circuito eléctrico para cálculo da impedância

Fonte: Adaptado de Delgado (2011)

$$\bar{Z}_{RN} = \frac{\bar{V}_{RN}}{I_R - I_N * K_0}, \bar{Z}_{SN} = \frac{\bar{V}_{SN}}{I_S - I_N * K_0}, \bar{Z}_{TN} = \frac{\bar{V}_{TN}}{I_T - I_N * K_0} \quad (5.15)$$

$$Z_{ap} = \frac{V_1}{I_1 + K_0 I_0} \quad (5.16)$$

Se  $k_0$  estiver ajustado incorretamente, o relé pode “ver” uma falha mais próxima do que realmente está provocando actuação indevida.

#### 5.4.2. Defeitos bifásicos (LL) e bifásicas à terra (LLG)

Estes defeitos corresponderam a 20% dos disparos. Normalmente são associadas a:

- Oscilação eólica intensa;
- Vibração em torres antigas da CL4;
- Trepidação mecânica em condutores submissos a ventos fortes;
- Rupturas parciais de condutores nas secções montanhosas da CL5.



Figura 33: Elementos estruturais empenados da torre da CL4

Fonte: Foto tirada pelo autor, 2025.

Estes defeitos causam correntes de curto-circuito superiores, com maior impacto no sistema o relé de distância calcula a sua impedância dessa forma:

$$Z_{RS} = \frac{\bar{V}_R - \bar{V}_S}{I_R - I_S}, Z_{ST} = \frac{\bar{V}_R - \bar{V}_T}{I_R - I_T}, Z_{TS} = \frac{\bar{V}_T - \bar{V}_R}{I_T - I_R} \quad (5.17)$$

#### 5.4.3. Defeitos Trifásicos (LLL)

Foram raras (menos de 2% dos eventos), mas registaram-se dois casos importantes na CL5 associados a descargas atmosféricas directas durante tempestades intensas.

### 5.5. Investigação das causas mecânicas e estruturais

A inspecção da infra-estrutura das linhas revelou problemas relacionados ao envelhecimento e desgaste natural.

### 5.5.1. Degradação de isolares

Da inspeção das linhas foram identificados:

- Isoladores rachados,
- Isoladores com vestígios de *flashover*,
- Isoladores poliméricos com sinais de *tracking* e erosão,
- Isoladores de vidro com manchas de poluição,
- Corrosão em pinos metálicos.

Estes problemas aumentam a probabilidade de defeitos temporários e falhas de isolamento.

### 5.5.2. Vegetação próxima da linha

A gestão inadequada da faixa de servidão resultou em eventos de:

- Galhos a tocar os cabos;
- Descargas induzidas por proximidade.

Na época chuvosa, o crescimento rápido da vegetação acentua o risco.

## 5.6. Investigação das causas atmosféricas

### 5.6.1. Investigação das causas atmosféricas

Essas linhas apresentam registos de interrupções associadas a descargas na zona intermédia (20 – 30km), e zona de fim de linha entre 60 e 100km. Pela localização das linhas em zonas montanhosas estão propensas a descargas em toda extensão. E isso agrava-se pela ausência de cabo de guarda nas mesmas linhas.

## CAPÍTULO VI: MÉTODOS PRÁCTICOS DE MITIGAÇÃO DOS DISPAROS NAS LINHAS CL4 E CL5

### 6.1. Troca dos relés analógicos para digitais e implementação do cabo OPGW nas Linhas CL4 e CL5

Os relés a ser usados para proteger as linhas são os da marca SIEMENS série 7SA61 digital multifuncional cuja função principal é protecção de distância, mas para o projecto serão activadas outras funções, a tecnologia a ser usada será a do relé poligonal que apresenta uma característica com um alcance resistivo e um alcance reactivo que são reguláveis independentemente.

Esta característica é muito flexível no que diz respeito à cobertura de defeitos entre fases e entre fases e a terra, mais comuns nas linhas em estudo.



Figura 34: Relé estático vs Relé digital

Foto do relé estático foi tirada pelo autor no dia 20/10/2025 e do relé digital, disponível em: <https://www.siemens.com>

#### 6.1.2. Revisão dos alcances das zonas (Z1, Z2 e Z3)

Zonas de protecção excessivamente longas (sobretudo Z3) que se sobrepunham às da outra linha.

Tabela 9: Novos ajustes de zonas de protecção

	Ajustes actuais	Proposta de ajuste (Digitais)
<b>CL4 – Zona 1</b>	80% da LT	80% da LT
<b>CL4 – Zona 2</b>	120%	120%
<b>CL4 – Zona 3</b>	200% (frente)	150% (reverso)
<b>CL5 – Zona 1</b>	85%	80%
<b>CL5 – Zona 2</b>	130%	120%
<b>CL5 – Zona 3</b>	200%	150% (reverso)

Fonte: O autor, 2025

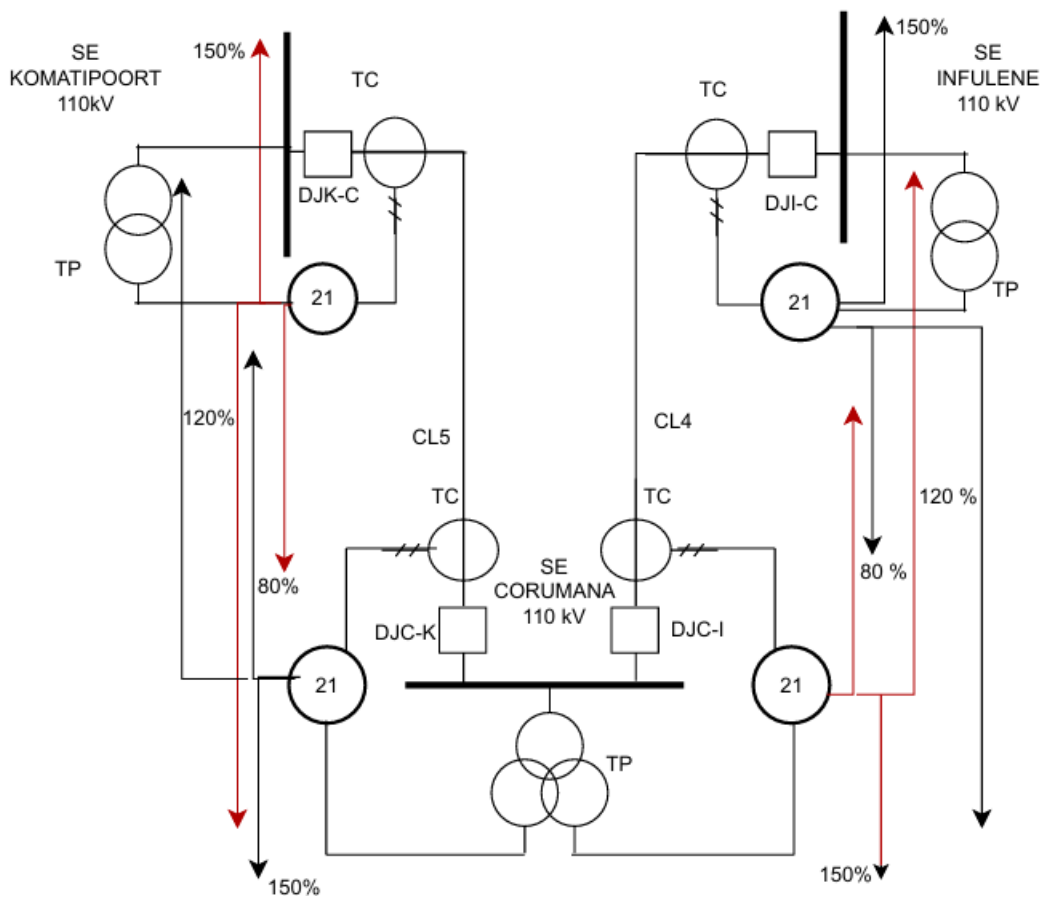


Figura 35: Esquema ilustrativo da instalação dos relés nas linhas CL4 e CL5 e as suas respectivas zonas de protecção

Fonte: O autor, 2025

### 6.1.3. Teleprotecção

Nesta linha não tem o cabo OPGW, feito as investigações percebeu-se que é necessário que tenhamos este cabo ligado que será utilizado para a comunicação das protecções, visto que um dos problemas de falta de selectividade é devido a falta de comunicação das protecções.

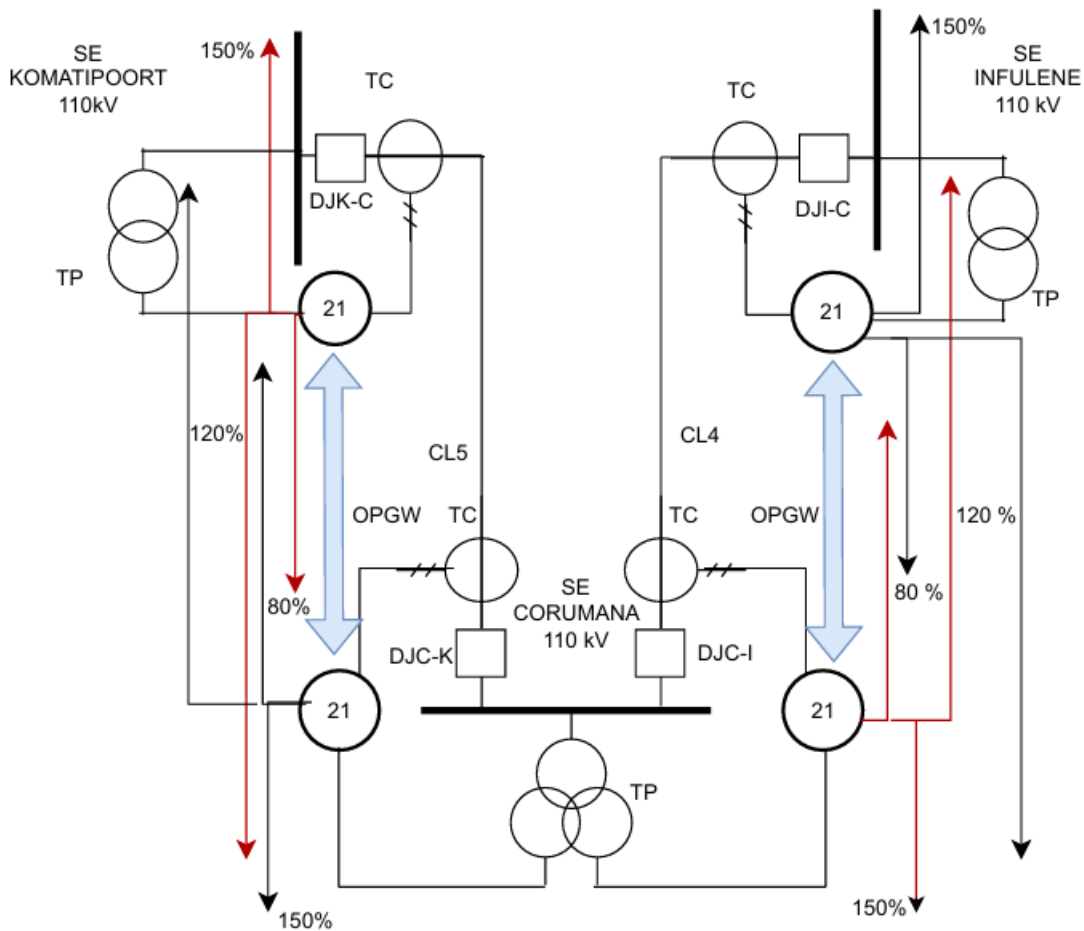


Figura 36: Esquema ilustrativo do meio de comunicação entre relés por via da fibra óptica através do cabo OPGW

Fonte: O autor, 2025

### 6.1.4. Explicação dos esquemas apresentados nas linhas CL4 e CL5

O esquema de teleprotecção que será usada nas duas linhas é denominado por Bloqueio por Comparação Direccional (do inglês **DCB Directional Comparison Blocking**), as razões deste nome são apresentadas abaixo:

- Para os relés de Infulene e Corumana estão regulados para “ver” três zonas nomeadamente; zona 1 ( $t_1=0s$ ) instantâneo, zona 2 ( $t_2=0,3s$ ) temporizado e zona 3 ( $t_3=0,3s$ );
- Para a zona 1 é 80% da impedância da linha, que quando ocorre defeito nesta zona a operação do relé é instantâneo para aquele lado, e deve mandar um sinal pelo canal de teleprotecção para actuar o relé doutra extremidade de forma instantânea;
- Para a zona 2 é 120% da impedância da linha, que quando ocorre defeito nesta zona a operação do relé é temporizada para aquele lado;
- Para a zona 3 é 150% da impedância da linha, mas inverso, que quando ocorre defeito nesta zona (como é a linha CL5) que podem ser ou não vistos pela zona 2 do relé de uma das extremidades remoto, a operação do relé local é de comparar para ver se é defeito interno ou não e de seguida enviar um sinal pelo canal de teleprotecção para bloquear o disparo do relé doutra extremidade (remoto).

Isso acontece também para o lado da CL5 (Komatipoort - Corumana).

## 6.2. Regulação do relé de distância das linhas

### 6.2.1. Parametrização do relé de distância digital (21)

Para ajustar este relé temos que ter muita atenção porque as linhas são de interligação, por isso mesmo este ajuste será feito para que sejam resolvidos todos os problemas de disparos intempestivos.

Os relés de distância são utilizados como relés secundários, ou seja, são alimentados com correntes e tensões obtidas no secundário dos transformadores de corrente e de tensão. O relé mede, por conseguinte, uma impedância secundária que resulta das razões de transformação destes transformadores de medida:

$$Z_S = Z_P * \frac{U_S}{U_P} * \frac{I_P}{I_S} = Z_P * K \quad (6.18)$$

$$K = \frac{U_S}{U_P} * \frac{I_P}{I_S} \quad (6.19)$$



Onde nesta expressão:

$Z_p$  - Impedância primária, isto é, a impedância da linha a Alta Tensão;

$\frac{U_s}{U_p}$  - Relação de transformação dos transformadores de tensão do painel da linha;

$\frac{I_p}{I_s}$  - Relação de transformação dos transformadores de corrente do painel da linha.

**Para o painel da CL4 a 110 kV com as seguintes características:**

Comprimento: 90 km

Transformador de corrente:

$$\frac{I_p}{I_s} = 400 / 1 A \quad (6.20)$$

Transformador de potencial:

$$\frac{U_p}{U_s} = \frac{110000}{\frac{110}{\sqrt{3}}} V \quad (6.21)$$

Para valor de K, tem-se que:

$$K = \frac{I_p}{I_s} * \frac{U_s}{U_p} \rightarrow K = \frac{400}{1} * \frac{110}{110000} = 0,4 \Omega \quad (6.22)$$

Resistência da linha:

$$RL = 0,105 \Omega / km * 90 km = 4,73 \Omega \quad (6.23)$$

Reactância da linha

$$XL = 0,396 \Omega / km * 90 km = 17,82 \Omega \quad (6.24)$$

➤ **Para o relé da CL4**

Comprimento: 90 km



Resistência da linha RL:  $RL = 0,105 \Omega / km * 90 km = 4,73 \Omega$

Reactância da linha:  $XL = 0,396 \Omega / km * 90 km = 17,82 \Omega$

Resistência homopolar da linha:  $R_0 = 0,256 \Omega / km * 90 km = 11,52 \Omega$

Reactância homopolar da linha:  $X_0 = 1,385 \Omega / km * 90 km = 124,65 \Omega$

As impedâncias secundárias a ser introduzidos no relé são calculadas usando a fórmula da Equação 6.18 acima mostrada:

$$R_s (\text{Zona1 80\%}) = 0,8 \times 4,73 \times 0,4 = 1,513 \Omega \quad t1 = 0 \text{ s}$$

$$X_s (\text{Zona1 80\%}) = 0,8 \times 17,82 \times 0,4 = 5,7 \Omega \quad t1 = 0 \text{ s}$$

$$R_{0s} (\text{Zona1 80\%}) = 0,8 \times 11,52 \times 0,4 = 3,68 \Omega \quad t1 = 0 \text{ s}$$

$$X_{0s} (\text{Zona1 80\%}) = 0,8 \times 124,65 \times 0,4 = 39,84 \Omega \quad t1 = 0 \text{ s}$$

$$R_s (\text{Zona2 120\%}) = 1,2 \times 4,73 \times 0,4 = 2,27 \Omega \quad t1 = 0,3 \text{ s}$$

$$X_s (\text{Zona2 120\%}) = 1,2 \times 17,82 \times 0,4 = 8,55 \Omega \quad t1 = 0,3 \text{ s}$$

$$R_{0s} (\text{Zona2 120\%}) = 1,2 \times 11,52 \times 0,4 = 5,53 \Omega \quad t1 = 0,3 \text{ s}$$

$$X_{0s} (\text{Zona2 120\%}) = 1,2 \times 124,5 \times 0,4 = 59,76 \Omega \quad t1 = 0,3 \text{ s}$$

$$R_s (\text{Zona 3 150\%}) = 1,5 \times 4,73 \times 0,4 = 2,84 \Omega \quad t1 = 0,3 \text{ s}$$

$$X_s (\text{Zona 3 150\%}) = 1,5 \times 17,28 \times 0,4 = 10,36 \Omega \quad t1 = 0,3 \text{ s}$$

$$R_{0s} (\text{Zona 3 150\%}) = 1,5 \times 11,52 \times 0,4 = 6,91 \Omega \quad t1 = 0,3 \text{ s}$$

$$X_{0s} (\text{Zona 3 150\%}) = 1,5 \times 124,5 \times 0,4 = 74,7 \Omega \quad t1 = 0,3 \text{ s}$$

$$K_0 L_R = \frac{XE}{RL} = \frac{R_0 - R}{3R} = \frac{11,52 - 4,73}{3 * 4,73} = 0,478 \quad (6.25)$$

$$K_0 L_X = \frac{XE}{XL} = \frac{X_0 - X}{3X} = \frac{62,28 - 17,82}{3 * 17,82} = 0,831 \quad (6.26)$$

Esses valores serão introduzidos nesses novos relés, os cálculos são validos para a linha CL5 apenas alterar o valor do comprimento.



### 6.3.2. Verificação do fluxo de potência

A Figura 38 mostra um funcionamento normal das linhas:

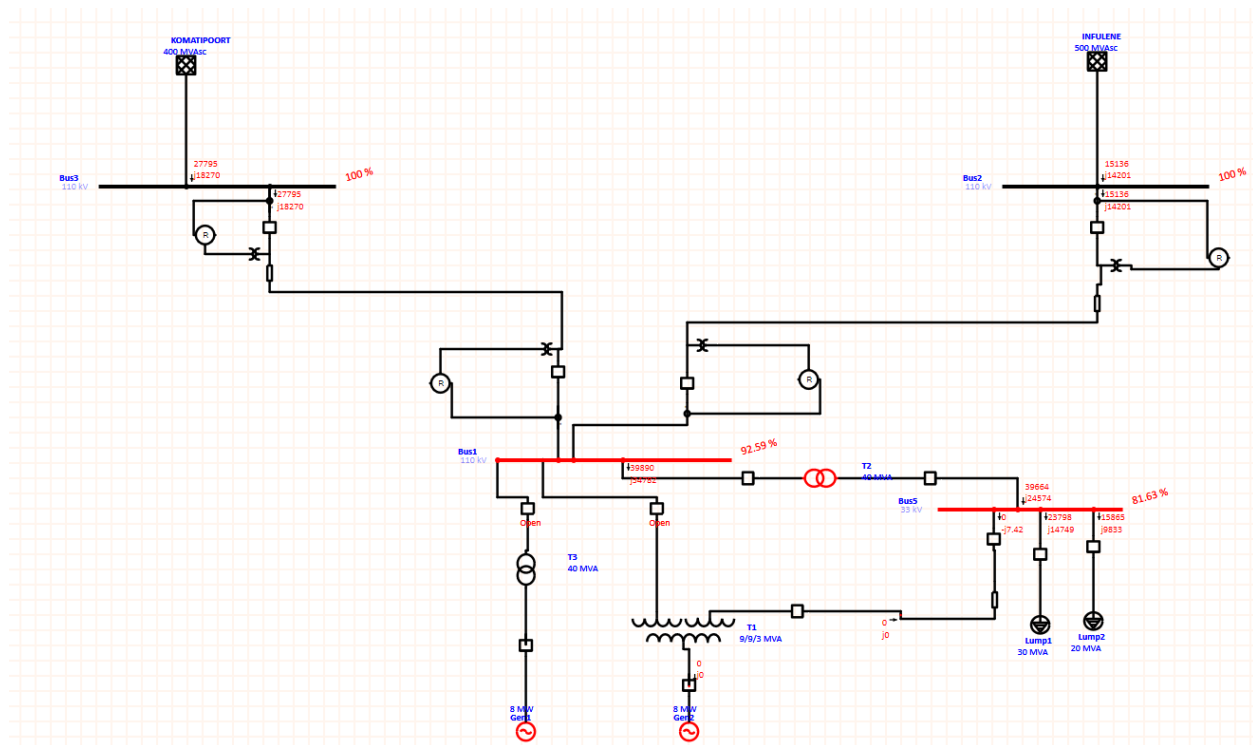


Figura 38: Fluxo de potência da rede simulado no ETAP

Fonte: O autor, 2025

### 6.3.3. Aplicação de um defeito na linha CL5 (Komatipoort - Corumana)

Neste caso foi simulado um curto-circuito na linha CL5 e observa-se que abriram três disjuntores, situação que ocorreu no dia 07 de setembro de 2025, o disjuntor do lado da CL4 não deveria operar porque o defeito não se encontra na sua zona sendo assim percebeu-se com as investigações feitas acima que era necessário a instalação de relés digitais em todas as extremidades das linhas.

Assim, ficou evidente através das análises realizadas que a ausência de teleprotecção e as limitações tecnológicas dos relés estáticos contribuem directamente para os disparos indevidos registados entre as linhas CL4 e CL5, garantindo maior selectividade, rapidez de actuação e fiabilidade de serviço em todas as extremidades das linhas em estudo.

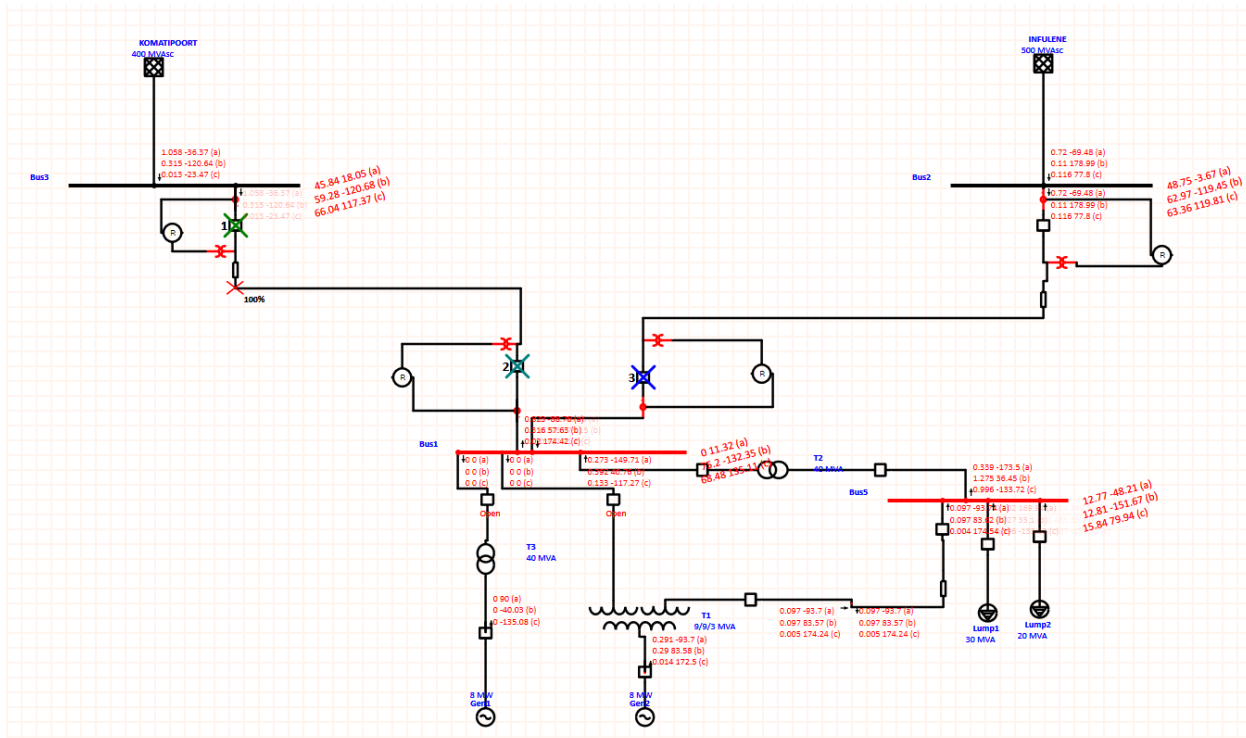


Figura 39: Simulação de um defeito na linha CL5 e actuação incorrecta da protecção da linha CL4

Fonte: O autor, 2025

### 6.3.4. Verificação da selectividade do sistema de protecção perante ao defeito aplicado

O esquema da Figura 40 mostra uma operação das protecções da linha CL5 e desta vez não operam as protecções da CL4 o que quer dizer que não há operação intempestiva da protecção da CL4 isso devido a instalação e coordenação das protecções e com essa simulação mostra que a solução para que não tenhamos disparos não selectivos nas linhas é necessário a instalação das protecções digitais e uma boa coordenação das protecções.

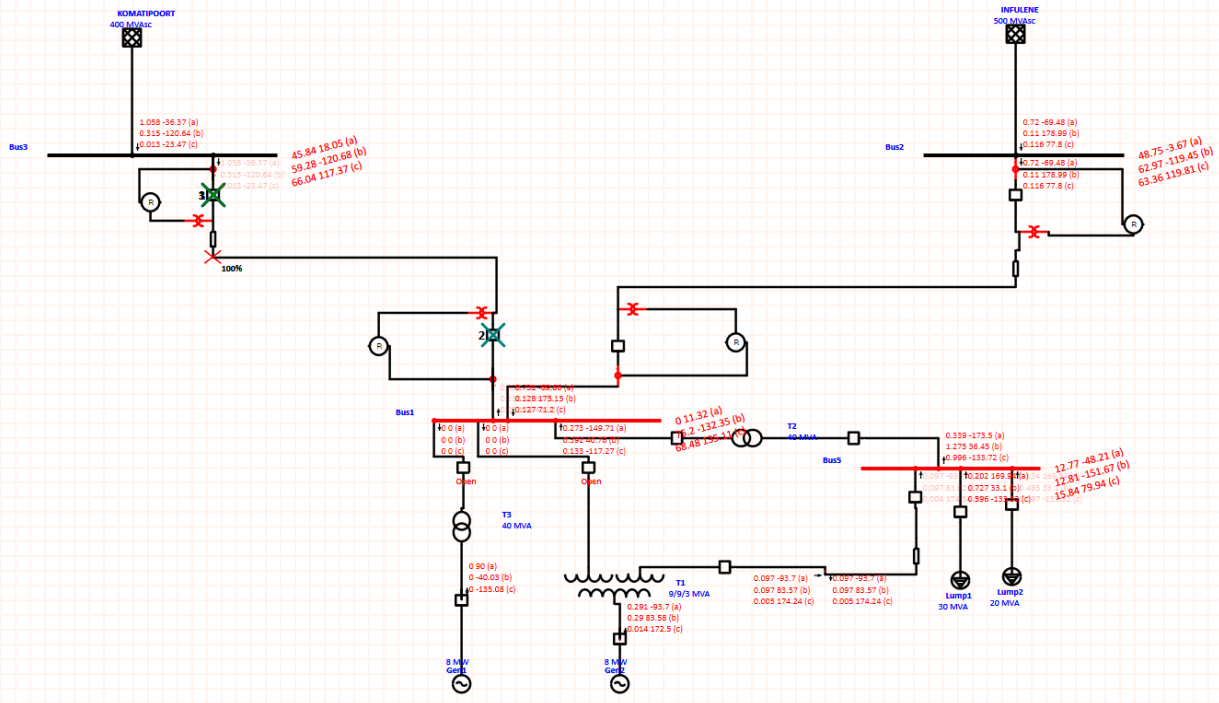


Figura 40: Simulação de um defeito na linha CL5 e não actuação da protecção da linha CL4

Fonte: O autor, 2025

## 6.4. Medidas de mitigação para minimizar outros defeitos nas linhas

### 6.4.1. Reforço da protecção contra descargas atmosféricas

Tabela 10: Protecções contra descargas atmosféricas

Categoria	Medida Técnica
Optimização do sistema de cabo de guarda e OPGW	Dimensionamento dos cabos OPGW para as linhas
	Reforço de torres em zonas montanhosas

Instalação de pára-raios ( <i>surge arresters</i> ) nos terminais	Instalação de pára-raios em terminais
	Redução de falhas por <i>backflash</i>
Melhoria do sistema de aterramento	Implementação de aterramentos de baixa impedância
	Minimização da ocorrência de <i>flashover</i> em isoladores

Fonte: O autor, 2025

O cabo OPGW reúne duas funções principais: proteger a linha contra descargas atmosféricas e garantir comunicações de alta fiabilidade através das fibras ópticas incorporadas, essenciais para teleprotecção e supervisão do sistema. A escolha das suas características eléctricas e mecânicas é feita com recurso ao método electromagnético, assegurando que o cabo suporta as correntes de raio e as condições operativas das linhas envolvidas que apresentam as mesmas características estruturais, a distância vencida é dada:

$$d' = \frac{h' + y}{2 * (1 - \sin \theta_0)} \quad (6.27)$$

$$d' = \frac{22,458 + 21}{2 * (1 - \sin 17)} = 30,7 m \quad (6.28)$$

O ângulo de cobertura do cabo de guarda é igual a  $17^\circ$ . O posicionamento do cabo de guarda com essas características garante a blindagem total dos condutores de fase, conforme o apêndice 3. Assim a corrente de descarga torna-se:

$$d' = 6,7 * I^{0,8} \rightarrow I = \sqrt[0,8]{\frac{30,7}{6,7}} = 6,7 kA \quad (6.29)$$

Assim, o cabo de guarda deve ter uma capacidade de curto circuito ( $kA^2s$ ) superior a  $6,7^2 \times 1 = 44,89 kA^2s$ . Portanto, será usado o cabo de nome OPGW-60B1-75[48.7;44.9] apresentado no anexo 16.

Onde:

$d'$  - Distancia vencida pelo salto [m]

$I$  - Intensidade de corrente de descarga [kA]

$\theta_0$  - Ângulo de cobertura

$h', y$  - Alturas do cabo de guarda e do condutor de fase em relação ao solo, respectivamente [m].

## CAPÍTULO VII: PLANO DE MONITORIZAÇÃO CONTÍNUA E MANUTENÇÃO PREVENTIVA DAS LINHAS CL4 E CL5

### 7.1. Breve descrição

A operação eficiente e segura de linhas de transmissão de alta tensão depende directamente de um plano de monitorização contínua e de manutenção preventiva devidamente estruturado. Após a identificação das causas dos disparos e a definição das medidas de mitigação, torna-se essencial estabelecer um plano sistemático que assegure, no anexo 10 encontra-se a proposta do plano.

Onde para a respectiva manutenção contínua seriam necessárias

- Sensores de vibração em torres;
- Sensores de corrente de fuga em isoladores;
- Drones com inteligência artificial para inspecção automática;
- Termografia infravermelha;
- Sensores meteorológicos ao longo da linha.

### 7.2. Estimativa de custos para Implementação do projecto de substituição dos relés

#### 7.2.1. Custo de aquisição do material

Tabela 11: Custo de aquisição do material

	<b>Produto</b>	<b>Qtd</b>	<b>Preço (MZN)</b>	<b>Total</b>
1	Relés da SIEMENS	8	34.680,00	277.440,00
2	Cabos de conexão 2.5 mm <sup>2</sup>	--	50.000,00	50.000,00
3	CMC 256 OMICRON	1	500.000,00	500.000,00

4	Cabos de conexão 1.5 mm <sup>2</sup>	--	20.000,00	20.000,00
5	CT ANALYZER	1	150.000,00	150.000,00
6	CPC 100 OMICRON	1	45.000,00	45.000,00
	Subtotal 1			<b>1.042.440,00</b>

Fonte: (Adaptado pelo autor 2025, lojas de aluguel de materiais e sites fornecedores)

### 7.2.2. Mão-de-obra

Mão-de-obra					
	Especificação	Qtd.	Horas	Salário/hora (MZN)	Total (MZN)
1	Engenheiro	2	720	250	360.000,00
2	Técnico	2	720	100	144.000,00
3	Auxiliares	5	720	28,31	101.916,00
4	Oficiais	1	720	32,47	23.378,40
<b>Subtotal 2</b>					<b>629.294,40</b>
Transporte					
1	Escadote	1	24	3.950,00	94.800,00
2	Carinha pick-up	1	720	300,00	216.000,00
<b>Subtotal 3</b>					<b>310.800,00</b>
<b>Total (MZN)</b>					<b>1.982.534,40</b>

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

A estimativa de custo do presente trabalho foi elaborada em função de todas as etapas que o projecto apresenta. O custo apresentado no projecto encontra-se isento do valor de IVA da aquisição de todos elementos envolvidos, sendo que o valor é de **1.982.534,40** (Um milhão, novecentos e oitenta e dois mil, quinhentos e trinta e quatro meticais e quarenta centavos).

Tabela 12: Equipamentos e respectivas empresas de aquisição para a implementação e ensaios do sistema de proteção com relé SIPROTEC 7SA6

Nº	Equipamento	Empresa ou Local de aquisição
1	Relés da SIEMENS	Siemens Lda, ou importação no Alibaba
2	Cabos de conexão 2,5 mm <sup>2</sup>	Socoal Lda, ou importação no Alibaba
3	CMC 256 OMICRON	Alectrix (Pty) Ltd ou aluguer
4	Cabos de conexão 1,5 mm <sup>2</sup>	Prysmian Group
5	CT ANALYZER	Alectrix (Pty) Ltd ou empresa especializada em ensaios (aquisição ou aluguer) -TECNEL
6	CPC 100 OMICRON	Alectrix (Pty) Ltd ou empresa especializada em ensaios (aquisição ou aluguer)
7	Escadote	Builders Warehouse
8	Carrinha pick-up	Frota operacional da EDM

Fonte: Elaborado pelo autor, 2025

## CAPÍTULO VIII: CONSIDERAÇÕES FINAIS

### 8.1. Conclusões

Este trabalho demonstrou que a análise sistemática de falhas, quando aliada a ajustes adequados de protecção, modernização de infra-estruturas e manutenção eficiente, constitui a base para um sistema de transmissão mais robusto, seguro e confiável.

Constatou-se que a maioria dos desligamentos está associada a faltas monofásicas à terra, seguidas de faltas bifásicas e, com menor frequência, trifásicas, sendo estes eventos maioritariamente provocados por descargas atmosféricas, degradação do isolamento, contaminação ambiental por excrementos de pássaros e ausência de cabo de guarda na extensão das linhas.

A análise das protecções demonstrou que a utilização ainda persistente de relés estáticos limita a actuação selectiva, a precisão de medição e a capacidade de diagnóstico, dificultando a coordenação eficiente entre as protecções terminais. A migração para relés digitais revela-se, por isso, uma medida essencial, uma vez que estes proporcionam maior sensibilidade, direcionalidade, velocidade de actuação e integração com sistemas de comunicação modernos.

A aplicação das medidas propostas neste relatório permitirá não apenas reduzir a ocorrência de disparos nas linhas CL4 e CL5, mas também melhorar o desempenho global da rede de transporte sul, garantindo maior estabilidade e continuidade no fornecimento de energia eléctrica.

Com isso, os objectivos definidos foram alcançados de forma satisfatória, fornecendo um contributo relevante para o aprimoramento técnico-operacional das infra-estruturas eléctricas da EDM.

### 8.2. Recomendações

- Instalação do OPGW para modernizar integralmente as teleprotecções e proteger contra descargas eléctricas.
- Implementar protecção contra descargas atmosféricas com instalação adicional de pára-raios e reforço do aterramento.



- Substituir isoladores antigos, danificados ou contaminados em segmentos críticos por excrementos de pássaros nos isoladores e outros.
- Melhorar e testar periodicamente o sistema de religamento automático (AR).

## 8.3. Bibliografia

### 8.3.1. Referências bibliográficas

- 1 ALSTOM. Network Protection and Automation Guide. 3.<sup>a</sup> ed. Alstom Grid Worldwide, USA, 2011.
- 2 BLACKBURN, J. L., DOMIN, T. J. Protective Relaying Principles and Applications. 3 ed. New York, CRC Press, 2006.
- 3 BOLTINHA, M. Subestações: Projecto, Construção, Fiscalização. 2.<sup>a</sup> ed. Lisboa: Quântica Editora, 2019.
- 4 DELGADO, M. Protecção das Redes Eléctricas de Distribuição, Transporte e Interligação. Porto, Engebook, 2011.
- 5 EDM, DIRECÇÃO DE PLANEAMENTO DO SISTEMA ELÉCTRICO (DPSE). Mapa da Rede de Transporte. Maputo: EDM, 2023.
- 6 ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE. Manual de Caracterização da Rede Nacional de Transporte. Maputo: EDM, 2017.
- 7 ELECTRICIDADE DE MOÇAMBIQUE, Relatório e Contas 2023. Maputo, 2024.
- 8 FRAZIO, R. J. A. Protecção do Sistema Eléctrico de Potência. Londrina: Editora e Distribuidora Educacional S.A., 2019.
- 9 GLOVER, J. D.; SARMA, M. S.; OVERBYE, T. J. Power System Analysis and Design. 5.<sup>a</sup> ed. Stamford: Cengage Learning, 2012.
- 10 GONZALEZ, J. L. Sistemas de Telecomunicações por Fibra Óptica em Redes de Energia Eléctrica. São Paulo: Editora Érica, 2008.
- 11 KINDERMANN, G. Curto-Circuito. 2.<sup>a</sup> ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1997.
- 12 Japan International Cooperation Agency (JICA). National Power System Development Master Plan for Mozambique, Maputo, 2023.
- 13 KINDERMANN, G. Protecção de Sistemas Eléctricos de Potência. Vol. 1. 2.<sup>a</sup> ed. Santa Catarina: LABPLAN, 2005.
- 14 KINDERMANN, G. Sistemas Eléctricos de Potência. 4. ed. São Paulo: Érica, 2011.

15 MAMEDE, J.; MAMEDE, D. R. Protecção de Sistemas Eléctricos de Potência. Rio de Janeiro: LTC, 2011.

16 MOHAN, Ned. Sistemas Eléctricos de Potência: Curso Introdutório. Tradução de Walter Denis Cruz Sanchez. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.

17 PAIVA, José. Redes de Energia Eléctrica. Lisboa: Fundação Calouste Gulbenkian, 2011.

18 REPÚBLICA DE MOÇAMBIQUE. Decreto n.º 60/2021, de 18 de agosto – Regulamento de Licenças para Instalações Eléctricas AT. Boletim da República, I Série, n.º 159.

19 SELINC. SEL-311L Line Current Differential Protection and Automation System. Manual. Pullman (WA): SEL, 2021.

20 SIEMENS. SIPROTEC – Protecção de Distância 7SA6. Manual Técnico, Versão A1, 2008

### 8.3.2. Outra bibliografia consultada

1 <https://www.electricalibrary.com/2018/08/06/conheca-o-relé-eletromecanico/> , acessado aos 19/09/2025

2 <https://tecnogera.com.br/blog/o-que-e-sep-sistema-eletrico-de-potencia/>, acessado aos 18/10/2025

3 <https://idec.org.br/edasuconta/o-setor>, acessado aos 18/10/2025

4 Eletronet. Qual a Relação da Transmissão de Energia Eléctrica e o Cabo OPGW? 19 jul. 2018. Disponível em: <https://www.eletronet.com/blog/qual-a-relacao-da-transmissao-de-energia-eletrica-e-o-cabo-opgw/>. acessado aos: 20/09/2025

5 [Cabo OPGW de 24 Fabricante de cabos Cores-Dosense](#), acessado aos 13/11/2025

6 <https://www.nooaelectric.com/pt/products/china-u70bs-suspension-glass-insulators-with-stock.html> acessado aos 20/10/2025, acessado aos 27/10/2025

7 <https://www.tanocable.com/products/bare-conductor/acsr.html>, acessado aos 25/09/2025

# Anexos

---

# Anexo 1: Configuração operacional da Rede Sul da EDM

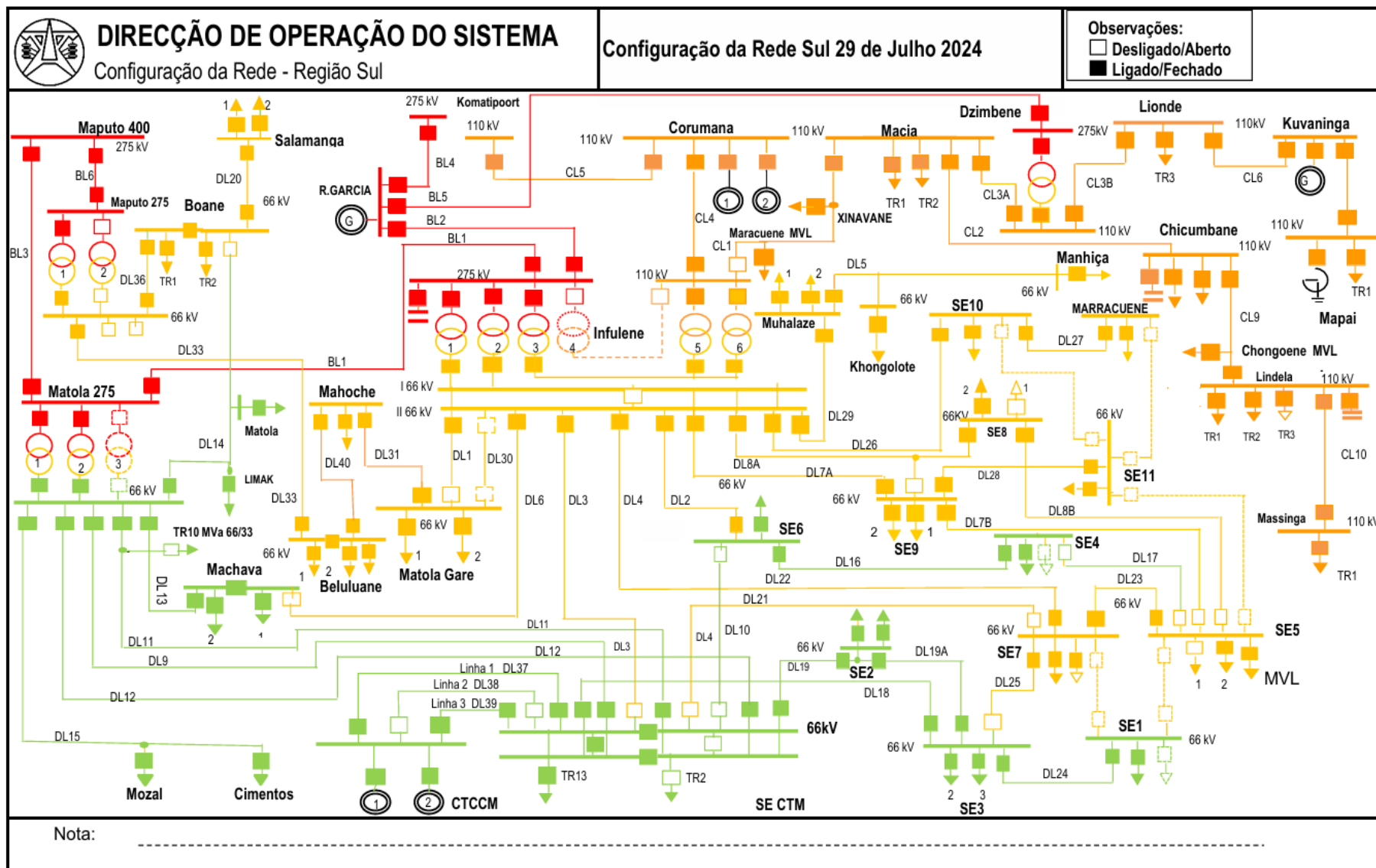


Figura A1.1-1: Configuração da Rede Sul

Fonte: EDM - DTSU

## Anexo 2: Indicadores de desempenho das linhas de CL4 e CL5

Tabela A2: 1-2: Indicadores anuais de desempenho das linhas CL04 e CL05, incluindo número de disparos, MTBF e MTTR no período 2022–2025.

Ano	Linha	N.º disparos	MTBF_h	MTTR_h
2022	CL04	19	344,6	1,25
	CL05	5	1301,09	9,31
2023	CL04	7	1247,54	3,89
	CL05	3	2898,64	21,36
2024	CL04	5	2926,48	1,52
	CL05	3	2926,48	1,52
2025	CL04	5	1166,06	1,34
	CL05	3	5831,87	1,13

Fonte: EDM - DTSU

### Anexo 3: Ocorrências Registradas nas Linhas CL4 e CL5

Tabela A3: 1-3: Registo dos disparos das linhas CL4 e CL5 no período 2022–2025.

	DATA/HORA INÍCIO	DATA/HORA FIM	EQUIP.	SINALIZAÇÃO	CAUSAS
<b>2022</b>	19-01-2022 13:45	19-01-2022 13:48	CL4d	Distância	Protecção a distância a 57% e defeito de terra nas fases RS na CL5
	27-01-2022 03:12	27-01-2022 03:18	CL5d	Distância	Protecção a distância a 69% e defeito de terra na fase S
	21-02-2022 01:12	21-02-2022 01:15	CL4d	Distância	Protecção a distância zona 1
	03-05-2022 05:40	03-05-2022 05:45	CL4d	Distância Z1	Protecção zona1 35.46Km defeito terra fase T
<b>2023</b>	08-02-2023 15:38	08-02-2023 15:51	CL4d	Distância Z1	Protecção zona1 fase S 24.8Km
	12-02-2023 17:04	12-02-2023 21:25	CL5d	Distância Z1	Protecção zona1 fase R
	12-02-2023 21:22	12-02-2023 21:25	CL4d	Distância Z1	Protecção zona1 25.86Km defeito terra T
	26-03-2023 18:36	26-03-2023 19:36	CL4d	Distância Z1	Protecção zona1 22.72Km fases S e Terra
	27-03-2023 08:07	27-03-2023 19:09	CL4d	Distância Z1	Rompimento de cadeia de isoladores
	18-05-2023 18:00	19-05-2023 10:11	CL5d	Distância Z1	Protecção zona1 22Km fases T/N
	10-07-2023 01:50	10-07-2023 02:50	CL4d	Distância	Disparo simultâneo TR1
	29-10-2023 00:31	29-10-2023 04:02	CL4d	Distância Z1	PD zona1 fase R 1.9Km
	08-12-2023 20:13	10-12-2023 07:56	CL5d	Distância Z2	Linha partilhada descargas atmosféricas
	08-12-2023 20:24	08-12-2023 20:39	CL4d	Defeito terra IO>	Erro sincronização energização CL5

### Anexo 3: Ocorrências Registradas nas Linhas CL4 e CL5

Tabela A3: 2-4: Registo dos disparos das linhas CL4 e CL5 no período 2022–2025.

<b>2024</b>	<b>05-02-2024 20:58</b>	<b>05-02-2024 23:51</b>	<b>CL4d</b>	<b>Distância Z2</b>	<b>Protecção Z2 68.07Km mau tempo</b>
	14-03-2024 00:34	14-03-2024 00:43	CL4d	Distância Z1	Protecção Z1 29.62Km fases RS
	03-06-2024 19:52	04-06-2024 01:30	CL5d	Distância Z1	Mau tempo zona1 RST
	22-10-2024 05:50	22-10-2024 15:16	CL5d	Distância Z1	Disparo protecção Z1
	27-10-2024 03:32	27-10-2024 03:50	CL4d	Distância Z1	Disparo protecção Z1
	27-10-2024 19:46	27-10-2024 21:33	CL5d	Distância Z1	Protecção distância 51Km
	27-10-2024 20:15	27-10-2024 21:29	CL4d	Defeito terra I0>	Disparo defeito terra
	28-10-2024 21:34	28-10-2024 21:48	CL4d	Distância Z1	Protecção Z1 5.108Km
	29-10-2024 17:13	30-10-2024 15:42	CL5d	Distância Z1	Protecção Z1/Z2 17.35Km
	27-11-2024 17:08	27-11-2024 17:19	CL4d	Distância Z1	Disparo sem indicação
	27-11-2024 17:08	27-11-2024 17:25	CL04d	Distância Z1	Zona1 fase R 40.17Km
	27-11-2024 21:00	28-11-2024 03:39	CL5d	Distância Z2	Zona2 mau tempo
	02-12-2024 21:03	02-12-2024 21:31	CL4d	Distância Z1	Zona1 25.19Km fase T
	06-12-2024 00:03	13-12-2024 21:17	CL5d	Distância Z1	Protecção 99% fase R/N
	13-12-2024 21:05	13-12-2024 21:17	CL4d	Distância Z1	Zona1 76Km fase R
	19-12-2024 09:31	19-12-2024 09:45	CL4d	Distância Z1	Fases S N 99Km
	23-12-2024 19:23	23-12-2024 19:39	CL4d	Distância Z1	Zona1 fases ST
<b>2025</b>	08-01-2025 15:11	08-01-2025 15:32	CL4d	Distância Z1	Zona1 37.03Km defeito passageiro
	10-01-2025 16:32	10-01-2025 16:40	CL4d	Distância Z1	Zona1 44.8Km defeito passageiro
	15-01-2025 16:28	15-01-2025 17:01	CL4d	Distância Z1	Zona1 27.7Km isolador partido
	15-01-2025 19:19	15-01-2025 19:27	CL05d	Distância Z1	Z1 disparo passageiro
	07-09-2025 02:05	07-09-2025 03:49	CL04d	Distância Z1	Em investigação

Fonte: EDM - DTSU

#### Anexo 4: Tabela ANSI de funções de Protecção

Tabela A4: 1-5: Tabela de funções de protecção

Nr	Denominação
1	Elemento Principal
2	Relé de partida ou fechamento temporizado
3	Relé de verificação ou interbloqueio
4	Contactador principal
5	Dispositivo de interrupção
6	Disjuntor de partida
7	Relé de taxa de variação
8	Dispositivo de desligamento da energia de controle
9	Dispositivo de reversão
10	Chave comutadora de sequência das unidades
11	Dispositivo multifunção
12	Dispositivo de sobrevelocidade
13	Dispositivo de rotação síncrona
14	Dispositivo de subvelocidade
15	Dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade e/ou frequência
16	Dispositivo de comunicação de dados
17	Chave de derivação ou descarga
18	Dispositivo de aceleração ou desaceleração
19	Contactador de transição partida-marcha
20	Válvula operada eletricamente
21	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
28	Detector de chama
29	Contactador de isolamento
30	Relé anunciador
31	Dispositivo de excitação
32	Relé direcional de potência
33	Chave de posicionamento
34	Dispositivo <i>master</i> de sequência
35	Dispositivo para operação das escovas ou curto-circuitar anéis coletores
36	Dispositivo de polaridade ou polarização
37	Relé de subcorrente ou subpotência
38	Dispositivo de protecção de mancal
39	Monitor de condições mecânicas
40	Relé de perda de excitação ou relé de perda de campo

## Anexo 4: Tabela ANSI de funções de Protecção

Tabela A4: 2-6: Tabela de funções de protecção

41	Disjuntor ou chave de campo
42	Disjuntor / chave de operação normal
43	Dispositivo de transferência ou seleção manual
44	Relé de sequência de partida
45	Monitor de condições atmosféricas
46	Relé de reversão ou desbalanceamento de corrente
47	Relé de reversão ou desbalanceamento de tensão
48	Relé de sequência incompleta / partida longa
49	Relé térmico
50	Relé de sobrecorrente instantâneo
51	Relé de sobrecorrente temporizado
52	Disjuntor de corrente alternada
53	Relé para excitatriz ou gerador CC
54	Dispositivo de acoplamento
55	Relé de factor de potência
56	Relé de aplicação de campo
57	Dispositivo de aterramento ou curto-circuito
58	Relé de falha de retificação
59	Relé de sobretensão
60	Relé de balanço de corrente ou tensão
61	Sensor de densidade
62	Relé temporizador
63	Relé de pressão de gás ( <i>Buchholz</i> )
64	Relé detetor de terra
65	Regulador
66	Relé de supervisão do número de partidas
67	Relé direcional de sobrecorrente
68	Relé de bloqueio por oscilação de potência
69	Dispositivo de controle permissivo
70	Reóstato
71	Dispositivo de detecção de nível
72	Disjuntor de corrente contínua
73	Contactador de resistência de carga
74	Relé de alarme
75	Mecanismo de mudança de posição
76	Relé de sobrecorrente CC
77	Dispositivo de telemedição
78	Relé de medição de ângulo de fase / protecção contra falta de sincronismo
79	Relé de religamento
80	Chave de fluxo
81	Relé de frequência (sub ou sobre)

## Anexo 4: Tabela ANSI de funções de Protecção

Tabela A4: 3-7: Tabela de funções de protecção

82	Relé de religamento de carga de CC
83	Relé de seleção / transferência automática
84	Mecanismo de operação
85	Relé receptor de sinal de telecomunicação (teleprotecção)
86	Relé auxiliar de bloqueio
87	Relé de protecção diferencial
88	Motor auxiliar ou motor gerador
89	Chave seccionadora
90	Dispositivo de regulação (regulador de tensão)
91	Relé direcional de tensão
92	Relé direcional de tensão e potência
93	Contactador de variação de campo
94	Saídas digitais de alta velocidade para <i>Trip</i>
95	Usado para aplicações específicas
96	Relé auxiliar de bloqueio de barra
97 a 99	Usado para aplicações específicas
150	Indicador de falta à terra
AFD	Detector de arco voltaico
ARC	Religamento automático seletivo
CLK	<i>Clock</i>
DDR	Sistema dinâmico de armazenamento de perturbações
DFR	Sistema de armazenamento de faltas digital
ENV	Dados do ambiente
HIZ	Detector de faltas com alta impedância
HMI	Interface homem-máquina
HST	Histórico
LGC	Esquema lógico
LM	Monitoramento de linhas
MET	Medição de subestação
PDC	Concentrador de dados de fasores
PMU	Unidade de medição de fasores
PQM	Esquema de monitoramento de potência
RIO	Dispositivo remoto de I/Os
RTU	Unidade de terminal remoto / Concentrador de dados
SER	Sistema de armazenamento de eventos
SOTF	Fechamento sob falta
TCM	Esquema de monitoramento de <i>trip</i>
TD21	Protecção de distância de fase e terra baseada em grandezas incrementais
TD32	Elemento direcional baseado em grandezas incrementais
TW32	Elemento direcional baseado em ondas viajantes
TW87	Protecção diferencial de linhas baseada em ondas viajantes

Fonte: SELENIC, 2025

### Anexo 5: Ilustração geográfica das linhas CL4 e CL5

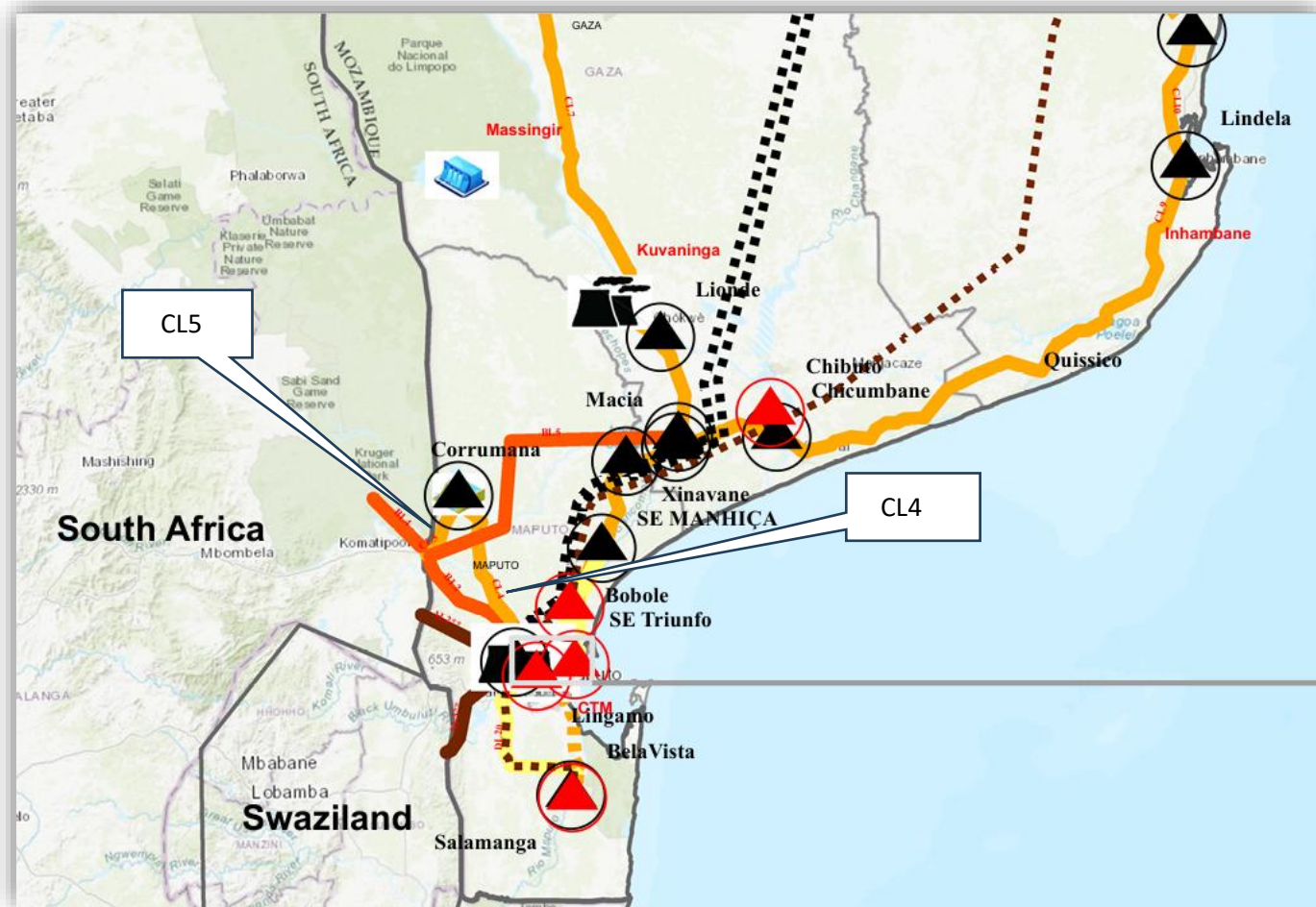


Figura A5: 1-8: Localização geográfica das linhas na rede sul

Fonte: DPSE, 2023

## ANEXO 6: Torres de chegada ou saída das linhas CL4 e CL5



Figura A6: 1-9: Torre de transmissão da linha CL4 e CL5 a partir da SE Corumana

Fonte: Fotografia tirada pelo autor a partir da SE Corumana, 2025

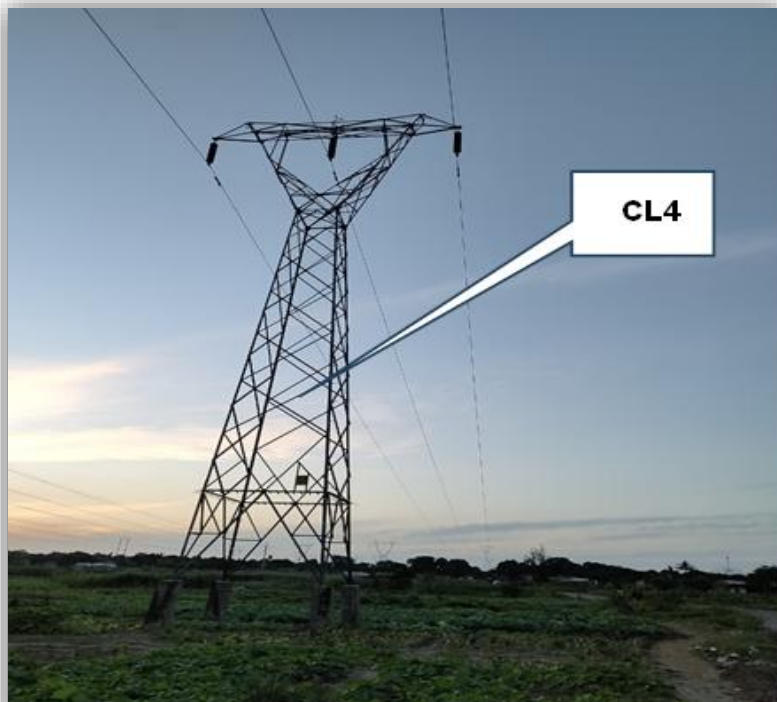


Figura A6: 2-9: Torre de transmissão da linha CL4 sem cabo de guarda

Fonte: Fotografia tirada pelo autor, 2025

**Anexo 7: Registos fotográficos das chapas característica dos equipamentos e do painel de linha**



Figura A7: 1-10: Painel de linha da CL4 visto da SE Infulene

Fonte: Fotografia tirada pelo autor no dia 13/10/2025



Figura A7: 2-10: Chapa característica do disjuntor da CL5 da SE Corumana

Fonte: Fotografia tirada pelo autor no dia 13/10/2025



Figura A7: 3-10: Chapa característica do disjuntor da CL4 da SE Corumana

Fotografia tirada pelo autor no dia 13/10/2025

**Anexo 7: Registos fotográficos das chapas característica dos equipamentos e do painel de linha**



Figura A7: 4-11: Mecanismo de actuao e comando do seccionador da linha CL5 na SE Corumana

Fonte: Fotografia tirada pelo autor no dia 13/10/2025



Figura A7: 5-11: Painel de controle de barramento na SE Corumana

Fonte: Fotografia tirada pelo autor no dia 13/10/2025



Figura A7: 6-11: Chapa característica do transformador de corrente SE Corumana

Fonte: Fotografia tirada pelo autor no dia 13/10/2025

**Anexo 7: Registos fotográficos das chapas característica dos equipamentos e do painel de linha**

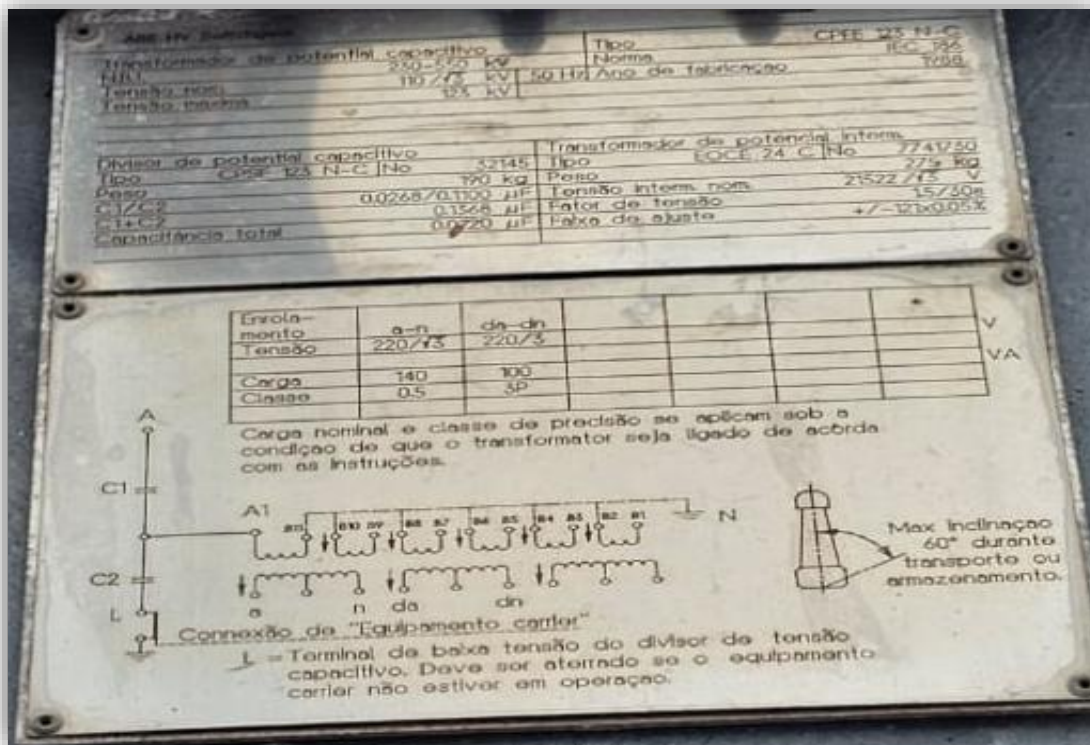


Figura A7: 7-12: Chapa característica do transformador de potencial SE Corumana

Fonte: Fotografia tirada pelo autor no dia 13/10/2025

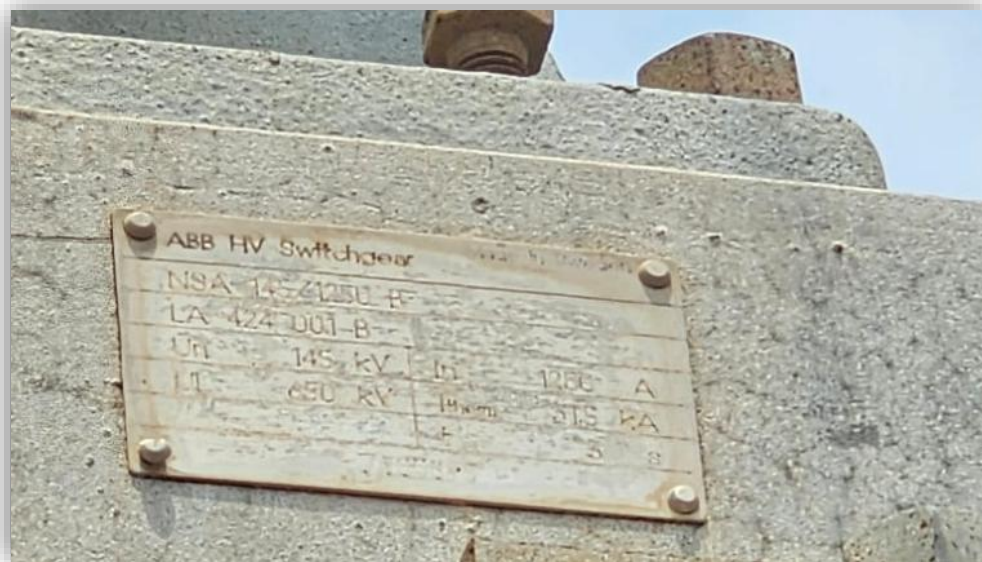


Figura A7: 8-12: Chapa característica do seccionador de linha SE Corumana

Fonte: Fotografia tirada pelo autor no dia 13/10/2025

## Anexo 8: Característica da protecção de distância do relé SIEMENS série 7SA61

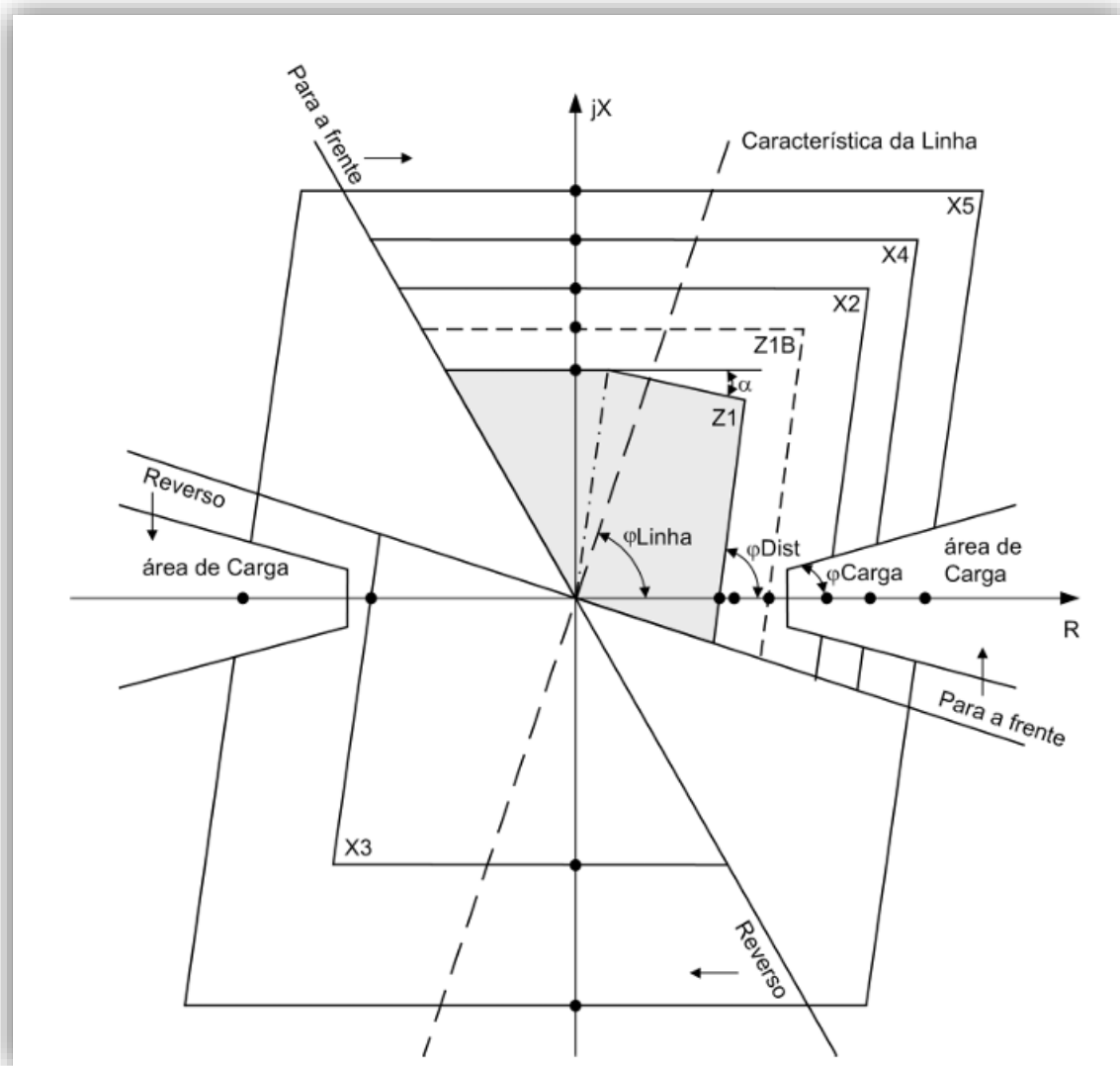


Figura A8: 1-13: Característica poligonal

Fonte: Siemens (2008)

## Anexo 9: Diagramas funcionais e de ligação do relé SIPROTEC 7SA6 aplicados à teleprotecção e às medições de corrente e tensão

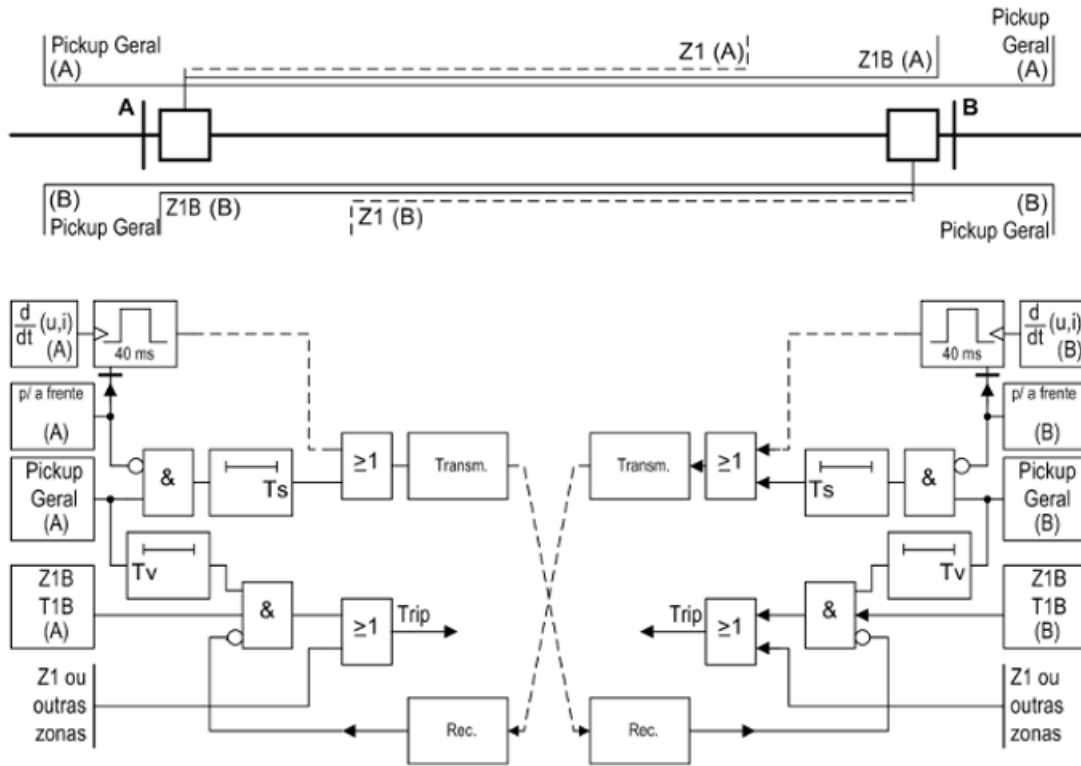


Figura A9: 1-14: Característica poligonal

Fonte: Siemens AG, SIPROTEC 4 – Protecção de Distância 7SA6

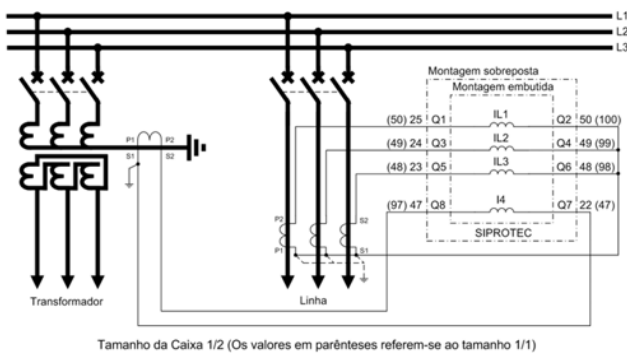


Figura A9: 2-14: Conexões de corrente do relé 7SA6 para medição das correntes de fase e de terra.

Fonte: Siemens AG, SIPROTEC 4 – Protecção de Distância 7SA6

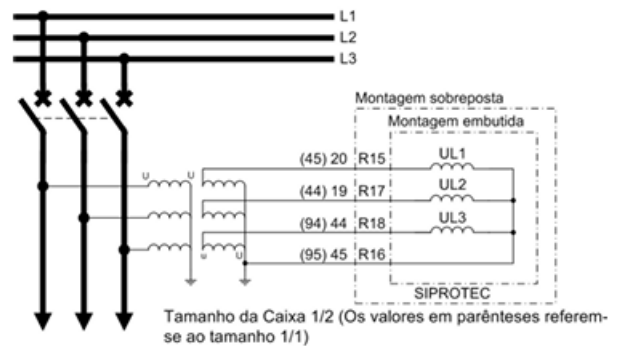


Figura A9: 3-14: Conexões de tensão do relé 7SA6 para medição das tensões de fase.

Fonte: Siemens AG, SIPROTEC 4 – Protecção de Distância 7SA6

**Anexo 10: Representação esquemática dos painéis de protecção de linha 110 kV, evidenciando a disposição dos relés principais de distância (21), relés de retaguarda, módulos de controlo, e medição**

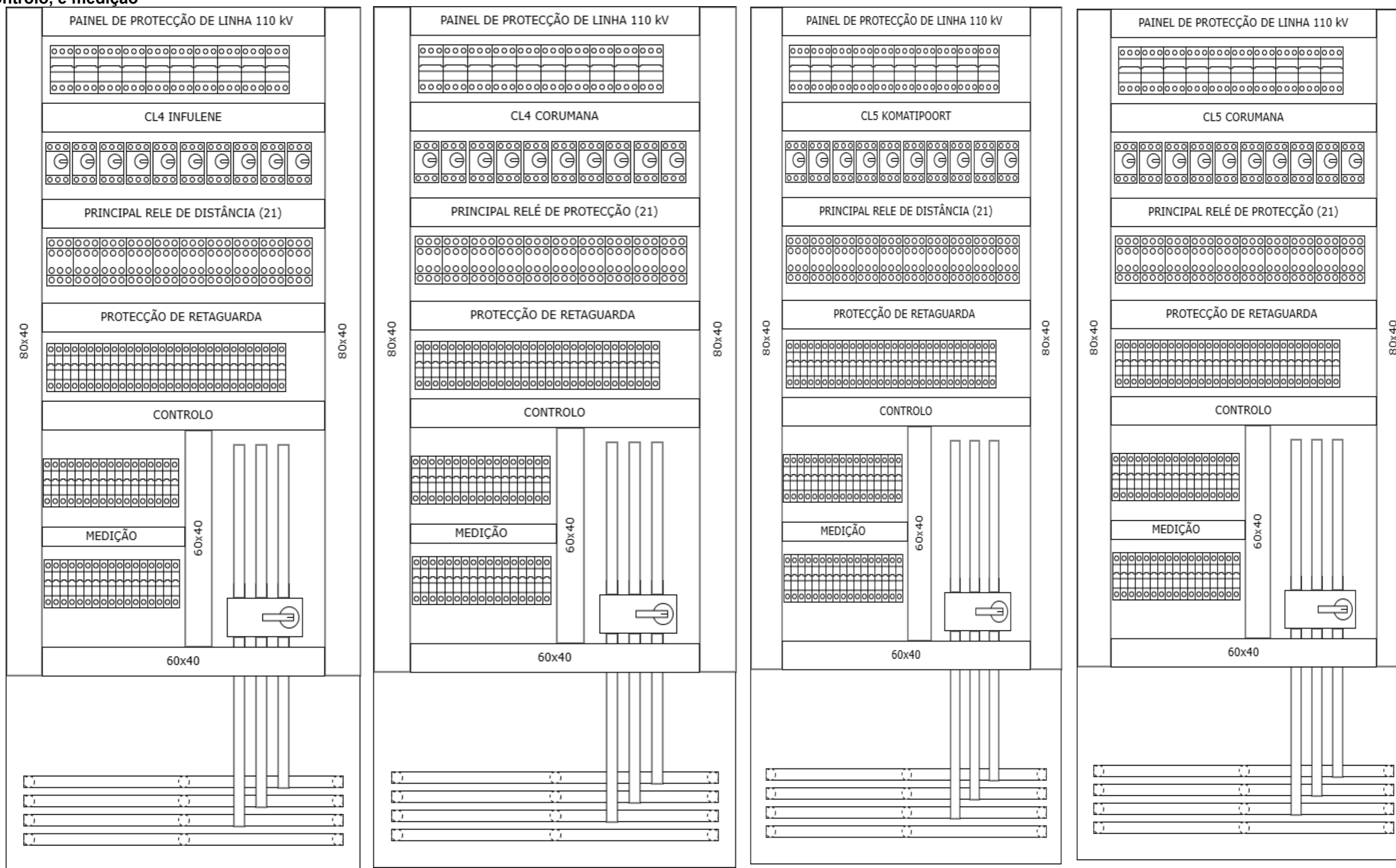


Figura A10.1-15: Painéis de protecção

Fonte: O autor, 2025

**Anexo 11: Plano de monitorização contínua e manutenção preventiva das linhas CL4 e CL5**

Tabela A11: 1-16: Plano de monitorização contínua e manutenção preventiva das linhas CL4 e CL5

<b>Componente / Área</b>	<b>Objectivo Técnico</b>	<b>Actividades de Monitorização Contínua</b>	<b>Manutenção Preventiva Programada</b>	<b>Periodicidade</b>	<b>Responsável</b>	<b>Critérios de Desempenho / Indicadores</b>
<b>Estrutura das Linhas (torres, fundações e acessórios metálicos)</b>	Garantir integridade mecânica e estabilidade estrutural	Observação remota por drones; análise de deformações; detecção de corrosão e vibrações anómalas	Inspeção física detalhada; reaperto de parafusos; limpeza e pintura anticorrosiva	Semestral	Equipa de Linhas	Percentagem de torres sem corrosão; número de intervenções correctivas
<b>Condutores</b>	Assegurar bom estado dos condutores para evitar falhas e perdas	Termografia; análise de pontos quentes; verificação de flecha e tensão dos cabos	Substituição de troços degradados; reaperto; limpeza de sujidade acumulada	Trimestral	Equipa de Linhas	Redução de pontos de aquecimento; perdas técnicas reduzidas
<b>Isoladores</b>	Evitar fugas de corrente e falhas de isolamento	Monitorização de erosão e identificação de contaminação	Limpeza manual ou com helicóptero; substituição de isoladores com vida útil crítica	Trimestral	Equipa de Isolamento	Índice de falhas por isolamento; contaminação reduzida
<b>Pára-raios</b>	Garantir protecção contra sobretensões atmosféricas	Verificação de contagens de descargas; análise de desempenho	Substituição preventiva após número limite de operações	Semestral / anual	Equipe de Protecções	Redução de falhas por sobretensão
<b>Disjuntores</b>	Assegurar correcta abertura/fecho em situações de falha	Avaliação do número de manobras; monitorização de pressão do SF <sub>6</sub> ; análise de sincronização	Ensaio mecânicos; ensaios dieléctricos; lubrificação; substituição de vedantes	Semestral / Anual	Equipa de Subestações	Tempo de actuação; taxa de falhas em manobras
<b>Transformadores de Corrente (TC) e de Tensão (TP)</b>	Garantir medições fiáveis para protecção e contagem de energia	Monitorização de deriva de medições; análise de aquecimento	Ensaio de isolamento; calibração; substituição de unidades degradadas	Trimestral / Semestral	Protecções	Desvio máximo aceitável <1%
<b>Relés de Protecção (ABB RAZOA e outros)</b>	Evitar disparos indevidos e garantir selectividade	Monitorização de eventos; análise de registos de perturbações;	Testes secundários; calibração de curvas; verificação de tempos de actuação	Trimestral / Semestral	Protecções	Redução de disparos intempestivos; selectividade total
<b>Sistema de Aterramento e Malhas de Terra</b>	Garantir segurança e correcta dissipação de correntes de defeito	Medição contínua de resistência da malha; detecção de corrosão	Ensaio de resistência de terra; substituição de ligações degradadas	Anual	Equipe de Linhas	Resistência <1Ω (ou conforme norma aplicável)

Fonte: O Autor, 2025

## Anexo 12: Dados técnicos do cabo OPGW 24 núcleos

Tabela A12: 1-17: Dados Técnicos do cabo OPGW 24 núcleos.

Nome da chave	Estrutura (No.*Dia./AS)n*mm/AS		Área mm <sup>2</sup>		Diâmetro	masa lineal	Clasificación fortaleza	CC resistência	capacidade de corrente curta
	Centro	Camada externa	COMO	Total	milímetros	Kg/km	KN	Ah/km	KA2S
OPGW-50B1-65[53.9;26.6]		6x3,7/30AS	64.51	65	11.1	392	53.9	0.9	26.6
OPGW-50B1-65[41.7;32.9]		6x3,7/40AS	64.51	65	11.1	329	41.7	0.68	32.9
OPGW-54B1-68[80.8;21.7]	1x3,8/54B1	6x3,8/20AS	68.05	68	11.4	478	80.8	1.26	21.7
OPGW-54B1-68[69.8;27.3]		6x3,8/27AS	68.05	68	11.4	432	69.8	0.95	27.3
OPGW-54B1-68[56.9;29.6]		6x3,8/30AS	68.05	68	11.4	412	56.9	0.86	29.6
OPGW-54B1-68[44;36.6]		6x3,8/40AS	68.05	68	11.4	346	44	0.64	36.6
OPGW-60B1-75[86.7;26.6]	1x4,0/60B1	6x4,0/20AS	75.4	75	12	527	86.7	1.14	26.6
OPGW-60B1-75[77.4;33.5]		6x4,0/27AS	75.4	75	12	476	77.4	0.86	33.5
OPGW-60B1-75[63;36.3]		6x4,0/30AS	75.4	75	12	453	63	0.77	36.3
OPGW-60B1-75[48.7;44.9]		6x4,0/40AS	75.4	75	12	380	48.7	0.58	44.9

Fonte: Dosense Cable, (2025)

### Anexo 13: Níveis de curto-circuito na rede de transporte sul

Tabela A13: 1-18: Parte dos valores máximos e mínimos de corrente, impedância e potência de curto-circuito trifásico em diferentes subestações da Rede de Transporte Sul de Moçambique.

SUBESTAÇÃO	Barramento [kV]	Mais Altos			Mais Baixos				
		I <sub>cc</sub> [A]	Ângulo [graus]	Impedância [Ω]	Potência [MVA]	I <sub>cc</sub> [A]	Ângulo [graus]	Impedância [Ω]	Potência [MVA]
MAPUTO 400	400	12685	-72	18	8788	12599	-72	18	8729
MAPUTO 275	275	9980	-78	16	4754	9841	-78	16	4687
CORUMA	110	1494	-78	43	285	2830	-79	22	539
CORUMA	33	2067	-84	9	118	2545	-87	7	145
INFULENE	275	8001	-76	20	3811	8001	-76	20	3811
INFULENE	110	4592	-82	14	875	3639	-80	17	693
INFULENE A	66	11382	-74	3	1301	9077	-80	4	1038
INFULENE B	66	15303	-75	2	1749	13067	-80	3	1494
MATOLA	275	8929	-77	18	4253	8771	-76	18	4178
MATOLA	66	10140	-67	4	1159	2062	-82	18	236
MACIA	110	1216	-67	52	232	1170	-67	54	223
MACIA	33	2040	-74	9	117	1993	-75	10	114
R. GARCIA	275	7063	-77	22	3364	6368	-77	25	3033
BOANE	66	5454	-65	7	623	1545	-75	25	177
BOANE	33	3956	-78	5	226	2113	-77	9	121
SALAMANGA	66	1149	-65	33	131	764	-68	50	87
SALAMANGA	33	1337	-73	14	76	1027	-73	19	59
C.T.M. A	66	7605	-67	5	869	6196	-77	6	708
C.T.M. A	33	4551	-79	4	260	4120	-82	5	235

Fonte: Manual de Caracterização da RNT - 2017

**Anexo 14: Principais parâmetros das linhas de transporte da zona sul de Moçambique**

Tabela A14: 1-19: Principais parâmetros das linhas de transporte da zona sul de Moçambique

Dados Gerais						Valores Por Kilometro						Valores Totais					
TROÇO	CÓDIGO	L [km]	U [kV]	CONDUTOR	Smáx [MVA]	R@30 [W/km]	X+/- [W/km]	B+/- [10 <sup>-6</sup> /Wkm]	R0 [W/km]	X0 [W/km]	B0 [10 <sup>-6</sup> /Wkm]	R@30 Ω	X+/- Ω	C μF	R0 pu	X0 pu	B0 pu
MAT-INF	BL1	15.42	275	2xBEAR	479	0.0567	0.3285	3.5472	0.3558	1.0166	2.5443	0.8749	5.066	0.174107	0.00726	0.02073	0.029670
MAT-MAP	BL3	15.4	275	2xBEAR	479	0.0567	0.3285	3.5472	0.3558	1.0166	2.5443	0.8737	5.060	0.173881	0.00725	0.02070	0.029632
KOM-INF	BL2	85	275	2xBEAR	479	0.0567	0.3285	3.5472	0.3558	1.0166	2.5443	4.8225	27.927	0.959735	0.04000	0.11427	0.163551
INF-MCI	CL1	125	110	DOVE	99	0.1049	0.3963	2.9154	0.2560	1.3845	1.6315	13.1133	49.536	1.160017	0.26449	1.43024	0.024676
MCI-XAI	CL2	49	110	DOVE	99	0.1049	0.3963	2.9154	0.2560	1.3845	1.6315	5.1404	19.418	0.454727	0.10368	0.56065	0.009673
MCI-LIO	CL3	53	110	DOVE	99	0.1049	0.3963	2.9154	0.2560	1.3845	1.6315	5.5600	21.003	0.491847	0.11214	0.60642	0.010463
INF-COR	CL4	92	110	DOVE	99	0.1049	0.3963	2.9154	0.2560	1.3845	1.6315	9.6514	36.458	0.853772	0.19467	1.05266	0.018162
COR-KOM	CL5	45	110	DOVE	99	0.1049	0.3963	2.9154	0.2560	1.3845	1.6315	4.1963	15.852	0.371205	0.08464	0.45768	0.007896
CHI/LIND	CL9	233.787	110	AAAC 150	68	0.2055	0.4271	2.6769	0.3707	1.3580	1.5402	48.0432	99.850	1.992024	0.71624	2.62382	0.043569
INF-MATGARE	DL1A	14	66	LEOPARD	38	0.2216	0.3802	3.0272	0.4509	1.4581	1.5637	3.1021	5.323	0.134902	0.14490	0.46864	0.000954
MATGARE-BOAN	DL1B	16	66	LEOPARD	38	0.2216	0.3802	3.0272	0.4401	1.4581	1.5637	3.5456	6.083	0.154174	0.16165	0.53557	0.001090
INFULENE - 2M	DL2	4.5	66	PANTHER	50	0.1396	0.3834	3.0450	0.3820	1.3749	2.0954	0.6283	1.725	0.043617	0.03946	0.14204	0.000411
2M - SE6	DL10B	1.4	66	LEOPARD	38	0.2216	0.3802	3.0272	0.4509	1.4581	1.5637	0.3102	0.532	0.013490	0.01449	0.04686	0.000095
2M - INFULENE	DL10A	3	66	LEOPARD	38	0.2216	0.3802	3.0272	0.4509	1.4581	1.5637	0.6648	1.141	0.028908	0.03105	0.10042	0.000204
INF-CTM	DL3	7.5	66	LEOPARD	38	0.2216	0.3802	3.0272	0.4401	1.4581	1.5637	1.6618	2.852	0.072269	0.07577	0.25105	0.000511
INF-CTM	DL4	7.5	66	LEOPARD	38	0.2216	0.3802	3.0272	0.4509	1.4581	1.5637	1.6618	2.852	0.072269	0.07763	0.25105	0.000511
INF-MAB	DL5	62	66	LEOPARD	38	0.2216	0.3802	3.0272	0.4509	1.4581	1.5637	13.7377	23.575	0.597425	0.64171	2.07535	0.004223
INF-MCH	DL6	7.5	66	LEOPARD	38	0.2216	0.3802	3.0249	0.4515	1.4574	1.4867	1.6618	2.852	0.072215	0.07774	0.25094	0.000486
INF-SE9	DL7A	7.5	66	LEOPARD	38	0.2216	0.3802	3.0249	0.4515	1.4574	1.4867	1.6618	2.852	0.072215	0.07774	0.25094	0.000486
SE9-SE5	DL7B	7.5	66	2XLEOPARD	66	0.1231	0.3429	3.3678	0.3629	1.0400	1.8224	0.9233	2.572	0.080400	0.06248	0.17906	0.000595
INF - SE8	DL8A	12.82	66	BEAR	66	0.1255	0.3199	3.5472	0.3558	1.0166	2.5443	1.6089	4.101	0.144752	0.10471	0.29919	0.001421
SE8 - SE5	DL8B	4.99	66	BEAR	66	0.1255	0.3199	3.5472	0.3558	1.0166	2.5443	0.6262	1.596	0.056343	0.04076	0.11646	0.000553
CTM-MAT	DL9	4.9	66	PANTHER	50	0.1397	0.3840	3.0150	0.4102	1.3438	1.8368	0.6847	1.881	0.047026	0.04614	0.15116	0.000392
CTM-MTO	DL11	4.9	66	DOVE	60	0.1049	0.3748	3.1021	0.3535	1.3677	2.0848	0.5140	1.836	0.048384	0.03976	0.15385	0.000445
CTM-SE6	DL10	3.8	66	LEOPARD	38	0.2216	0.3802	3.0272	0.4509	1.4581	1.5637	0.8420	1.445	0.036616	0.03933	0.12720	0.000259
CTM-MTO	DL11	4.9	66	DOVE	60	0.1049	0.3748	3.1021	0.3535	1.3677	2.0848	0.5140	1.836	0.048384	0.03976	0.15385	0.000445
CTM-MTO	DL12	4.9	66	DOVE	60	0.1049	0.3748	3.1021	0.3535	1.3677	2.0848	0.5140	1.836	0.048384	0.03976	0.15385	0.000445
MTO-MCH	DL13	2.5	66	PANTHER	50	0.1396	0.3834	3.0450	0.3820	1.3749	2.0954	0.3490	0.958	0.024232	0.02192	0.07891	0.000228
MTO-MATRIO	DL14A	11	66	PANTHER	50	0.1396	0.3834	3.0450	0.3820	1.3749	2.0954	1.5358	4.217	0.106619	0.09646	0.34720	0.001004
MATRIO-BOANE	DL14B	10.9	66	PANTHER	50	0.1396	0.3834	3.0450	0.3820	1.3749	2.0954	1.5216	4.179	0.105649	0.09559	0.34404	0.000995
MTO-CIM	DL15	2.7	66	PANTHER	50	0.1396	0.3834	3.0450	0.3820	1.3749	2.0954	0.3770	1.035	0.026170	0.02368	0.08522	0.000246
SE6-SE4	DL16	2.41	66	LEOPARD	38	0.2216	0.3802	3.0272	0.4509	1.4581	1.5637	0.5340	0.916	0.023223	0.02494	0.08067	0.000164
SE4-SE5	DL17	4.8	66	LEOPARD	38	0.2216	0.3802	3.0272	0.4509	1.4581	1.5637	1.0636	1.825	0.046252	0.04968	0.16067	0.000327
CTM-SE3	DL18	5.4	66	PANTHER	50	0.1396	0.3834	3.0450	0.3820	1.3749	2.0954	0.7539	2.070	0.052340	0.04735	0.17045	0.000493
CTM-SE2	DL19	5.4	66	PANTHER	50	0.1396	0.3834	3.0450	0.3820	1.3749	2.0954	0.7539	2.070	0.052340	0.04735	0.17045	0.000493

Fonte: EDM - DTSU

## Anexo 15: Acta de encontros

Tabela A15: 1-20: Acta de encontros



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**  
**ACTA DE ENCONTROS**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD46	DATA	28/08/2025
---------------------	-------------	------	------------

### 1. AGENDA:

Realiza-se a análise do tema submetido pelo estudante, tendo em conta a sua coerência e aplicabilidade. Em paralelo, revisa-se o termo de atribuição de tema.

### 2. PRESENÇAS:

Supervisor	Doutor Gabriel Auziane, Eng.º	<i>Gabriel Auziane</i>
Estudante	Jovial de Brazão Judas Massingue	

### 3. RESUMO DO ENCONTRO:

Durante o encontro foi discutido o termo de atribuição de tema, avaliando-se a pertinência do tema e os constrangimentos previstos, nomeadamente a eventual dificuldade em obter dados completos da Rede Sul necessários à análise.

### 4. RECOMENDAÇÕES:

Recomendou-se o melhoramento das metodologias, corrigir erros ortográficos e respeitar o regulamento em relação a como desenvolver um trabalho científico.

Recomendou-se a reformulação dos objectivos específicos de forma clara e precisa.

### 5. OBSERVAÇÕES:

Uniformizar a formatação do trabalho e aplicar itálico nas expressões de língua estrangeira, em conformidade com a regulamentação vigente na UEM.

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	12 de Setembro 2025
-----------------------------	---------------------

## Anexo 15: Acta de encontros

Tabela A15: 1-21: Acta de encontros



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

### ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD46	DATA	28/08/2025
---------------------	-------------	------	------------

#### 1. AGENDA:

Análise e discussões em torno do tema: Uniformização do termo de atribuição do tema

#### 2. PRESENCAS:

Supervisor	Doutor Gabriel Auziane, Eng.º <i>Gabriel Auziane</i>
Estudante	Jovial de Brazão Judas Massingue

#### 3. RESUMO DO ENCONTRO:

O supervisor recebeu e deu seu parecer em relação ao termo de atribuição de tema de seguida apresentou algumas recomendações.

#### 4. RECOMENDAÇÕES:

Recomendou-me a tomar maior atenção a alguns pontos do capítulo da introdução, desde a organização textual, harmonização textual e ortografia.

Recomendou-se a observância constante da fonte e tamanho das letras, o uso do antigo acordo ortográfico.

#### 5. OBSERVAÇÕES:

Prestar mais atenção no texto apresentado no relatório.

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	06 de Outubro 2025
-----------------------------	--------------------

## Anexo 15: Acta de encontros

Tabela A15: 1-22: Acta de encontros



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

### ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD46	DATA	28/08/2025
---------------------	-------------	------	------------

#### 1. AGENDA:

Análise da primeira versão do relatório
---

#### 2. PRESENCAS:

Supervisor	Doutor Gabriel Auziane, Eng.º	<i>Gabriel Auziane</i>
Estudante	Jovial de Brazão Judas Massingue	

#### 3. RESUMO DO ENCONTRO:

Discussão sobre os conteúdos Relevantes a apresentar na revisão bibliográfica e aspectos a considerar para o estudo de caso.
--

#### 4. RECOMENDAÇÕES:

Cumprir as recomendações apresentadas pelo supervisor, assegurando a nomenclatura correcta de tabelas e figuras, a apresentação adequada das citações e a familiarização com o simulador.
---

#### 5. OBSERVAÇÕES:

Uniformizar a fonte, tamanho das letras e citações observando a regulamentação em vigor na UEM, bem como as dimensões das margens recomendadas.
---

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	31 de Outubro 2025
-----------------------------	--------------------

## Anexo 15: Acta de encontros

Tabela A15: 1-23: Acta de encontros



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

### ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD46	DATA	28/08/2025
---------------------	-------------	------	------------

#### 1. AGENDA:

Avaliação e correcção do termo de atribuição de tema conforme as recomendações emitidas pela comissão científica.

#### 2. PRESENCAS:

Supervisor	Doutor Gabriel Auziane, Eng.º	<i>Gabriel Auziane</i>
Estudante	Jovial de Brazão Judas Massingue	

#### 3. RESUMO DO ENCONTRO:

Neste encontro discutiram-se as recomendações do CC e procederam-se aos ajustes necessários, incluindo a clarificação do problema, o refinamento do título e a melhoria da metodologia.

#### 4. RECOMENDAÇÕES:

Clarificar a formulação do problema, definir objectivos específicos e melhorar a coerência textual dos parágrafos extensos.

#### 5. OBSERVAÇÕES:

Uniformizar a fonte e tamanho das letras observando a regulamentação em vigor na UEM.

6. DATA DO PRÓXIMO ENCONTRO	17 de Novembro 2025
-----------------------------	---------------------

## Anexo 15: Acta de encontros

Tabela A15: 1-24: Acta de encontros



**UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE**  
**FACULDADE DE ENGENHARIA**  
**DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA**

**ACTA DE ENCONTROS**

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD46	DATA	28/08/2025
---------------------	-------------	------	------------

1. AGENDA:

Revisão geral do trabalho, a estruturação do texto, análise da interpretação realizada para os métodos apresentados.

2. PRESENCAS:

Supervisor	Doutor Gabriel Auziane, Eng.º <i>Gabriel Auziane</i>
Estudante	Jovial de Brazão Judas Massingue

3. RESUMO DO ENCONTRO:

Procedeu-se a uma revisão geral do trabalho, com enfoque na análise e interpretação dos dados obtidos nas simulações, de forma a permitir a elaboração do diagnóstico.

4. RECOMENDAÇÕES:

Melhorar a apresentação dos resultados, deixar claro as falhas identificadas, uniformizar a colocação de equações juntamente com a numeração.

5. OBSERVAÇÕES:

Uniformizar as citações e assegurar a correcta indicação de tabelas e anexos ao longo do trabalho, em conformidade com a regulamentação vigente na UEM.

6. DATA DO PROXIMO ENCONTRO	21 de Novembro 2025
-----------------------------	---------------------

## Anexo 15: Acta de encontros

Tabela A15: 1-25: Acta de encontros



UNIVERSIDADE EDUARDO MONDLANE

FACULDADE DE ENGENHARIA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

### ACTA DE ENCONTROS

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD46	DATA	28/08/2025
---------------------	-------------	------	------------

#### 1. AGENDA:

Revisão geral do relatório final para realização de ajustes finais para posterior avaliação e submissão.

#### 2. PRESENÇAS:

Supervisor	Doutor Gabriel Auziane, Eng.º	<i>Gabriel Auziane</i>
Estudante	Jovial de Brazão Judas Massingue	

#### 3. RESUMO DO ENCONTRO:

O supervisor procedeu à apreciação de todas as cópias do relatório de estágio a serem entregues, as quais foram verificadas, assinadas e posteriormente classificadas.

#### 4. RECOMENDAÇÕES:

Submeter o relatório à secretaria do DEEL.  
Preparar-se para a apresentação e defesa oral.

#### 5. OBSERVAÇÕES:

Nenhuma

6. DATA DO PROXIMO ENCONTRO	N/A
-----------------------------	-----

## Anexo 16: Relatório de Progresso

Tabela A16: 1-26: Relatório de Progresso



### FACULDADE DE ENGENHARIA

#### DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELECTROTÉCNICA

#### Relatório de Progresso

REFERÊNCIA DO TEMA:	2025ELEPD46
---------------------	-------------

#### 1. ACTIVIDADES PLANIFICADAS

Actividade	Prazo Previsto
1. Escolha e pesquisa do tema	Agosto de 2025
2. Levantamento bibliográfico	Setembro de 2025
3. Escolha de instrumentos de recolha de dados	Setembro de 2025
4. Pesquisa de campo	Setembro de 2025
5. Redacção da revisão bibliográfica	Outubro de 2025
6. Análise e discussão de dados	Outubro de 2025
6. Desenvolvimento da proposta de solução	Outubro de 2025
8. Redacção das conclusões e referências bibliográficas	Novembro de 2025
9. Revisão e redacção final	Novembro de 2025
10. Submissão do relatório final	Novembro de 2025

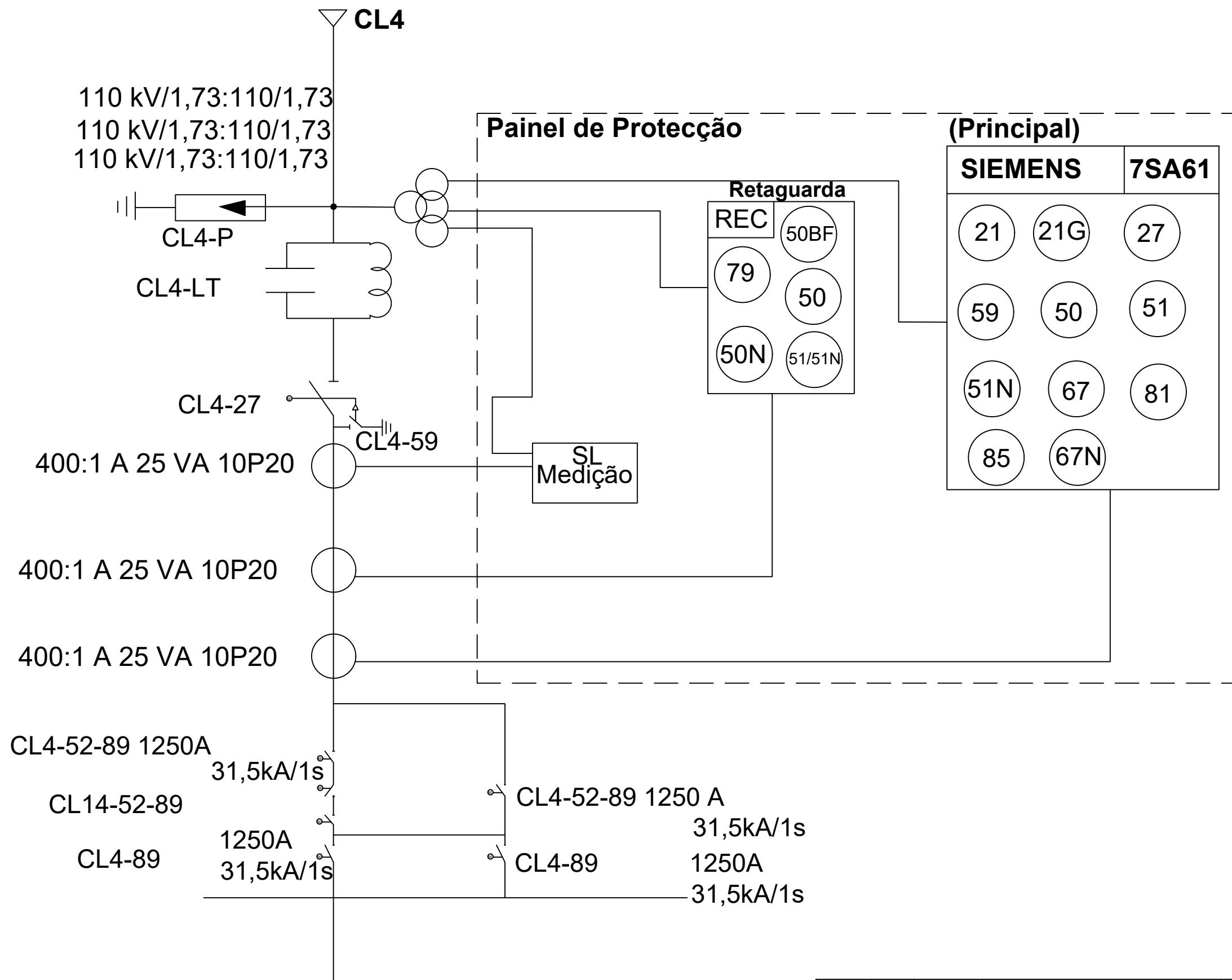
#### 2. CONTROLO DAS ACTIVIDADES

Atv.	Data	Estágio (%)	Observações	Rúbrica
1	28/08/2025	60%	Tema escolhido e pesquisas executadas	<i>Gabriel Suziane</i>
2	12/09/2025	100%	Elaboração e submissão do TAT e plano de actividades	<i>Gabriel Suziane</i>
3	06/10/2025	100%	Conclusão e envio da pesquisa bibliográfica	<i>Gabriel Suziane</i>
4	07/11/2025	100%	Sistema desenvolvido e testes de simulação executados	<i>Gabriel Suziane</i>
5	24/11/2025	100%	Submissão das copias do relatório	<i>Gabriel Suziane</i>

# Apêndices

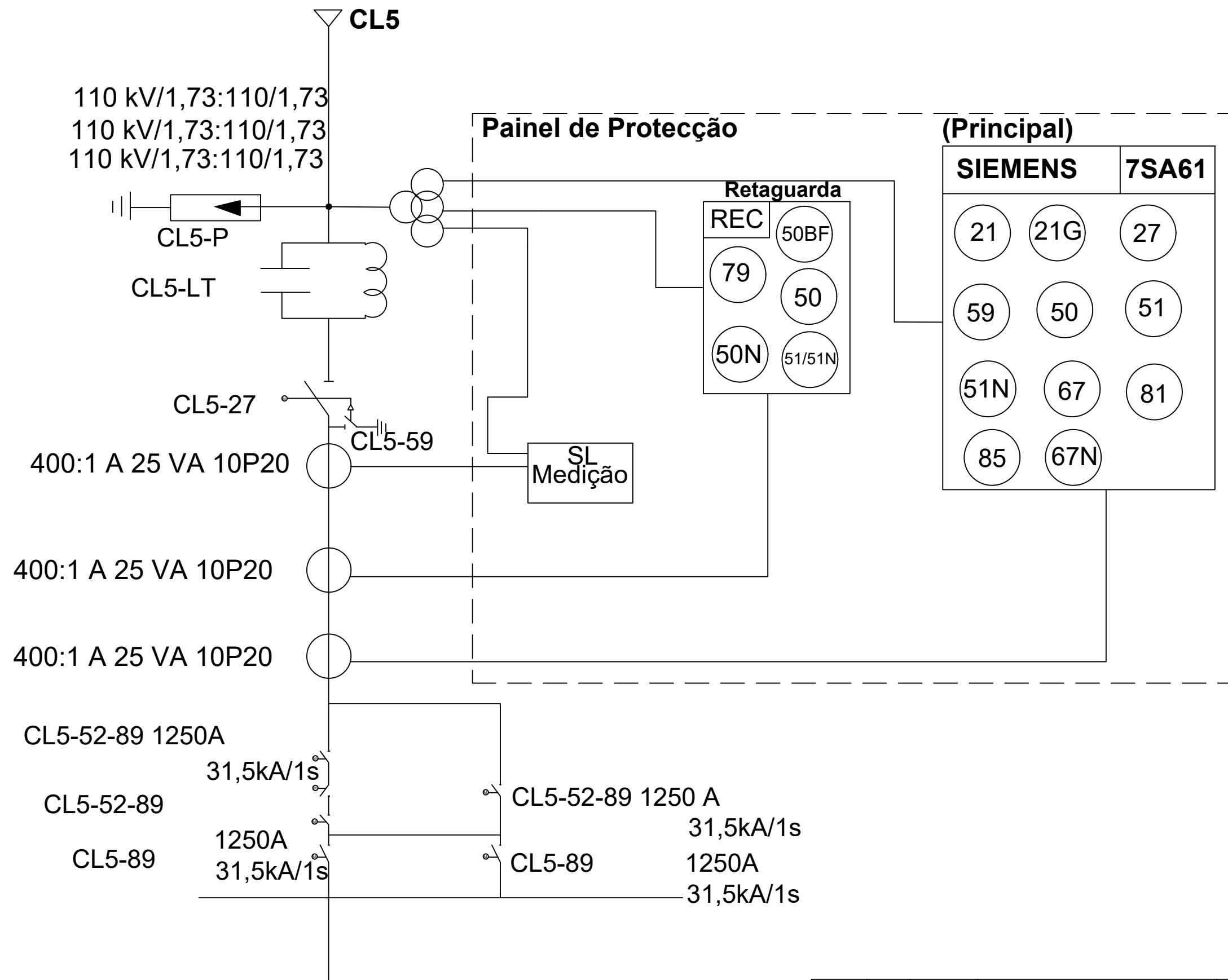
---

Este documento não pode ser copiado, reproduzido, utilizado no todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.



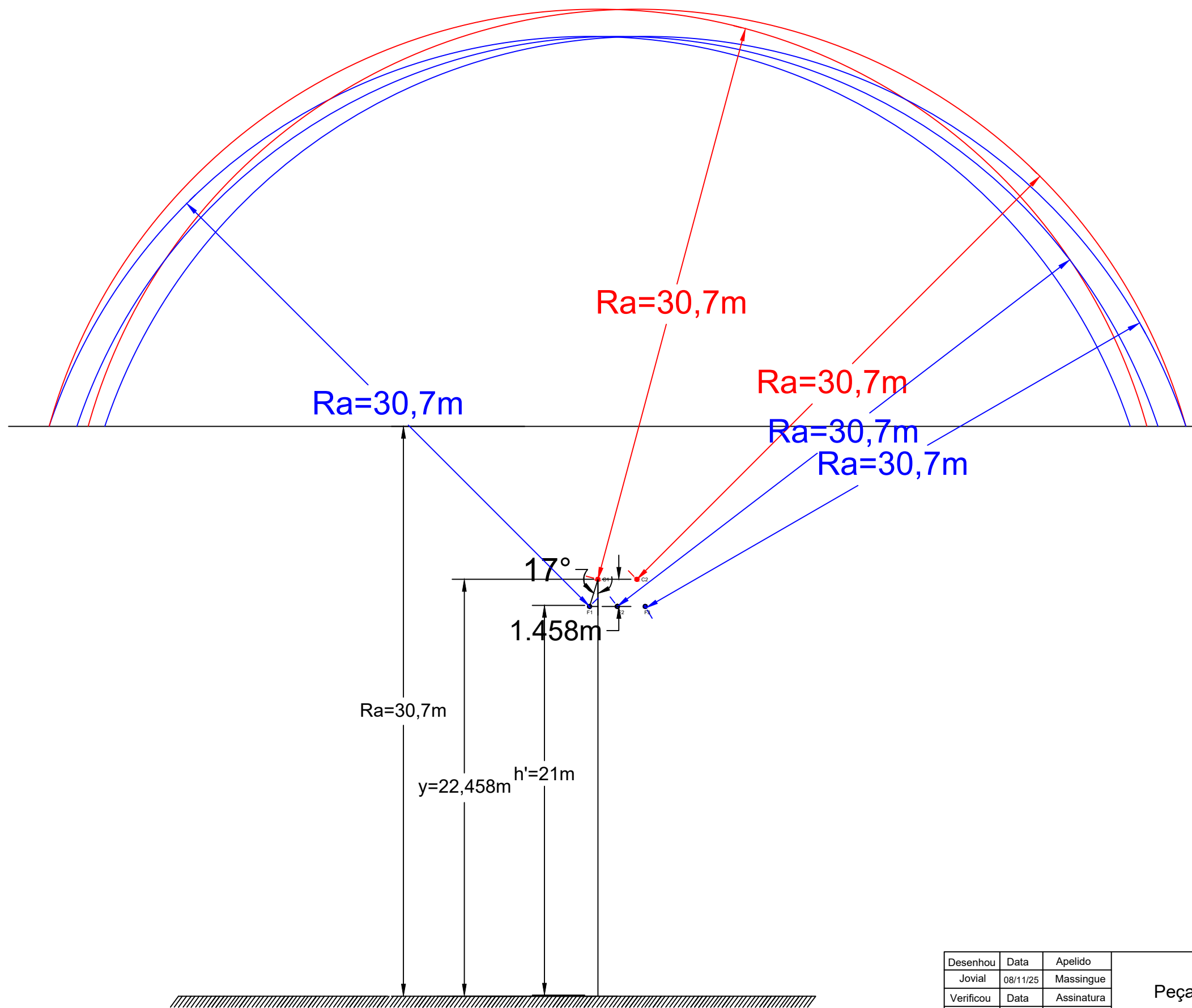
Desenhou	Data	Apelido	Peças Desenhadas	Figura AP1-1: Diagrama unifilar da ligação dos sistemas de protecção
Jovial	10/06/25	Massingue		
Verificou	Data	Assinatura		
Gabriel		Auziane		
1:100	Análise das causas de disparos nas linhas de alta tensão de 110 kV CL4 e CL5 da Região Sul de Moçambique e proposta de mitigação			AP 01 AP1: 1-1

Este documento não pode ser copiado, reproduzido, utilizado no todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.



Desenhou	Data	Apelido	Peças Desenhadas	Figura AP2-1: Diagrama unifilar da ligação dos sistemas de protecção
Jovial	08/11/25	Massingue		
Verificou	Data	Assinatura		
Gabriel		Auziane		
1:100	Análise das causas de disparos nas linhas de alta tensão de 110 kV CL4 e CL5 da Região Sul de Moçambique e proposta de mitigação			AP 02 AP2: 1-2

Este documento não pode ser copiado, reproduzido, utilizado no todo ou em parte, ou comunicado a terceiros sem a sua expressa autorização e deverá ser devolvido quando solicitado.



Desenhou	Data	Apelido	Peças Desenhadas	Figura AP3-1: Disposição do cabo de guarda para as linhas CL4 e CL5 e região de blindagem
Jovial	08/11/25	Massingue		
Verificou	Data	Assinatura		
Gabriel		Auziane		
1:100	<b>Análise das causas de disparos nas linhas de alta tensão de 110 kV CL4 e CL5 da Região Sul de Moçambique e proposta de mitigação</b>			AP 03 AP3: 1-1