



Universidade Politécnica **A POLITÉCNICA**

INSTITUTO SUPERIOR DE GESTÃO, CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS

Monografia apresentada e defendida como requisito para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Eléctrica.

Dimensionamento e Instalação de um transformador de Potência na Subestação de Chicumbane.

Autor: Alberto Rodrigo Cuco

Código: 381401

Curso: Engenharia Eléctrica

Local de pesquisa EDM de Xai-Xai

Maputo, Setembro 2024



Universidade Politécnica A POLITÉCNICA

Projecto de Métodos de Pesquisa do Trabalho Fim de Curso

Dimensionamento e Instalação de um Transformador de Potência na Subestação de Chicumbane

Monografia apresentada a Universidade Politécnica A Politécnica como requisito parcial para a obtenção de título de Licenciatura em Engenharia Eléctrica

Departamento de Ciências da Engenharia

SUPERVISOR: Engenheiro Keifasse António Jeremias Muiambo

Maputo, Setembro 2024

Índice

Lista de tabelas	i
Lista de figuras	ii
Lista de gráficos	iii
Lista de abreviaturas	iv
Declaração de Honra	vi
Dedicatória	vii
Agradecimentos.....	viii
Resumo.....	ix
CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO.....	1
1. Introdução	1
Contextualização	3
1.1. Delimitação do tema.....	3
1.2. Justificativa	3
1.3. Objectivos	3
1.4. Objectivo geral	3
1.5. Objectivos específicos.....	3
1.6. Problema de Pesquisa:.....	4
1.7. Problematização	4
1.8. Hipóteses	5
2. CAPÍTULO 2: METODOLOGIAS.	6
2.1. Metodologia	6
2.2. A metodologia de investigação.	6
2.3. Tipo de pesquisa.....	6
2.4. Método de Abordagem.....	6
2.5. Método de Procedimento	6
2.6. Técnica e instrumento de recolha de dado	7
2.7. Entrevista.....	7
2.8. População e Amostra.....	7
CAPÍTULO 3: REVISÃO DA LITERATURA.....	11
3.....	11
3.1. Subestação.....	11
3.2. Equipamentos de uma Subestação	11
3.3. Transformador.....	12
3.4. Transformador de potência.....	12

3.5.	Disjuntores	15
3.6.	Disjuntores a Óleo.....	15
3.7.	Disjuntores a ar comprimido	16
3.8.	Disjuntores a SF6	17
3.9.	Dispositivos de protecção de sobretensão	19
3.10.	Pára-raios.....	19
3.11.	Condições de Calculo de Barramentos.....	26
3.12.	Capacitores (Bancos de capacitores).....	32
3.13.	Sistemas de protecção.	39
3.14.	Garantir a qualidade e continuidade de serviços.	40
3.15.	Qualidade de Energia do Sistema Eléctrico	40
3.16.	Requisitos Básicos de um Sistema de Protecção.....	40
3.17.	Sistema de aterramento	51
3.18.	Cabos de alta tensão e de média tensão, cabos de força.....	59
3.19.	Descrição Geral de Subestação	59
4.	Projecto Eléctrico da instalação de Transformador de Potência	63
4.1.	Cálculo de Correntes em Regime contínuo	63
4.2.	Cálculos correntes em Regime de Curto-Circuito.....	64
4.3.	DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....	69
4.4.	Localização geográfica e caracterização da área de estudo.....	69
4.5.	Cronograma.....	70
4.6.	Orçamento da Pesquisa	70
CAPITULO 5: APRESENTAÇÃO, DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS		73
5.....		73
5.1.	Configuração da pesquisa aplicada	73
5.2.	RESULTADOS OBTIDOS.....	73
5.3.	CONCLUSÕES E SUGESTÕES.....	74
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS		76
6.	Apêndices.....	79

Lista de tabelas

Tabela 1: Pontas máximas de 2020 em MW.....	8
Tabela 2: pontas máximas de 2021 em MW	9
Tabela 3: Pontas máximas 2022 em MW	10
Tabela 4: Tensões máximas de pára-raios.....	20
Tabela 5: Tipos de Paineis constituintes de MT nas Subestações.....	31
Tabela 6: Nomenclatura das funções de protecção e manobra (ANSI).....	45
Tabela 7: Nomenclatura complementar das funções de protecção e manobra (ANSI).....	48
Tabela 8: Letras utilizadas no esclarecimento da numeração das funções de relés.....	50
Tabela 9: Apresenta valores da Resistividade para diversos tipos de terreno.	54
Tabela 10: Características de Transformador de Potência	65
Tabela 11: Temperatura máxima admissível do material.....	66
Tabela 12: Dimensões dos cabos.....	67
Tabela 13: Características eléctricas de Cabo	67
Tabela 14: Cronograma das actividades de Monografia.	70
Tabela 15 : Orçamento	71
Tabela 16 : Cálculos para análise de viabilidade de projecto.....	71

Lista de figuras

Figura 1: Transformador.....	12
Figura 2: Constituição de um transformador de potência.....	14
Figura 3: Disjuntor a Ar Comprimido 7,2 a 245 kV	17
Figura 4: a) Disjuntor SF6 AT 72,5 a 800 kV, b) Disjuntor a ar comprimido e c) Disjuntor a óleo	18
Figura 5: Para raio (ZnO) 72,5 a 800 kV.....	21
Figura 6: Chave Seccionadora.....	22
Figura 7: Seccionador de Alta tensão. (antes da Instalação)	24
Figura 8: Seccionador de Média Tensão	24
Figura 9: Isolador de Porcelana	25
Figura 10: Capacitor circuito simples de carga com duas Placas.....	33
Figura 11: Reactância de Neutro (RN)	34
Figura 12: Transformador de Serviços Auxiliares	36
Figura 13: Bancos de Baterias	37
Figura 14: Rectificador /carregador.....	38
Figura 16: Relé Digital Siprotec 6MD63	45
Figura 17: Material aplicado na rede de terra.....	55
Figura 18: Transformador de Corrente 36 kV-800 kV.....	57
Figura 19: Transformador de potencial	58
Figura 20: Transformador de Tensão 72,5 – 420 kV da ABB	58
Figura 21: Representação esquemática para TP e TC	59
Figura 22: Diagrama de Transformador existente:.....	60
Figura 23: Cabo de média tensão XHI1AV.....	67
Figura 24: Futuro diagrama painel da subestação de Chicumbane	68
Figura 25: Mapa de Chicumbane	69

Lista de gráficos

Gráfico 1: Gráficos das pontas máximas de 2020 em MW	8
Gráfico 2: Gráficos das pontas máximas de 2021 em MW	9
Gráfico 3: Pontas máximas de 2022	10

Lista de abreviaturas

Símbolos e Abreviaturas	Significados	Unidades
TT	Transformador de Tensão	
SEP	Sistema Eléctrico de Potência	
Ue	Potencial do eléctrodo de terra em relação à terra remota	V
TP	Transformador de Potencial	
TC	Transformador de Corrente	
Θ	Elevação da temperatura do eléctrodo e de solo ao redor em relação a temperatura ambiente	(°C)
P	Resistividade do solo	Ωm
Λ	Condutividade térmica do solo	
Ich	Corrente de choque	A ou kA
Icc'	Corrente de curto-circuito inicial	A ou kA
X	Factor à dimensional que traduz o decréscimo da componente contínua da corrente de curto-circuito;	
T	Tempo de fadiga térmica do condutor	S
K	Factor relativo às propriedades térmicas do condutor	
S	Secção do condutor	mm ²
Ith	Corrente térmica	A
f _p	Frequência própria de ressonância do barramento	Hz
E	Módulo de Elasticidade de barramento	Kgf/cm ²
J	Momento de inércia do barramento	kg/cm
M	Massa linear do barramento	kg/cm
L	Vão entre apoios consecutivos	cm
EL	Linha de 33 kV	
SE	Subestação	
CL	Linha de Transporte 110 kV	
IEEE	Instituto de Engenheiros Eléctricos e Electrónicos	
IEC	International Electrotechnical Commission	
ONAN	Óleo natural / ar natural.	
ONAF	Óleo natural / ar forçado.	
ODAF	Óleo forçado / ar forçado.	

SACC	Serviços Auxiliares de Corrente Continua
SACA	Serviços Auxiliares Corrente Alternada
SSA	Sistema de Serviços Auxiliares
DST	Descarregador de Sobre tensão
QMMT	Quadro metálico de Media tensão
VPL	Valor Presente Liquido
TIR	Taxa Interna de Retorno

Declaração de Honra

Declaro que esta Monografia é resultado da minha investigação pessoal, o seu conteúdo é original e todas as fontes consultadas estão devidamente mencionadas no texto, nas notas e na bibliografia final. Declaro ainda que este trabalho não foi apresentado em nenhuma outra instituição para obtenção de qualquer grau académico.

Maputo, Setembro de 2024

(Alberto Rodrigo Cuco)

Dedicatória

Aos meus pais, irmãos, minha namorada, aos meus Filhos e toda família que, com muito carinho e apoio, não mediram esforços para que eu chegasse até esta etapa da minha Vida.

Para meus filhos que embora não tivessem conhecimentos disto, mas iluminaram de maneira especial os meus pensamentos me levando a buscar mais conhecimentos. E não deixando de agradecer de forma grata e grandiosa meus Pais Rodrigo Cuco que Deus o tenha e Laura Mate a quem eu rogo todas as noites a minha existência.

Agradecimentos

“Numa viagem como esta, é ingénuo aquele que pensa que têm forças para caminhar sozinho sem bengala dos bons” (MONTEIRO, 2018).

Agradeço a Deus por todos obstáculos que coloca em meu caminho, pois quando chego ao topo da montanha, reconheço na paisagem o que ele quis me ensinar, e por me dares sempre tua mão como um pai amoroso que jamais abandona o filho.

Agradeço a todos, minha família, parentes que com o seu incentivo me fez chegar a conclusão do meu curso e começo da nova carreira.

À Universidade, por me ensinar que a verdadeira resistência não está em levantar pesos na academia, mas sim em carregar livros, projectos a esperança de um futuro brilhante.

Ao orientador Engenheiro Keifasse António Jeremias Muiambo, pela orientação académica, apoio e confiança.

Ao engenheiro Jeremias Mboa pelo apoio desde o nível Básico até então.

Todos colegas e amigos que não vou mencionar nomes, sempre me apoiaram e me perguntava afinal o que falta para defender, está a dormir porquê? Me davam força no meio das dificuldades que infelizmente não partilhava com eles.

Sou grato a minha namorada Elina Boca que nunca me recusou amor, apoio e incentivo. Obrigado, todo o amor do meu coração, por compartilhar os inúmeros momentos de Stress e ansiedade.

A todos que contribuíram para o meu artigo, seja com uma palavra de apoio ou uma crítica construtiva, vocês me ajudaram a pavimentar o caminho para sucesso.

Resumo

Cuco, Alberto Rodrigo: Dimensionamento e Instalação de um transformador de Potência na subestação de Chicumbane. O presente trabalho tem o objectivo de Dimensionar o transformador da subestação de Chicumbane de modo a garantir a satisfação da demanda para mais de 50 anos na Área de Serviço ao Cliente de Xai-Xai. A energia eléctrica, actualmente, é de extrema importância para a sobrevivência e desenvolvimento da sociedade, torna-se, portanto, indispensável a predominância dela nos diversos pontos do país. Com isso, neste estudo, são abordados o dimensionamento do transformador, Sistema de Protecções de modo a garantir o bom funcionamento de Sistema de Potência Eléctrico. O Presente estudo engloba: apresentação de problema, determinação de objectivos, revisão bibliográfica, para ajudar na solução do problema estudado, metodologia adoptada na captação de dados e apresentação dos resultados, apresentação dos dados relativos a subestação e o distrito a que ela é instalada. Para o estudo foi escolhido ou dimensionado o sistema de protecção adequado para este transformador de modo a garantir o bom funcionamento e satisfação dos clientes.

O dimensionamento deste transformador com potência de 60 MVA deveu-se a análise do crescimento de carga, o plano do governo de electrificação até 2030, electrificar o futuro porto (Doca) Chongoene com potência 10 MVA, novo projecto da mina de Manjacaze 10 MVA, Back up da Dingsheng Mineradora Chibuto (40 MVA) solicitados.

Palavras-chave: Energia eléctrica. Subestação. Transformador de Potência. Protecções.

Abstract

Sizing and installation of a 60 MVA Power transformer at the Chicumbane Substation. The present work aims to size the transformer of the Chicumbane substation so as to insure demand satisfaction for more than 50 years in the Xai-Xai Customer Service Area. Electric energy, currently, is extremely important for the survival and development of society, therefore, its predominance in different parts of the country becomes indispensable. Therefore, in this study, the Sizing of the transformer end protection system are addressed in order to guarantee the proper functioning of the electrical power system. The present study includes: problem presentation, determining objectives, bibliographical review, to help in solving the problem studied, methodology adopted in capturing data and presenting results, presentation of data relating to the substation and the district in which it is installed.

For the study, the system was chosen or designed adequate protections for this transformer to ensure its proper functioning and customer satisfaction.

The Dimensioning of a transformer with a power transformer of 60 MVA was due to the analysis of load growth, the government's plan for 100% electrification by 2030, electrifying the future or Dock in chongoene, new mines project in Manjacaze 10 MVA, back up of Dingshen Mine in Chibuto 40 MVA requested.

Keyword: Electrical energy. Substation. Power transformer. Protections.

CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO

1. Introdução

A história do electromagnetismo, principio básico de funcionamento de transformador, e conhecida desde as civilizações antigas, ou seja, antes de correlacionarem a electricidade ao magnetismo.

Com ideia de detalhar os factos históricos que levaram a criação do transformador, serão apresentados alguns dos registos de humanidade a respeito de conhecimento que se obteve do electromagnetismo, até o ponto objectivo da construção do transformador. O equipamento trouxe e vem trazendo vários benefícios ao sistema eléctrico.

A história do Transformador vem desde o fim do século XVI, onde os antigos gregos possuíam o conhecimento sobre alguns fenómenos da electricidade e do magnetismo.

O Mikhail Osipovich Dolivo-Dobrovosky é considerado o criador do sistema trifásico e um dos desenvolvedores do motor de indução, de maneira independente dos trabalhos de Tesla. Foi o inventor do transformador trifásico e do motor de indução em curto-circuito (gaiola de esquilo). Desenvolveu estudos pioneiros relacionados as conexões delta-estrela. O êxito de sistema Trifásico foi exibido na Europa na Exposição electrotécnica Internacional de 1891, onde ele usou este sistema para transmitir energia eléctrica em 40 Hz e 15 kV, a uma distância de 176 km entre Lauffen Alemanha, local da primeira usina Hidreléctrica trifásica, e Frankfurt, local de Exposição. Este sistema apresentou eficiência de 75%.

A energia eléctrica é uma das principais formas de energia utilizadas pelo ser humano no atendimento as suas necessidades.

Portanto, para que um País como Moçambique possa crescer, é necessário que haja disponibilidade de energia de boa qualidade e a preços acessíveis, caso contrário toda a perspectiva de crescimento e desenvolvimento económico ficará comprometida. As estruturas do Governo de Moçambique, que visam reforçar as perspectivas de crescimento do País, a EDM vem orientando-se de forma a contribuir positivamente para a materialização e consolidação dos desafios emanados na Estratégia Nacional de Energia, evitando designadamente:

- O risco de ruptura de fontes de energia;
- Sobrecarga das Redes de Transporte e Distribuição.

Porém através dos conhecimentos atrás destintos propusemo-nos em dimensionar e instalar o Transformador de potência.

De tal forma que, observados todos os passos para o trabalho mencionado esperamos contribuir positivamente na melhoria de qualidade de energia eléctrica a fornecer se na Área mencionada.

Actualmente a linha que alimenta a Área de Serviço ao Cliente de cidade de Xai-Xai é designada por CL02, com 2 (duas) Subestações: Chicumbane com Potência Aparente de 40 MVA/110/33 kV que alimenta linhas de 33 kV designadamente Chissano EL1, Zongoene EL2, Cidade de Xai-Xai EL3, EL4, EL5 e Chongone, Chibuto, Manjacaze e Chidenguele EL6 ou que alimenta 6 linhas.

Subestação móvel de Chongoene alimenta as linhas de 33 kV designadamente Chongoene Ndambine 2000 EL7, Chibuto Manjacaze EL8 e Chidenguele EL9.

Contextualização

1.1. Delimitação do tema

A investigação é feita na localidade de Chicumbane distrito de Limpopo num horizonte temporal 2020 a 2022.

1.2. Justificativa

Sendo que a energia eléctrica, actualmente, é de extrema importância para a sobrevivência e desenvolvimento da sociedade, torna-se, portanto, indispensável a predominância dela nos diversos pontos do país. Por isso, este trabalho terá como justificativa contribuir para o desenvolvimento, dimensionando e instalar o Transformador de 60 MVA/110/33 kV Frequência de 50 Hz, para aliviar o existente que tende atingir a Ponta Máxima e aumentar a segurança no fornecimento de energia eléctrica na Área de Serviço ao cliente de Xai-Xai.

Este dimensionamento e instalação do Transformador irão melhorar a segurança, confiabilidade e a qualidade de energia fornecida à Área de Serviço ao Cliente de Xai-Xai. Também irá possibilitar a alimentação de mais infra-estruturas industriais e comerciais, impulsionando deste modo a actividade económica e consequentemente garantir o surgimento de mais postos de trabalho e poderá também servir de reserva em caso de alguma avaria no Transformador existente que opera há mais de 19 anos.

1.3. Objectivos

1.4. Objectivo geral

Dimensionar o transformador da subestação de Chicumbane de modo a garantir a satisfação da demanda para os próximos 50 anos na Área de Serviço ao Cliente de Xai-Xai.

1.5. Objectivos específicos

- ✚ Dimensionar a malha da terra de modo a garantir a fiabilidade no escoamento de sobre tensões e descargas atmosféricas;
- ✚ Fazer levantamento da Carga;
- ✚ Dimensionar o disjuntor adequado de forma coordenada para garantir a protecção de transformador;

- ✚ Propor soluções para fornecimento ininterrupto de Energia Eléctrica;
- ✚ Garantir a satisfação da demanda na Área de Serviço ao Cliente de Xai-Xai;
- ✚ Seleccionar o sistema de protecções adequado para o transformador a instalar de modo a garantir a selectividade dos relés;
- ✚ Dimensionar o Transformador a instalar na Subestação de Chicumbane;
- ✚ Estimar custos da instalação de Transformador.

1.6. Problema de Pesquisa:

Para Lakatos e Marconi, (2007) a formulação do problema prende-se ao tema proposto: ele esclarece a dificuldade específica com a qual nos deparamos e que pretendemos resolver por intermédio da pesquisa. Para ser cientificamente válido, um problema deve passar pela crítica ou prova de certas questões e com possibilidades de serem respondidas.

Segundo Lakatos e Marconi 2003 a proposição do problema é tarefa complexa pois extrapola a mera identificação, exigindo os primeiros reparos operacionais: isolamento e compreensão do factores específicos, que constituem o problema no plano de hipóteses e de informações.

Sendo esta uma sociedade moderna cujo seu desenvolvimento ou a prossecução normal da sua vida passa necessariamente pela existência da corrente eléctrica que irá servir de dinamizador da vida desta população, nas suas diversas esferas.

Assim, neste contexto apresentado, o presente estudo busca responder a seguinte questão:

- *Como garantir a satisfação da demanda na Área de Serviço ao Cliente de Xai-Xai?*

1.7. Problematização

O problema da insuficiência da Potência na Subestação de energia eléctrica na Área de serviço ao cliente de Xai-Xai, traduz-se em risco de operacionalização e provável queima por sobrecarga.

Esta situação nos leva a formular a pergunta seguinte:

Até que ponto o dimensionamento e instalação de Transformador de 60 MVA/110 kV/33 kV/50 Hz pode resolver a insuficiência da Potência?

1.8. Hipóteses

Segundo António, Carlos Gil (1999), as Hipóteses são supostas respostas ao problema a ser investigado. A origem das Hipóteses poderia estar na observação assistemática dos factos, nos resultados de outras pesquisas, nas teorias existentes, ou na simples intuição.

Segundo Marconi, M.A; Lakatos (2003) nos alerta que as hipóteses de trabalho usadas nos estudos são de carácter exploratórios ou descritivo, onde é dispensável sua explicitação formal e necessária para que a pesquisa apresente resultados úteis, ou seja, atinja níveis de interpretação mais altos.

Há varias maneiras de formular hipóteses, mas a mais comum é: Se “x, então Y”, onde x e y são variáveis ligadas entre si pelas palavras “se” e “então”.

De acordo com o problema em investigação considera-se as seguintes Hipóteses:

Primeira: O dimensionamento e instalação de um transformador de 60 MVA (110 kV/33 kV) na Subestação de Chicumbane para partilhar as cargas e criar redundância dos transformadores em caso de avaria ou disparo, poderá melhorar a capacidade da Subestação e aumento da segurança no fornecimento de energia eléctrica na Área de Serviço ao Cliente de Xai-Xai.

Segunda: O dimensionamento e instalação de um transformador de 60 MVA (110 kV/33 kV) na Subestação de Chicumbane para partilhar as cargas e criar redundância dos transformadores em caso de avaria ou disparo, poderá não melhorar a capacidade da Subestação e aumento da segurança no fornecimento de energia eléctrica na Área de Serviço ao Cliente de Xai-Xai.

CAPÍTULO 2: METODOLOGIAS.

2.1. Metodologia

2.2. A metodologia de investigação.

Para a concretização dos objectivos enunciados será usada genericamente a pesquisa qualitativa apoiada nas técnicas de pesquisa bibliográfica, entrevistas e o questionário.

Tendo em conta que se trata de ciências, conduzir-se-á a investigação de maneira descritivo e analítico porque iremos trabalhar com dimensões numéricas exactas de Engenheiros e de técnicos da área. O Pensamento será positivista, porque será baseado em levantamento de cargas a proteger, dimensionamento do sistema, levantamento de materiais necessários para o sistema, equipamentos e recursos necessários para instalação do sistema, consulta de preços e elaboração do custo geral do sistema de aterramento eléctrico.

Assim, quanto à abordagem, a pesquisa é qualitativa visto que este tipo de pesquisa, esta de acordo com RICHARDSON (1999).

2.3. Tipo de pesquisa

A pesquisa é quantitativa é um procedimento sistemático que para a descrição e explicação de fenómenos se caracteriza pelo emprego da quantificação no processo da colecta de dados, assim como, do tratamento destes através de técnicas estatísticas, como não acontece no caso do método qualitativo, mas sim faz uma análise de conteúdo dos dados colectados.

Esta pesquisa permitirá a análise dos dados que serão colectados através da técnica de entrevista, questionário e de análise documental para permitir uma precisão no dimensionamento de Transformador.

2.4. Método de Abordagem

A abordagem metodológica adoptada para o estudo a realizar é quantitativa que no entender de Gil, (2006) considera que tudo possa ser contável, que seja gerado informações apartir de números para assim classificá-los e analisá-los.

2.5. Método de Procedimento

Marconi e Lakatos (2003), afirmam que todas as ciências se caracterizam pela utilização de métodos científicos e não há ciência sem o emprego de métodos científicos. Método e o

conjunto das actividades sistematicas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objectivo- conhecimentos validos e verdadeiros-, tracando o caminho a ser seguido, dectetando êrros e auxiliando as decisões do ciêntista.

No que diz respeito aos métodos para a recolha de informação, análise e interpretação dos dados obtidos no terreno, serão privilegiados os seguintes métodos: Hipotético-Dedutivo e Monográfico.

2.6. Técnica e instrumento de recolha de dado

2.7. Entrevista

Entrevista é um instrumento que permite explorar mais amplamente uma questão, devido ao seu carácter geral de apresentar as perguntas abertas que podem ser respondidas dentro de uma conversação informal.

Ainda, a entrevista semi-estruturada é individual com os trabalhadores da Empresa Electricidade de Moçambique Área de Serviço ao Cliente de Xai-Xai.

Segundo Manzini, (2003) coloca este tipo de entrevista, como uma maneira de buscar informações face a face com o entrevistado, através de um roteiro prévio de perguntas, que tem como foco a apropriação pelo pesquisador das informações que precisa.

O uso da entrevista nesta pesquisa concentra-se na busca das percepções dos trabalhadores que compõe algumas estruturas administrativas e operários com objectivo de perceber o seguinte: até que ponto o dimensionamento de transformador pode contribuir no fornecimento de energia na Área.

2.8. População e Amostra

Para nossa pesquisa privilegiou-se a Amostragem representativa, este tipo de amostra caracteriza-se pela selecção de uma amostra de cada subgrupo de elementos considerados. O fundamento para delimitar os subgrupos ou estratos pode ser encontrado em propriedades das funções de cada membro que compõem os subgrupos a representar.

A amostra desta pesquisa foi definida tendo em conta os objectivos previamente discriminados, e subdividiu-se em dois principais grupos alvo:

Crescimento demográfico/surgimento de novas descobertas de Recursos minerais em Chibuto, Chongoene, Manjacaze e novo porto em Chongoene.

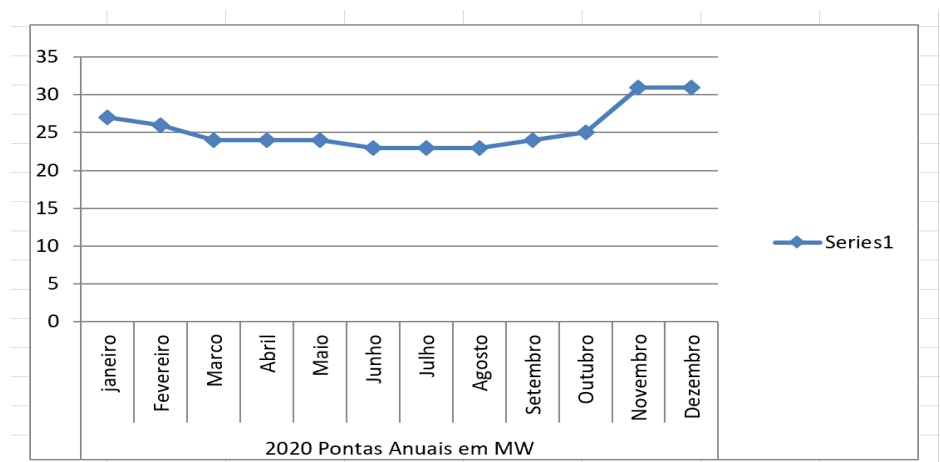
Picos de potências (potências máximas atingidas na ausência da Subestação móvel).

Tabela 1: Pontas máximas de 2020 em MW.

Mês	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Junho	Julho	Agos	Set	Outubro	Nov	Dez	Média
Pontas (MW)	27	26	24	24	24	23	23	23	24	25	31	31	25

Fonte: KPI EDM ASC Xai-Xai

Grafico1: Pontas Maximas 2020



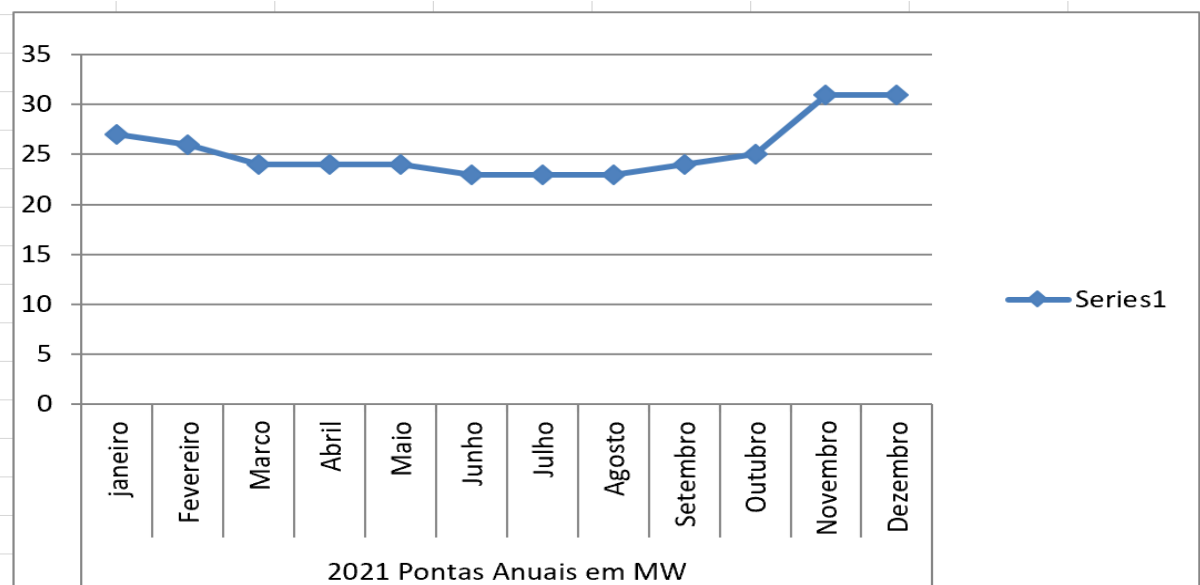
Fonte: KPI EDM ASC Xai-Xai

Tabela 2: pontas máximas de 2021 em MW

Mês	Jan	Fev	Mar	Abril	Maio	Junho	Julho	Agos	Set	Outubro	Nov	Dez	Média
Pontas (MW)	27	26	24	24	24	23	23	23	24	25	31	31	25

Fonte: KPI EDM ASC Xai-Xai

Gráfico 1: Gráficos das pontas máximas de 2021 em MW



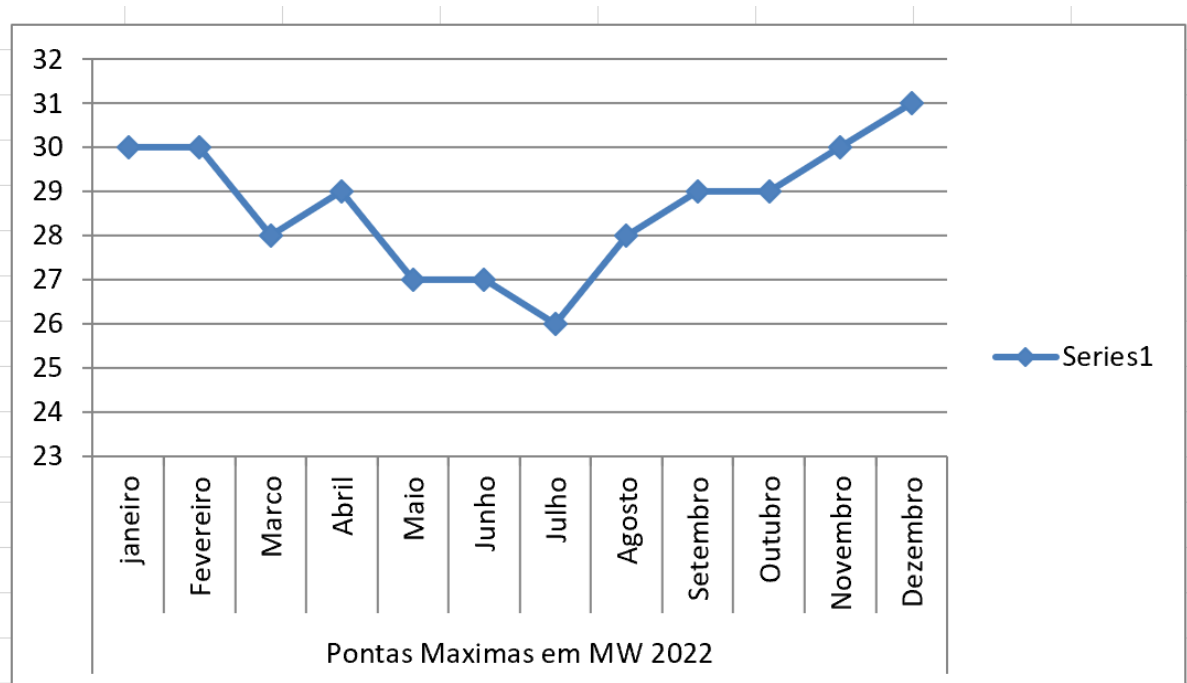
Fonte: KPI EDM ASC Xai-Xai

Tabela 3: Pontas máximas 2022 em MW

Mês	Jan	Fev	Mar	Abril	Mai	Junho	Julho	Agos	Set	Outubro	Nov	Dez	Média
Pontas máximas em MW	30	30	28	29	27	27	26	28	29	29	30	31	28,6

Fonte: KPI EDM ASC Xai-Xai

Gráfico 2: Pontas máximas de 2022



Fonte: KPI EDM ASC Xai-Xai

CAPÍTULO 3: REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo será feita uma revisão literária de conceitos que serão abordados neste trabalho.

3.1. Subestação

Uma subestação (SE) é um conjunto de equipamentos de corte e manobra e ou de transformação e ainda, eventualmente, de compensação de reactivos usado para dirigir o fluxo de energia em sistema de potência e possibilitar a sua diversificação através de rotas alternativas, possuindo dispositivos de protecção capazes de detectar os diferentes tipos de faltas que ocorrem no sistema e de isolar os trechos onde estas faltas ocorrem (Paulo Roberto Duailibe Monteiro 2023).

Classificação das subestações.

As subestações classificam -se:

- Quanto a níveis de Tensão;
- Quanto a função;
- Quanto ao tipo de Instalação;
- Quanto a forma de operação.

3.2. Equipamentos de uma Subestação

Muitos são os equipamentos utilizados em subestações de energia eléctrica e, devido a essa grande variedade, são mostrados aqui os mais importantes e indispensáveis para qualquer tipo de SE analisada, como Transformador de força, Isoladores, Cabos de Alta Tensão e de Media Tensão, Cabos de força, Baterias, Transformadores de Instrumentação (Transformadores de corrente, Transformadores de potencial), equipamento de Manobra (Disjuntores e Chaves seccionadoras), Equipamentos de compensação de reactivos (reactores derivação ou série, Capacitor de derivação ou série, compensador síncrono e compensador estático), de protecção (para-raios, fusíveis e relés) Estes equipamentos possuem alta tecnologia envolvida em seus sistemas, para seu perfeito funcionamento e o da SE como um todo.

Hoje em dia esses equipamentos possuem uma confiabilidade muito alta, que é proporcionada pelas diferentes tecnologias as quais são fabricados, como diferentes meios isolantes, diferentes maneiras de enviar ou receber um comando para abertura, fazendo com que o

pacote de SE no total possui uma alta confiabilidade também, requisitos muito importantes atualmente.

São mostradas as características de cada equipamento no geral, não se levando em consideração o nível de tensão de aplicação.

3.3. Transformador

O transformador é o principal equipamento em um sistema elétrico de potência, pois tem a função de elevar ou reduzir o nível de tensão, viabilizando a transmissão e o fornecimento de energia elétrica.

Transformador

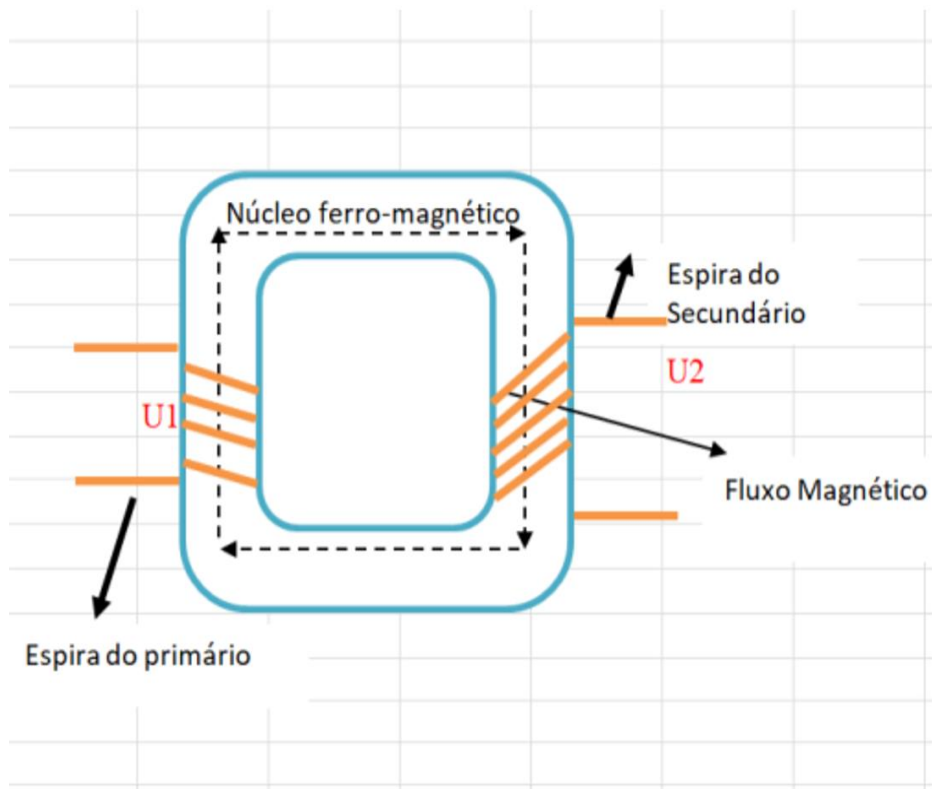


Figura 1: Transformador

Fonte: Autor

3.4. Transformador de potência

Os transformadores de potência são os maiores e mais caros equipamentos utilizados nas subestações, podem pesar algumas toneladas e seu custo fica na casa dos milhões.

São utilizados para elevar ou baixar a tensão, permitindo assim sua transmissão e utilização em uma determinada tensão diferente da original.

Segundo Stephen D. Umans, Fitzgerald e Kingsley 7ª edição, o transformador se define como uma máquina eléctrica estática que tem a função de transmitir, mas mantendo sem alteração a capacidade e a frequência, energia eléctrica de um sistema com determinada tensão, para outro sistema com tensão diferente, ocorre mediante um campo electromagnético alterno. Segundo a International Electrotechnical Commission (IEC 60076), um transformador de Potência é um equipamento estático, com dois ou mais enrolamentos, que, por indução electromagnética, converte um sistema de tensão e corrente alternada em outro sistema, sendo este geralmente de tensão e correntes diferentes do sistema original, mantida a frequência, visando a transmissão de Potência eléctrica.

De forma geral, a função de um transformador de potência é minimizar perdas de transmissão ao reduzir a corrente.

A Classificação dos Transformadores de potência pode ser feita segundo isolamento, número de fases e tipo de enrolamentos.

- Isolamento: a Óleo e a seco;
- Número de fases: monofásicos, bifásicos e trifásicos e polifásicos;
- Enrolamento: podem ter dois ou mais enrolamentos isolados electricamente, primário (recebe energia a transformar) secundário (fornece a mesma energia com perdas).

Relativamente a sua constituição, é importante analisar o sistema de arrefecimento do transformador, o qual pode ser do tipo ONAN, ONAF e ODAF (óleo natural / ar natural, óleo natural/ ar forçado, óleo forçado / ar forçado). No sistema de arrefecimento do tipo ONAN, o calor é absorvido pelo óleo e dissipado por radiadores, com circulação natural do ar. No ONAF, o ar circula de forma forçada, ou seja, existe um mecanismo de circulação por meio de arrefecimento interno. No caso do ODAF, a refrigeração dos transformadores é feita direccionado o fluxo de oleio para os pontos mais quentes do transformador sendo necessária a circulação de ar forçada, pelo que se recorre ao uso de ventiladores de grande potência.

Para um correcto dimensionamento e parametrização do transformador, e necessário conhecer alguns factores, nomeadamente: a potência nominal, as tensões de funcionamento e a relação de tensão entre o primário e secundário.



Figura 2: Constituição de um transformador de potência

Fonte: ABB

1. **Núcleo:** feito de material magnético constituído por placas de lâminas metálicas finas de ferro silicioso com formas padronizadas, justapostas e isoladas umas das outras para se reduzir as correntes de Foucault;
2. **Enrolamentos:** consiste em bobinas feitas de material condutor cobre ou alumínio podendo ser isolados em papel ou envernizados;
3. **Tanque principal:** é um invólucro de aço, podendo ter blindagem nas paredes internas que envolve a parte activa do transformador preenchido por óleo isolante;
4. **Tanque de expansão de óleo:** permite a expansão do volume de óleo no transformador devido a variação da temperatura que ocorre no aparelho;
5. **Buchas:** feitos de porcelana fazem o isolamento entre os terminais das bobinas e o tanque principal;
6. **Comutadores sob carga:** proporciona a variação do nível de tensão fazendo a comutação de terminais com diferentes números de espiras sob carga;

7. **Accionamento do comutador sob carga:** mecanismo electromecânico que faz mudança da posição do comutador de acordo com o nível de tensão desejado;
8. **Radiadores:** são trocadores de calor entre o ambiente exterior e o transformador, contêm aletas por onde circula o óleo isolante que em contacto com o ar exterior reduzem sua temperatura refrigerando o transformador;
9. **Painel de controlo:** local onde estão instalados os dispositivos de controlo e monitoração do funcionamento do transformador;
10. **Secador de ar:** faz a retirada da humidade no interior do transformador utilizando geralmente sílica-gel;
11. **Termómetros:** medem a temperatura do enrolamento e do óleo do transformador.

3.5. Disjuntores

Disjuntores: São os principais equipamentos de segurança de subestação, além de serem os mais eficientes dispositivos de manobra em uso nas redes eléctricas.

Os disjuntores também combinam as funções de actuação e interrupção da falta e são comandados pelos relés, abrindo quando este detecta alguma anormalidade na rede e fechando quando aquele se encontra em normalidade.

O disjuntor sem acompanhamento dos seus relés torna-se apenas uma chave de manobra, sem quaisquer características de protecção.

No mercado, existem diferentes classificações sobre disjuntores, pelo que de acordo com o modo de extinção do arco eléctrico podem ser divididos pelos seguintes:

- Disjuntor a óleo;
- Disjuntor a Ar;
- Disjuntor a SF₆;

3.6. Disjuntores a Óleo

Segundo (Sampaio, 2012), nos Disjuntores a óleo, os contactos são imersos em óleo isolante e a extinção do arco se dá através da geração de gases, principalmente hidrogénio, em virtude da decomposição das moléculas de óleo devida as altas temperaturas desenvolvidas na região do arco. O aumento da pressão interna nas câmaras de interrupção, cria um fluxo de óleo que irá desionizar o dieléctrico, resfriar e alongar o arco.

Nestes disjuntores existe dois tipos de efeitos de extinção do arco eléctrico que é feito de fluxo líquido e efeito de hidrogénio.

- O efeito fluxo líquido é impulsionar o óleo frio sobre o arco eléctrico, dessa forma proporcionando a continuação ao processo de evaporação, conseguindo assim retirar grandes quantidades de calor desses gases que resultantes. O efeito de fluxo líquido pode acontecer de forma espontânea com a diminuição de corrente ou com recurso a dispositivos mecânicos.
- O efeito de hidrogénio existe devido a alta temperatura que faz com se crie vários gases, onde o hidrogénio e gás predominante. Devido a sua predominância de arco eléctrico vai queimar uma atmosfera de hidrogénio, visto que a condutividade térmica deste gás é elevada.

A grande vantagem é alta capacidade de interromper correntes de curto-circuito, e a manutenção pode ser realizada ao ar livre após aberto circuito, embora seja uma operação simples é necessária ser com alguma frequência.

3.7. Disjuntores a ar comprimido

Estes disjuntores a ar comprimido estão disponíveis para todos os níveis de tensão e para correntes de curto-circuito até 100 kA. A construção é bastante simples, uma vez que é utilizado ar comprimido para eliminar os arcos eléctricos, e a sua ventilação é muito importante, bem como a sua manutenção, visto que estão dimensionados para interromper correntes de curto-circuito em número limitado.

A grande desvantagem destes disjuntores é de provocarem um ruído elevado, pelo que se evita a sua instalação, perto das zonas urbanas, optando-se assim em utilizá-los, por exemplo, em subestações.

Obrigatoriedade de ser necessária central de armazenamento de ar comprimido é também outro factor negativo, devido à manutenção preventiva que tem que ser efectuada.

Relativamente à construção dos disjuntores actuais a ar comprimido, usam por norma o princípio de sopro axial, que podemos dividir em duas categorias:

- O sistema de sopro unidireccional;
- O sistema de sopro bidireccional;

O sopro unidireccional, somente um dos contactos é oco, facilitando assim a saída do ar após

a extinção somente em uma direção.

O sopro bidireccional e em ambos contactos, fixo e móvel, são os, e o arco eléctrico expande-se nas duas direcções.

Disjuntores a ar comprimido

Disjuntores a ar comprimido são utilizados em todas as faixas de tensão, mas principalmente na alta e extra alta tensão. A extinção do arco eléctrico é feita pela liberação do ar comprimido que o alonga e resfria-o simultaneamente, eliminando. Essa extinção é feita pelo sopro axial do ar comprimido, podendo ser unidireccional ou bidireccional.

Como vantagens, os disjuntores a ar comprimido não apresentam elementos inflamáveis; o meio extintor também é o meio que activa o mecanismo de accionamento; a capacidade de interrupção e o nível de isolamento podem ser ajustados variando a pressão. Em contrapartida, o sistema de ar comprimido apresenta custo elevado para a geração e para manutenção, além de gerar elevados níveis de poluição sonora.

Um exemplar do disjuntor a ar comprimido.



Figura 3: Disjuntor a Ar Comprimido 7,2 a 245 kV

Fonte: National Design specification engenharia, 2009.

3.8. Disjuntores a SF₆

Antes do aparecimento desta tecnologia, eram os disjuntores a óleo e os disjuntores a ar comprimido que eram utilizados.

Uma vez que estes disjuntores utilizam o mecanismo de mola carregada, a energia necessária para a sua operação vai ser menor que a energia necessária na operação de disjuntores a óleo.

O disjuntor a gás SF₆, também conhecido por hexafluoreto de enxofre, caracteriza-se por ser, no seu estado mais puro, um gás incolor, inodoro, não é inflamável e insolúvel em água. O SF₆ não se mistura com os outros elementos da tabela periódica e é estável com todas as ligações

químicas possíveis. Deste modo, ao sofrer disrupções, possui a capacidade de reverter o processo e, assim, regenerar-se.

A condutividade térmica é praticamente idêntica a do ar, contudo a condutividade térmica do SF6 apresenta um pico para temperatura de composição.

Este gás SF6 mostra que tem uma grande diferença relativamente aos outros gases, devido a sua característica pela temperatura do arco na aproximação da corrente igual a zero, consegue dispor de uma condutividade térmica acrescida o que é muito vantajoso na remoção de energia eléctrica ao arco.

Fazendo comparação da rigidez dieléctrica do SF6 em comparação com o ar e com óleo em função da pressão, é possível concluir através da figura abaixo que o SF6 possui uma excelente capacidade de isolamento, entre a pressão de 2 a 6 bar, e tem uma rigidez dieléctrica 2,5 a 3 vezes mais que o ar a mesma pressão. O gás SF6 é um gas incolor e inodoro com uma densidade de vapor 5 vezes mais pesado que o ar, embora o equipamento pode ser construídos constituído com aquecedores para prevenir que o gás se transforme em líquido.

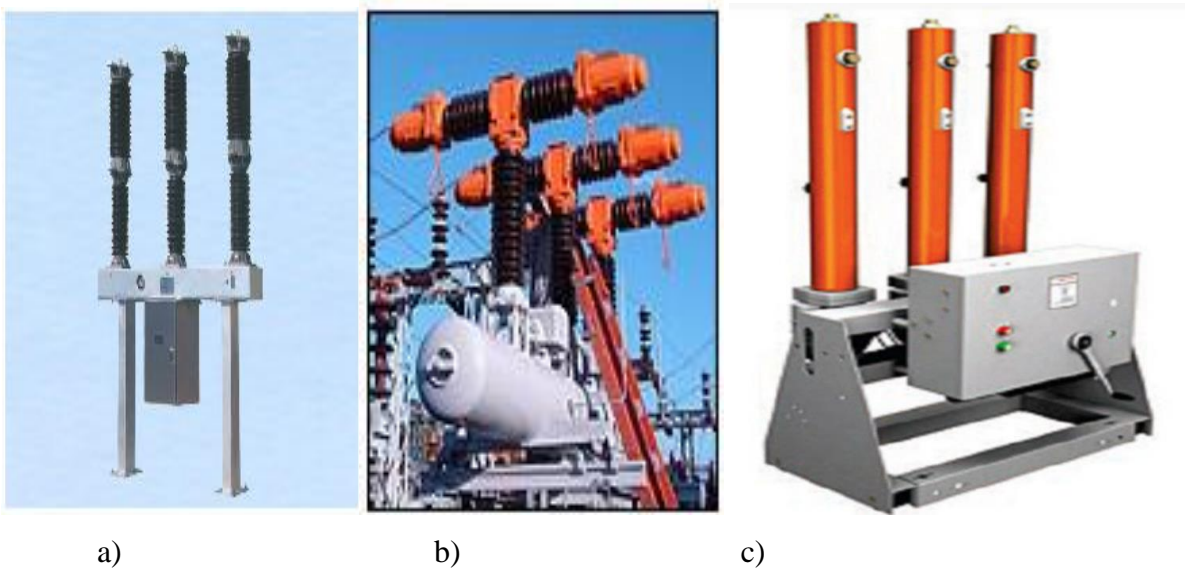


Figura 4: a) Disjuntor SF6 AT 72,5 a 800 kV, b) Disjuntor a ar comprimido e c) Disjuntor a óleo

Fonte: ABB

3.9. Dispositivos de protecção de sobretensão

Descarregadores de sobretensões de óxido de zinco sem explosores para redes de corrente alternada, possui resistências não lineares de óxido de zinco ligadas em série e/ou paralelo sem integração de explosores em série ou paralelo. (secção 3.38 da norma IEC 60099-4). Características e ensaios (DMA-C65-110)

Descarregadores de Sobretensão actuam como protecção em relação as sobretensões e descargas atmosféricas, isto é, quando surge uma sobretensão elevada (descargas atmosféricas directas nas Linhas de AT) esta irá “descarregar a corrente” para o circuito de terra.

3.10. Pára-raios

Segundo (Mamede Filho, 2005) os pára-raios são equipamentos que reduzem o nível de sobretensão a valores compatíveis com suportabilidade dos equipamentos instalados em sistemas de distribuição agindo como ferramenta de protecção de linhas de transmissão e transformadores além de manobras de sobretensão.

São equipamentos monofásicos, normalmente utilizados logo na entrada da linha, sendo os primeiros equipamentos dentro de uma SE, e também na entrada de transformadores de força, para garantirem que não irá fluir nenhuma corrente de fuga por todo o circuito da SE e em especial do transformador, já que esse é equipamento mais caro e de maior importância na maioria das Subestações.

Os pára-raios são compostos por elementos que se comportam como resistores não- lineares.

A primeira geração de pára-raios introduzidos comercialmente era composta de resistores de carboneto de silício (SiC), os quais apresentavam comportamento fracamente não-linear, implicando na necessidade de uso de centelhadores (*gaps*) em série para limitar a corrente em condições normais de tensão do sistema.

Segundo HINRICHSEN, 2012, a segunda geração de pára-raios passou a utilizar resistores de óxido de zinco (ZnO), que dado seu excelente comportamento não-linear, dispensou o emprego dos centelhadores.

De acordo com as abordagens dos autores acima escolhemos os pára-raios de Óxido de Zinco (ZnO).

Como regra, assume-se que a tensão nominal do pára-raios deva ser pelo menos 125% da tensão de operação contínua dos mesmos desta forma pode se calcular usando equação 1.

$$U_n = 1,25 * U_c \quad (1)$$

Onde:

U_n - Tensão nominal de pára-raios;

U_c - Máxima tensão de operação contínua.

Aproxima-se o valor da superior mais próximo dado na tabela (4) encontrando se o valor final da tensão nominal do pára-raios.

Tabela 4: Tensões máximas de pára-raios

Tensão nominal de operação	Condição operativa de emergência	
(kV)	(kV)	(pu)
≤ 138	_____	0,90 a 1,05
230	207 a 245	0,90 a 1,05
345	311 a 362	0,90 a 1,05
440	396 a 460	0,90 a 1,046
500	475 a 550	0,90 a 1,10
525	475 a 550	0,90 a 1,05
765	690 a 800	0,90 a 1,046

Fonte: Joao Mamade e Daniel Filho.

Por Exemplo, considerando que estamos a trabalhar em um sistema com tensão nominal de 110 kV:

Em um sistema com neutro isolado aterrado

U_c

$$U_c = 1.05 * 110 \text{ [kV]}$$

(pu) __por unidade

A corrente da descarga nominal do pára-raios (I_n) e o valor de crista do impulso de corrente como forma 8/20 ms. Seus valores tabelados são de 20 kA e 10 kA para pára-raios tipo de

estação e de 10 kA e 5 kA para tipo distribuição. A escolha da corrente é feita geralmente de acordo com a tensão nominal do pára-raios da seguinte maneira:

Corrente da descarga nominal de 5 kA- tensão nominal do pára-raios de 3 a 39 kV eficaz

Corrente da descarga nominal de 10kA tensão nominal de pára-raios de 3 a 360 kV eficaz

Corrente de descarga nominal de 20 kA- tensão nominal do pára-raios de 276 a 612 kV eficaz.

O pára-raios que escolhemos é de 10 kA.

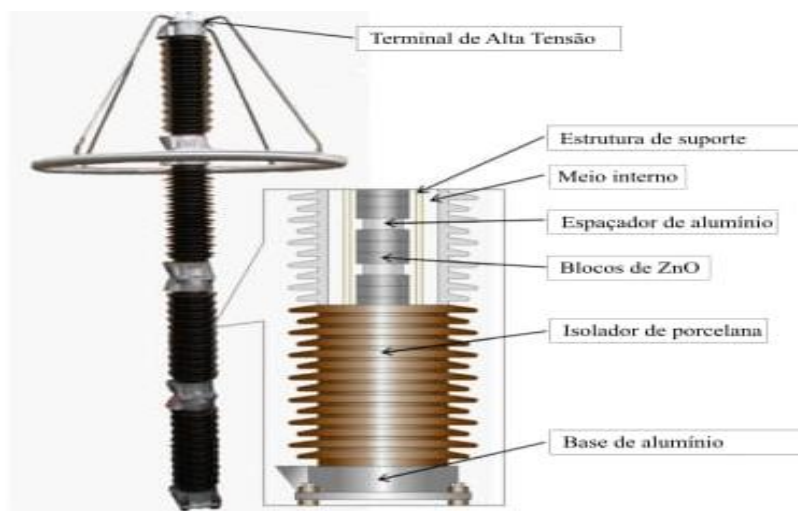


Figura 5: Para raio (ZnO) 72,5 a 800 kV

Fonte: <https://br.linkedin.com/company/pronext-engenharia>

Sistema de Manobra

Chave Seccionadora

As chaves são dispositivos mecânicos de manobra, que na posição aberta assegura uma distância de isolamento e na posição fechada mantêm a continuidade do circuito eléctrico, nas condições especificadas.



Figura 6: Chave Seccionadora

Fonte: ABB

Seccionadores

Segundo norma Brasileira 6935 seccionador é um dispositivo mecânico de manobra capaz de abrir e fechar o circuito quando uma corrente de intensidade desprezível é interrompida ou restabelecida ou quando não ocorre variação de tensão significativa através dos terminais de cada pólo do seccionador. É também capaz de conduzir correntes sob condições normais do circuito e, durante os tempos especificados, correntes sob condições anormais, tais como curto-circuito. A expressão “corrente de intensidade desprezível” significa corrente tais como corrente capacitiva de buchas, barramentos, conexões, cabos muito curtos, correntes de impedâncias equalizadores permanentemente ligadas ao disjuntor e correntes de transformadores de potencial e divisores de tensão.

Este equipamento nunca deverá ser manobrado em carga uma vez que, se isto se verificar irá despoletar um arco eléctrico dando origem a danos no dispositivo ou originar no operador danos físico-patológicos graves que podem levar a morte.

O procedimento correto é, primeiramente, desligar o disjuntor principal, logo abaixo da chave seccionadora, e, posteriormente, abrir a chave seccionadora.

A execução do corte visível é fundamental na segurança das pessoas, pois o seccionador

assegura, na posição aberto, uma distância de isolamento que satisfaz requisitos de segurança para executar trabalhos, isolar um circuito ou como interruptor normalmente aberto (NA) na rede.

Estes podem ser classificados com base em três características tais como:

- Funcionalidade
- Forma de operação
- Tipo de abertura.

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

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

Quanto ao tipo de abertura dos seccionadores, estes podem ser de abertura lateral, central, vertical ou apresentar uma combinação de tecnologias, ou seja, serem compostos por mais do que um tipo de abertura. Os seccionadores de abertura vertical são os mais usados, podendo ser instalados quando o espaço entre fases é mínimo e são ideais para instalações sem localizações com correntes de defeito mais elevadas, incluem-se aqui os pantográficos e semi-pantográficos, que possuem uma lâmina articulada.



Figura 7: Seccionador de Alta tensão. (antes da Instalação)

Fonte: www.lagoelectromecanica.com



Figura 8: Seccionador de Média Tensão

Fonte: www.lagoelectromecanica.com

Isoladores

Os isoladores são equipamentos constituídos por materiais dielétricos (cerâmicos ou polímeros) e ferragens terminais. Eles possuem propriedades mecânicas capazes de suportar esforços produzidos pelos condutores e exercem a função de isolar electricamente os condutores, os quais estão submetidos a uma diferença de potencial e m relação à terra (estrutura suporte) ou em relação a um outro condutor fase (Joao Mamede Filho, Daniel Ribeiro Mamede 2005).

Os isoladores têm como função evitar que a passagem de correntes transportadas pelos condutores, passe para as estruturas metálicas do parque de linhas, e atinja o solo evitando um curto-circuito. Assim afastam electricamente qualquer parte em tensão (barramento AT, Linhas, etc.) das estruturas que os suportam. A EDM utiliza Isoladores de Porcelana visto que, esta é caracterizada pela ausência de porosidade. A grande Particularidade deste material foca se na sua alta capacidade de isolamento eléctrico e resistência mecânica.



Figura 9: Isolador de Porcelana

Fonte: ABB

Barramentos

O barramento propriamente dito é o conjunto de condutores (3 fases) que transportam a energia através da instalação. Porém entenda-se que barramento poderá significar apenas uma das fases, dependendo do contexto. Isto devido ao facto de que para dimensionar os perfis a serem utilizados no barramento, basta dimensionar um dos condutores (uma das fases) e os outros serão iguais.

Inter-Barramentos

Neste caso que existe mais do que um transformador de Potência (TP), o barramento poderá ser alimentado por fontes diferentes. Na ausência de um TP (motivos de avaria ou manutenção), o outro que permanece activo irá alimentar uma maior carga, pelo facto de serem consideradas as saídas do TP desactivado o que pode ser conseguido desde que, não atinja a máxima carga que pode suportar.

O mecanismo descrito denomina se por ligação inter-barramentos, uma vez que, requer regulação das tensões e frequências para que possa ser executado o paralelo de barramentos.

A vantagem de possuir inter-barramentos numa SE permite ter duas instalações separadas, possibilita repartir cargas e no caso de existir um defeito num barramento, perde-se apenas parcialmente a instalação, ganhando assim uma maior qualidade de serviço na rede.

3.11. Condições de Calculo de Barramentos

O cálculo dos Barramentos

1. Em função da condição de aquecimento em regime permanente;
2. Em função da resistência mecânica ao curto-circuito;
3. Em função dos esforços térmicos devidos ao curto-circuito;
4. Em função da condição de ressonância.

Os dados necessários ao cálculo, e que devem, portanto, ser conhecidos a priori, pois não dependem do perfil escolhido são enumerados na tabela (5):

Tabela 5: Dados Iniciais.

Dados Iniciais		
Grandeza	Símbolo	Unidades
Corrente de serviço	I_s	A
Corrente de Curto-Circuito	I_{cc}	A ou kA
Frequência	f	Hz
Factor I_{cc}''/I_p	I_{cc}''/I_p	[adimensional]
Factor $\chi(qui)$	X	[adimensional]

Módulo de elasticidade	E	kgf/cm ou N/mm ²
Distância entre fases	A	m ou cm
Distância entre apoios	L	m ou cm
Tempo de actuação das protecções	T	S
Carga de segurança à flexão	Σ	kgf/cm ou N/mm ²
Material de barramento	[-]	[adimensional]

Corrente de serviço: é a máxima corrente que o barramento terá que transportar em regime permanente.

Corrente de curto-circuito: trata-se do valor eficaz da corrente que o barramento terá que suportar em caso de curto-circuito. Este valor é calculado tendo em vista as impedâncias de curto-circuito tanto da rede como da subestação.

Frequência: é a frequência eléctrica da instalação/rede. Normalmente 50 Hz.

Factor γ : é um parâmetro da rede eléctrica. Um factor que traduz o decréscimo da componente contínua da corrente de curto-circuito.

Factor I_{cc}''/I_p : este factor é também um parâmetro da rede, mais concretamente a razão entre a componente inicial da corrente de curto-circuito - I_{cc}'' e o valor eficaz da corrente permanente de curto - I_p . I_{cc}''/I_p pode ser entendido como um factor análogo, mas que por sua vez, quantifica corrente de curto-circuito.

Distância entre apoios: distância entre dois apoios consecutivos que suportem o barramento.

Distância entre fases: distância entre dois perfis de fases distintas.

Tempo de actuação das protecções – t – tempo que as protecções de subestações demoram a actuar em caso de defeito extinguindo-o. Este tempo vai desde que ocorre até o transformador de intensidade detectam uma corrente de curto-circuito “enviam” essa informação para os relés de protecção da subestação, estes por sua vez enviam a ordem de abertura ao disjuntor, e por fim o disjuntor abre extinguindo o curto-circuito.

Carga de segurança à flexão ou a resistência até ao ponto limite de elasticidade é uma grandeza associada ao material escolhido para utilizar no barramento, que caracteriza o esforço de torção que determinado material pode suportar. Embora esteja associada ao material usado, este parâmetro não é fixo para um dado material, pois depende da dureza do

mesmo, isto é, se se pretender dimensionar um barramento em cobre, por exemplo, este pode ser de cobre duro ou cobre macio, e possuirão cargas de segurança à flexão diferentes.

Como tal e necessário definir este parâmetro antes de cálculos. **Condição de Aquecimento**

A verificação da condição de aquecimento é feita através da simples comparação entre a corrente de serviço da instalação em questão, e a corrente máxima admissível pelo barramento escolhido. A corrente máxima admissível no barramento pode ser encontrada através da consulta das tabelas 6-35 presentes no MIEBBC6, no anexo (1).

Resistência mecânica ao Curto-circuito.

Seguidamente procede-se à verificação de que o barramento escolhido consegue suportar os esforços electrodinâmicos a que poderá ser sujeito em caso de curto-circuito.

Para isso começa-se por calcular a corrente de choque – I_{ch} , que é a máxima corrente que o barramento terá que suportar em caso de curto-circuito. É portanto o valor máximo instantâneo da corrente de curto-circuito, e que ocorre na sua fase inicial. É quando da ocorrência deste pico de corrente que o barramento será sujeito a um maior esforço electrodinâmico.

O cálculo de I_{ch} advém da expressão seguinte 2:

$$I_{ch} = \chi * \sqrt{2} * I_{CC''} \quad (\text{A ou kA}) \quad (2)$$

Seguidamente calcula-se a força electromagnética - F_e exercida entre os perfis, percorridos pela corrente de choque aquando da ocorrência de um curto-circuito.

Esforço electrodinâmico

$$F_e = 0,2 * I_{ch}^2 * \frac{l}{d} \quad (3)$$

Onde:

- d: distância entre fases
- F_e : esforço electrodinâmico
- I_{ch} : corrente maxima que o barramento pode suportar em caso de curto-circuito
- l: comprimento do vão (cm ou m)

Depois de Fe resulta o momento Flector que é obtido através da expressão 4 :

$$m_f = \frac{F_e \cdot l}{16} \quad (4)$$

Depois deve se verificar se o modulo de flexão é adequado começando por consulta-lo em tabelas próprias para o efeito, para o tubo 20x16mm $W=0,464 \text{ cm}^3$.

$$W \geq \frac{m_f}{\sigma}$$

O valor máximo da tensão mecânica admissível pelo material do barramento deve ser menor ou igual valor máximo da tensão do condutor devido ao curto-circuito, é calculado através da expressão 5.

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_{02}$$

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W} \quad (\text{N/mm}) \quad (5)$$

onde

- M: momento da força (kgf/cm)
- W: Módulo de secção do condutor (cm^3)
- σ_{\max} Valor máximo da tensão mecânica admissível pelo material do barramento (kgf/cm^2)
- σ_{02} Valor máximo da tensão mecânica no condutor devido ao curto-circuito (kgf/cm^2).

Quando for encontrado um perfil que verifique a condição, está concluído o cálculo da resistência mecânica ao curto-circuito. Caso contrário deve se escolher outro tubo.

Esforços Térmicos devidos ao Curto-Circuito.

O dimensionamento com vista aos esforços térmicos devidos ao curto-circuito é baseado no cálculo do tempo de fadiga térmica de um condutor, que é o tempo durante o qual o condutor pode suportar a corrente de curto-circuito. Esse valor é obtido através de expressão 6.

$$\sqrt{t} = k \cdot \frac{S}{I_{th}} \quad (6)$$

Onde:

- t – Tempo de fadiga térmica do condutor (s);
- K – Factor relativo às propriedades térmicas do condutor;
- S – Secção do condutor (mm²);
- I_{th} – Corrente térmica (A);

Frequência própria da ressonância do Barramento que pode ser obtida da expressão 7.

$$f_p = 112 \sqrt{\frac{E * J}{m * l^4}} \quad (7)$$

Onde:

- f_p - é Frequência própria de ressonância do barramento (Hz)
- E- Módulo de Elasticidade de barramento ou de Young (Kgf/cm²) 0,12X10⁶ para Cu, 7,04x10⁵
- J- Momento de inércia do barramento (cm⁴)
- m -Massa linear do barramento(kg/cm)
- l –Vão entre apoios consecutivos (cm).

O objectivo deste calculo e garantir que o vão da instalação (distancia entre apoios) não esta compreendido entre valores do vão de ressonância a $\pm 10\%$ da harmónica fundamental (50 Hz) e da segunda Harmónica (100 Hz) isto é, tem que ser calculados os vãos de ressonância a 45 Hz, 90 Hz e 110 Hz.

Painel de Sinalização

Os tipos de painéis constituintes dos andares AT e MT do projecto de Subestações Tipo Exterior e respectiva função estão definidos nos pontos seguintes.

Painel de AT

Tabela 6: Tipos de painéis constituintes dos andares AT do projecto de Subestações

Tipo de Painel	Função
Linha AT / Transformador de Potência AT/MT	Assegura a ligação directa entre a linha de distribuição de AT e o primário do transformador de potência AT/MT
Linha AT	Assegura a ligação entre o barramento de AT e a respectiva linha de distribuição de AT
Transformador de Potência AT/MT	Assegura a ligação entre o barramento de AT e o primário do transformador de potência AT/MT
Potencial de Barras AT	Assegura a ligação entre o barramento de AT e os transformadores de medida de tensão do barramento
Interbarras AT	Assegura a ligação de dois barramentos de AT entre si

Tabela 5: Tipos de Paineis constituintes de MT nas Subestações

Tipo de painel	Função
Chegada transformador de potência	Assegura a ligação entre o secundário do transformador de potência AT/MT e o barramento de MT do QMMT (Quadro Metalico de Média Tensão).
Saída MT	Assegura a ligação entre o barramento de MT do QMMT e a respectiva linha de distribuição de MT
Bateria de Condensadores	Assegura a ligação entre o barramento de MT do QMMT e a bateria de condensadores de MT
Transformador de Serviços Auxiliares e Reactância de Neutro	Assegura a ligação entre o barramento de MT do QMMT e o TSA e a reactância de criação de neutro artificial
Potencial de Barras MT	Assegura a ligação entre o barramento de MT do

	QMMT e os transformadores de medida de tensão do barramento de MT
Interbarras MT	Assegura a ligação de dois barramentos de MT entre si
Ligação de Barras	Assegura a ligação de cada barramento de MT do QMMT à cela Interbarras MT

Fonte : DIT-C13-500/N

A importância do Painel:

O painel de sinalização cumpre papel de fundamental importância, tendo em vista que é por meio dele que as pessoas se orientam em um determinado complexo o que facilita o dia de todos que dele fazem uso.

Dessa maneira, o painel de sinalização realiza a função de indicador do melhor caminho a ser tomado, sendo, por essa razão, indispensável para determinados tipos de locais, como as próprias linhas férreas.

Equipamentos complementares de MT

Os equipamentos complementares de MT, presentes numa subestação AT/MT são:

1. Barramento de condensadores;
2. Impedâncias limitadoras da corrente de defeito à terra (Reactância de Neutro)
3. Transformador de Serviços Auxiliares.

3.12. Capacitores (Bancos de capacitores)

Segundo Daniel Ribeiro Mamede e João mamed Filho (2007), os capacitores são dispositivos capazes de acumular a electricidade. Os métodos mais comuns são construídos por duas placas condutivas (metálicas) denominadas eléctrodo, e separadas por um material dieléctrico (material isolante). Ao aplicar uma tensão sobre as faces externas destas placas é gerado um campo electrostático entre eles, ou seja, ocorre armazenamento de energia eléctrica na forma do campo eléctrico.

Pode se dizer que capacitores são elementos reactivos que ao serem expostos a passagem de uma corrente eléctrica através de seus eléctrodos, acumulam cargas eléctricas e é por isso, que

os capacitores são componentes capazes de armazenar energia electrostática.

Os capacitores são normalmente designados pela sua potência nominal relativa, contrariamente aos demais equipamentos, cuja característica principal é a potência nominal aparente.

A potência nominal de um capacitor em kvar é aquela absorvida do sistema quando está submetido a uma tensão e frequências nominais a uma temperatura ambiente não superior a 20°C (ABNT).

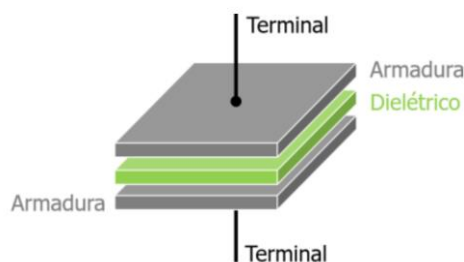


Figura 10: Capacitor circuito simples de carga com duas Placas

Fonte: Robert. L. Boylestad, Pearson, 2012.

Ademais, os capacitores são utilizados com a finalidade de corrigir o baixo factor de potência, tendo em vista a compensação de reactivos indutivos nas redes.

Uma carga indutiva absorve a potência reactiva positiva. Ao oposto, um capacitor absorve a potência reactiva negativa. Assim o capacitor fornece a energia reactiva com intuito de equilibrar o sistema (Cotrim. 2008).

Conforme Monteiro, Paulo Roberto Duailibe (2009), um capacitor quando é ligado em paralelo juntamente com a alimentação de motores, transformadores, ou ainda, qualquer carga indutiva, restringe o fluxo de energia reactiva, a qual é absorvida da rede eléctrica. Sendo assim, a energia reactiva necessária para excitação das bobinas dos equipamentos passa a ser fornecida pelos capacitores.

Banco de capacitores

Segundo Daniel Ribeiro Mamed e João Mamed Filho, Banco de capacitores é a reunião de diversas “unidades capacitivas” com capacidade necessária para atender determinados requisitos de potência do sistema eléctrico.

Na maioria dos casos, os bancos trifásicos são montados a partir de unidades monofásicas ou trifásicas, o que proporciona a obtenção de potências elevadas, assim como uma maior flexibilidade de instalação e manutenção (Cotrim, 2008).

Reactância de Neutro (RN)

A Reactância de Neutro é um equipamento que tem como função limitar a intensidade de corrente de curto-circuito fase - terra a uma determinada corrente (normalmente 300 A ou 1000 A). Este equipamento está ligado nos secundários dos TP de forma a criar uma Impedância de ligação à terra, limitando assim, a intensidade de corrente de curto-circuito, conforme o Regulamento *DRE-C13-530 - INSTALAÇÕES AT E MT: Rede geral de terra. Regras de execução*, (EDP distribuição, 2013).

A criação do neutro da rede de MT através da instalação de uma reactância de neutro (RN) em cada barramento MT permite obter uma solução normalizada para os diferentes níveis de tensão contemplados no projecto, independentemente do grupo de ligações dos transformadores de potência AT/MT.

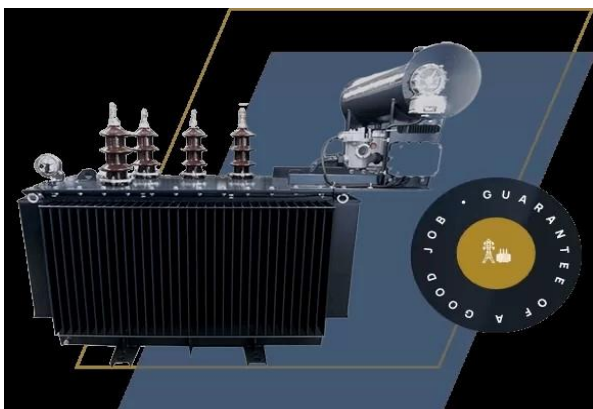


Figura 11: Reactância de Neutro (RN)

Fonte: Zircon.pt

Equipamentos de Serviços Auxiliares

Além dos equipamentos utilizados para a condução, transformação, manobra e monitoramento de energia, é comum o uso de equipamentos auxiliares, que executarão funções secundárias, mas que são essenciais para o perfeito funcionamento da subestação.

Em geral estas funções envolvem o fornecimento de corrente alternada ou contínua em regime normal de funcionamento ou em momentos da falta de energia no sistema, para operação e manutenção de algumas das funções essenciais da subestação. Estes equipamentos são de grande importância para confiabilidade do sistema.

Dentre estes podemos citar os transformadores, painéis de distribuição, bancos de baterias, bancos de inversores, rectificadores e outros equipamentos de suporte.

O sistema de Serviços Auxiliares

O conjunto dos equipamentos auxiliares é chamado o Sistema de Serviços Auxiliares (SSA). Este sistema pode ser dividido em Serviços Auxiliares em Corrente Contínua (SACC) e em Serviços Auxiliares em corrente Alternada (SACA), que podem ser instalados na casa de comando, com excepção de alguns equipamentos, que podem ser instalados ao tempo.

Devido a sua importância, o SSA deve ser confiável, mas deve se entender que a confiabilidade de SSA não está relacionada somente com sistemas redundantes de fontes e equipamentos, mas também da qualidade dos equipamentos empregues, bem como um projecto sólido e consistente do sistema.

Serviços Auxiliares em Corrente Alternada

Os serviços Auxiliares em Corrente Alternada (SACA) são responsáveis por suprir energia as cargas de corrente alternada, como motores, iluminação, tomadas, conversores CA/CC. o projecto deste sistema é difícil de ser padronizado, já que depende de número e potência das cargas do número e potências das fontes, dos níveis de tensão, dentre outros factores.

A alimentação dos serviços auxiliares de corrente alternada (SACA) da subestação é assegurada pela instalação de um Transformador de Serviços Auxiliares, ligado a cada barramento de MT.

Transformador de Serviço Auxiliar (TSA).

Este transformador é utilizado para alimentar os circuitos auxiliares de uma Subestação: Ar condicionado, iluminação, e circuitos de alimentação das unidades de protecção do rectificador. O princípio de funcionamento do (TSA) é igual ao TP diferenciando-se apenas na sua potência que é bastante mais reduzida, normalmente de 100 KVA conforme o Norma (Direcção de Tecnologia e Inovação DIT- C13-530N EDP Distribuição, 2013).



Figura 12: Transformador de Serviços Auxiliares

Fonte: ABB

Serviços Auxiliares em Corrente Contínua.

Os serviços auxiliares em corrente contínua (SACC) são responsáveis por fornecer energia aos circuitos de protecção, controle e comando, e também aos sistemas de segurança da subestação, ou seja, sistemas que devem ser alimentados permanentemente e com alto grau de confiabilidade.

Assim como no SACA, e o SACC é de difícil padronização, dependendo de diversos factores como número e potência das cargas, do número e potência e fontes, dos níveis de tensão, dentre outros factores.

As tensões contínuas são fornecidas por bancos de baterias com os respectivos carregadores, de maneira que as tensões mais utilizadas para o SACC são de 48 Vcc para subestações que possuem cargas de telecomunicações, telemedição ou teleprotecção ou de 125 Vcc, sendo esta ultima a mais usual. Via de regra não se utiliza tensões acima de 125-478 Vcc por razões de segurança.

Bancos de Baterias

Bancos de Baterias possibilitam o armazenamento de energia, a qual pode ser utilizada para alimentação das cargas eléctricas na rede de alimentação, ou ainda, para reduzir a demanda em horário da ponta.

Os bancos de baterias são configuráveis e podem ser combinados com conversores CC-CC reversíveis e com os inversores bidireccionais para formar uma microrrede.



Figura 13: Bancos de Baterias

Fonte: Joao Mamede Filho

Rectificador /carregador

Rectificador /carregador serve para manter em operação o Sistema de protecção, controle e supervisão em caso de falta de alimentação em CA.



Figura 14: Rectificador /carregador

Fonte: ABB

Painéis de chegada de Média Tensão (UniGear ZS2 Digital) a escolha deste Painel deveu-se às vantagens que ele oferece tais como:

A flexibilidade para alteração de cargas, alimentadas pela energia através do disjuntor do alimentador (Transformador de corrente). Os sensores de corrente e tensão, sucessores dos transformadores de corrente e tensão convencional, apresentam características lineares, isto é, eles podem trabalhar com uma ampla gama de corrente primária e apresentam um consumo insignificante, portanto, menos energia é necessária para operação de painel.

Permite a modificação dos parâmetros do relé de Protecção, economizar custo de aquisição e instalação na troca do actual por outro, bem como os custos de tempo de inactividade do painel de MT, e está pronta para evolução da carga de rede eléctrica inteligente.

É eficiente, confiável, flexível e segura.



Figura 15: Painel de ABB de Media tensão UniGear ZS2 Digital

Fonte: ABB.

3.13. Sistemas de protecção.

Sistema de protecção (SP).

SP é um conjunto de filosofias e consequentemente equipamentos para protecção de situação anormais à operação do SEP, com intuito de prevenir danos permanentes aos equipamentos que o compõe, salvaguardar a integridade física das pessoas que operam, buscar tempos de interrupção ao fornecimento de energia eléctrica tão pequenos quanto possível e minimizar a influência de um defeito local sobre o restante de SEP.

Segundo Caminha, Amadeu Casal (1977), a principal função de sistema de protecção é de retirar rapidamente de operação qualquer elemento de sistema quando ele sofre um curto-

circuito, ou quando um equipamento estiver operando sob condições anormais que possam causar danos ou, de outro modo, interferir na operação normal do sistema. Outra atribuição do sistema de protecção é indicar a localização e o tipo de defeito, visando mais rápida reparação e possibilidade de análise da eficiência e características de mitigação da protecção adoptada.

As duas principais características de um bom sistema de protecção são:

- a) **Segurança:** o sistema deve ser capaz de operar nos casos em que seja estritamente necessário, evitando cortes desnecessários do fluxo de energia por determinado circuito;
- b) **Obediência:** o sistema deve operar sempre que seja necessário, ou seja, não pode ser insensível a presença de fenómenos que possam ocasionar danos materiais ou risco a vida.

3.14. Garantir a qualidade e continuidade de serviços.

Um sistema de Protecção é projectado de modo a se considerar algumas propriedades fundamentais para se obter um bom empenho:

3.15. Qualidade de Energia do Sistema Eléctrico

A qualidade de energia eléctrica se define pelos parâmetros:

- Tensão constante;
- Frequência constante;
- Confiabilidade.

3.16. Requisitos Básicos de um Sistema de Protecção

São Sensibilidade, selectividade, velocidade e confiabilidade.

Sensibilidade consiste na capacidade de elemento de protecção responder as anormalidades nas condições de operação, e aos curto-circuitos para os quais foi projectado.

É apreciado por um factor de sensibilidade, da fórmula (8),

$$k = I_{ccmin}/I_{pp} \quad 8$$

I_{ccmin} - corrente de curto-circuito em seu valor máximo tomado no ponto mais extremo da zona de protecção, considerando a condição de geração mínima.

I_{pp} - corrente de accionamento do elemento de protecção, e, o valor mínimo da corrente capaz de accionar o referido elemento de protecção exigida pelo fabricante do relé.

Para conseguir um nível de sensibilidade $k \geq 1,5$ a 2 é usual.

➤ **Selectividade** é técnica utilizada no estudo de protecções e coordenação, por meio da qual somente o elemento de protecção mais próximo do defeito desconecta a parte defeituosa do sistema eléctrico.

Zonas de Actuação: durante a ocorrência de um defeito, o elemento de protecção deve ser capaz de definir se aquela ocorrência é interna ou externa a zona protegida. Se está nos limites da zona protegida, o elemento deve actuar e accionar a abertura do disjuntor associado, num intervalo de tempo definido no estudo de protecção, se a ocorrência está fora dos limites da zona protegida o relé não deve ser sensibilizado pela grandeza eléctrica do defeito ou, se o for, deve ter bloqueado o seu sistema restritor de actuação.

➤ **Velocidade** de actuação deve ser a de menor valor possível, a fim de proporcionar as seguintes condições favoráveis:

- Reduzir ou mesmo eliminar as avarias no sistema protegido.
- Evitar ou diminuir a extensão dos danos no sistema dado que a energia liberada durante uma e proporcional ao quadrado da corrente e a duração da falta ($R.I^2 .t$) auxiliar a manutenção da instabilidade das maquinas operando em paralelo;
- Reduzir o tempo total da paralisação dos consumidores de energia;
- Diminuir o tempo total de não libertação de potencia, durante a verificação de dano, etc.
- Permitir a sincronização dos motores.

➤ **Confiabilidade** é a propriedade de elemento de protecção cumprir com segurança e exactidão às funções que lhe foram confiados.

Automação

Consiste na propriedade de o elemento de protecção operar automaticamente quando for solicitado pelas grandezas eléctricas que o sensibilizam e retornar sem auxílio humano, se isso for conveniente, à posição de operação depois de cessada a ocorrência.

Existem ainda outras propriedades fundamentais para o bom desempenho dos dispositivos de protecção:

Os relés não devem ser sensibilizados pelas sobrecargas e sobretensões momentâneas.

Os relés não devem ser sensibilizados pelas oscilações de corrente, tensão e frequência ocorridas naturalmente no sistema, desde que consideradas normais pelo projecto.

Os relés devem ser dotados de bobinas e circuitos de pequeno consumo de energia.

Os relés devem ter suas características inalteradas para diferentes configurações do sistema eléctrico.

Para que o sistema de protecção e, principalmente, o sistema de comunicação de uma SE foi necessário a criação de uma norma que ficasse padronizada a comunicação entre os sistemas de diferentes SE. Foi criada então a norma IEC61850.

Os sistemas de protecção para sistemas de AT têm como elementos chaves os transformadores de Instrumentos (TC's e TP's) e dispositivos denominados relés de Protecção sendo este ocupando posição de destaque, pois, representa o mais apurado conjunto de elementos de monitoramento, detecção classificação e decisão para discernir se uma determinada condição de SEP, ou de um de seus elementos constituintes representa um defeito ou não.

Relés de Protecção

Relés são elementos responsáveis pela detecção das correntes eléctricas do curto-circuito, e que tomam a decisão de accionamento ou não de Disjuntor.

Relés de protecção (equipamentos responsáveis por receber os sinais de rede, analisá-los e “decidir” se os valores apresentam um risco ou não), por exemplo, utilizavam até década de 70 uma tecnologia electromecânica, através dos discos e molas e que precisam de elevadas potências para funcionar, fazendo com que, paralelamente os transformadores de corrente suportassem até 5 A. Na década de 80, os relés utilizavam já uma tecnologia electrónica, fazendo com que fosse possível funcionar com transformadores de correntes de menores valores de correntes (1 A).

Finalidades de um Relé

Um relé pode possuir várias funções atreladas ao seu funcionamento, como se pode citar:

- **Monitoramento:** monitorar as condições de um determinado sistema eléctrico de potência.
- **Protecção:** accionar um ou mais disjuntores na percepção de uma anomalia danosa a um equipamento ou até mesmo ao sistema.
- **Religação:** após a abertura de um disjuntor e percepção da não mais existência da anomalia que ocasionou a abertura, acciona o fechamento dos contactos do disjuntor;
- **Regulador:** é utilizado quando se há um desvio dos parâmetros de um sistema eléctrico de potência;
- **Auxiliar:** opera a partir da resposta de outro relé, estando ele tecnicamente subordinado a outro;
- **Sincronismo:** assegura os parâmetros adequados para uma interconexão de dois ou mais sistemas eléctricos de potência.

Qualidades requeridas em um relé.

Para que os relés executem as funções de forma adequada, estes devem ter as seguintes finalidades:

- Ser tão simples e robustos quão possíveis;
- Ser tão rápido o quanto possível, independente da localização da falta;
- Ter baixo consumo de energia eléctrica próprio;
- Ter alta sensibilidade e poder discriminado;
- Realizar contactos firmes, para que evite centelhamento ou ricochetes;
- Manter sua regulação independente das condições atmosféricas e/ou do sistema eléctrico de potência;
- O relé deve ter baixo custo;

Classificação dos relés

Existe actualmente uma grande variação de relés no mercado, estes podendo ser reduzidos a um pequeno número de tipos:

- a) **Quanto às grandezas de actuação:** Eléctricas; mecânicas; térmicas; Ópticas; Outras.

b) **Quanto à natureza de grandeza a que respondem:** Corrente; Tensão; Frequência; Pressão; Temperatura; e outras;

c) **Quanto ao tipo construtivo:** Electromecânicos; mecânico; electrónicos, estáticos, digitais, e outras.

d) **Quanto à função;**

Sobre Corrente; subcorrente; sobretensão; distância e outros;

e) **Quanto à forma de conexo do elemento sensor:**

Directo do circuito primário; Através de redutores de medida;

f) **Quanto ao tipo de fonte para actuação do elemento de controlo:** Corrente Alternada; corrente contínua;

g) **Quanto ao grau de importância:** Principal (51 ASA); Intermediário (86 ASA);

h) **Quanto ao posicionamento dos contactos:** Normalmente Aberto (NA); Normalmente Fechado (NF);

i) **Quanto à aplicação:** Máquinas rotativas; máquinas estáticas; linhas aéreas; linhas subterrâneas; equipamentos em geral; e

j) **Quanto à temporização:** Instantâneo e Temporizado.

Actualmente, a partir de década de 90, são utilizados relés digitais, que podem ser operados com transformadores de corrente de potências bastante reduzidas, tendo assim surgido uma nova linhagem de transformadores: os transformadores de corrente de baixa potência. Este tipo de transformador envia um sinal ao relé, que representa a corrente que passa no secundário de transformador.

Devido a tecnologia empregue na construção de um relé digital, o mesmo é capaz de realizar diversos tipos de protecção, o que não é possível quando se analisa relés mecânicos, electromecânicos, entre outros. Pode se citar alguns tipos de protecção que um relé digital é capaz de realizar simultaneamente: Sobrecorrente; subcorrente; sobretensão; subtensão e distância.

Devido a capacidade da unificação de varias protecções em um determinado equipamento, a realização de autodiagnostico, possibilidade de localização de faltas, oscilografias, monitoramentos, supervisão de redes, entre outras funções, os relés digitais vem sendo utilizados em larga escala nas Subestações.

Este comparado com os outros tipos, inovou muito os esquemas de protecção e apresenta vantagens que não podiam ser obtidas em seus antecessores.

Não somente tem funções de protecção mais confiáveis e precisas, como também tem um campo de ajustes muito mais abrangente e realiza funções de comunicação, medição, controle, sinalização e acesso remoto (Daniel Mamede Filho; João Mamede).

Apesar das inúmeras vantagens citadas anteriormente, os relés digitais possuem algumas desvantagens se comparado a outros tipos de relé. Entre elas pode ser citado o facto do relé digital possuir uma vida útil reduzida e se tornarem obsoletos rapidamente, devido as evoluções no Hardware e está mais susceptível a interferências electromagnéticas, o facto que pode ser melhorado com a utilização de fibra óptica.



Figura 16: Relé Digital Siprotec 6MD63

Fonte: Catálogo Siemens SIP- Ediction No. 8/8.1.

As funções de relés de protecção em geral são referidas por números, padronizados em normas. A tabela (7) mostra a nomenclatura das funções protecções de manobra definida pela norma ANSI/IEEE Standard C37.2-2028.

Tabela 6: Nomenclatura das funções de protecção e manobra (ANSI).

N°	Descrição	N°	Descrição
1	Elemento principal	37	Relé de subcorrente ou subpotência
2	Relé de partida ou Fechamento temporizado	38	Dipositivo de protecção de mancal
3	Relé de verificação ou interbloqueio	39	Monitoramento da condição Mecânica

4	Contador principal	40	Relé de campo
5	Dispositivo de interrupção	41	Disjuntor ou Chaves campo
6	Disjuntor de partida	42	Disjuntor ou chave de operação normal
7	Disjuntor de ânodo	43	Dispositivo ou selector de transferência manual
8	Dispositivo de desconexão da energia de controlo	44	Relé de sequência de partidas de unidades
9	Dispositivo de reversão	45	Monitoramento da condição anormal Atmosférica
10	Chave de sequência das unidades	46	Relé de reversão ou balanceamento de corrente de fase
11	Dispositivo Multifunção	47	Relé de sequência de fase de tensão
12	Dispositivo de sobrevelocidade	48	Relé de sequência incompleta/partida longa
13	Dispositivo de rotação síncrona	49	Relé térmico para máquina ou transformador
14	Dispositivo de sobvelocidade	50	Relé de sobrecorrente instantâneo
15	Dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade ou frequência	51	Relé de sobrecorrente temporizado. Tem variantes como 50N (que indica neutro) 50NS (neutro sensível) e 50GS (ground sensor), 50AFD (contra arco eléctrico)
16	Dispositivo de comunicação de dados	52	Disjuntor de corrente Alternada
17	Chave de derivação ou de descarga	53	Relé para excitatriz o gerador CC
18	Dispositivo de aceleração ou desaceleração	54	Disjuntor de corrente contínua, alta velocidade
19	Contactador de transição partida -marcha	55	Relé de factor de potência
20	Válvula operada electricamente	56	Relé de aplicação de campo
21	Relé da distância	57	Dispositivo para aterramento ou curto-circuito
22	Disjuntor equalizador	58	Relé de falha de rectificação
23	Dispositivo de controlo de temperatura	59	Relé de Sobretensão

24	Relé de relação Volts/hertz	60	Relé de desbalanço de corrente ou tensão
25	Dispositivo de sincronização ou de conferência de sincronismo	61	Sensor ou chave de densidade
26	Dispositivo térmico do equipamento	62	Relé de interrupção ou abertura temporizada
27	Relé de Subtensão	63	Relé de pressão de nível ou de fluxo, de líquido ou gás
28	Detector de Chamas	64	Relé de protecção de terra
29	Contactador de Isolamento	65	Regulador (governador)
30	Relé anunciador	66	Dispositivo de intercalação ou escapamento de operação
31	Dispositivo de Excitação em separado	67	Relé direccionado de sobrecorrente CA
32	Relé direccionado de potência	68	Relé de Bloqueio que envia sinais de bloqueio em condições determinadas como por exemplo, para selectividade lógica
33	Chave de posicionamento	69	Dispositivo de controlo permissivo
34	Chave de Sequência, operada por motor	70	Reóstato electricamente operado
35	Dispositivo para operação de escovas ou para curto-circuitar anéis colectores	71	Chave de nível de líquido
36	Dispositivo de polaridade	72	Disjuntor de corrente contínua
73	Contactador de resistência de carga	87	Relé de protecção diferencial
74	Relé de alarme	88	Motor auxiliar ou motor gerador
75	Mecanismo de Mudança de Posição	89	Chave seccionadora
76	Relé de sobrecorrente CC	90	Dispositivo de regulação
77	Transmissor de impulsos	91	Relé direccionado de tensão
78	Relé de medição de ângulo de fase, ou de protecção contra falta de sincronismo	92	Relé direccionado de tensão e potência
79	Relé de religamento CA	93	Contactador de variação de campo
80	Chave de Fluxo	94	Relé de desligamento, ou de disparo

			livre
81	Relé de sub/sobfrequência	95	Usados para aplicações específicas, não cobertas pelos n°s anteriores
82	Relé de religamento CC	96	Usados para aplicações específicas, não cobertas pelos n°s anteriores
83	Relé de selecção de controle ou de transferência automática	97	Usados para aplicações específicas, não cobertas pelos n°s anteriores
84	Mecanismo de operação	98	Usados para aplicações específicas, não cobertas pelos n°s anteriores
85	Relé de receptor de onda portadora ou fio piloto	99	Usados para aplicações específicas, não cobertas pelos n°s anteriores
86	Relé de Bloqueio		

Tabela 7: Nomenclatura complementar das funções de protecção e manobra (ANSI).

Código	Função
21B	Protecção de subimpedância: contra curtos-circuitos fase-fase
27TN	Protecção de subtensão residual de terceira harmónica
37P	Protecção direcciona de sobrepotência activa
37Q	Protecção direcciona de sobrepotência reactiva
48-51LR	Protecção contra partida longa, rotor bloqueado
49T	Supervisão de temperature
50N	Sobrecorrente instantâneo de neutron
51N	Sobrecorrente temporizado de neutro (tempo definido ou curvas inversas)
50G	Sobrecorrente instantâneo de terra
50GS	Sobrecorrente instantâneo de terra
51G	Sobrecorrente temporizado de terra e com tempo definido ou curvas inversas
51GS	Sobrecorrente temporizado de terra e com tempo definido ou curvas inversas
50BF	Relé de protecção contra falha de disjuntor
51 Q	Relé de sobrecorrente temporizado de sequência negativa com tempo definido
51V	Relé de sobrecorrente com restrição de tensão
51C	Relé e sobrecorrente com controle de torque

59Q	Relé de sobretensão de sequência negativa
59N	Relé de sobretensão residual ou sobretensão de neutro
62BF	Relé de protecção contra falha de disjuntor
64G	Relé de sobretensão residual ou sobretensão de neutro
64REF	Protecção diferencial de fuga à terra restrita
67N	Relé de sobrecorrente direcciona de neutro instantâneo ou temporizado
67G	Relé de sobrecorrente direcciona de terra instantâneo ou temporizado
67Q	Relé de sobrecorrente direcciona de sequência negativa
78PS	Protecção de perda de sincronismo
81L	Protecção de subfrequência
81H	Protecção de sobrefrequência
81R	Taxa de variação da frequência (df/dt)
87B	Protecção diferencial de barramento
87T	Relé diferencial de transformador
87L	Protecção diferencial de linha
87G	Relé diferencial de gerador
87GT	Protecção diferencial do grupo gerador-transformador
87B	Protecção diferencial de barra
87M	Protecção diferencial de motores

Fonte: Joao Mamede e Daniel Mamede Filho.

É comum ver a utilização de funções combinadas, sendo estas referidas pela combinação dos números, como por Ex: 50/51. ainda podem ser utilizadas letras após os números para esclarecer a aplicação do relé, por exemplo 50N. A tabela (3) trás as letras mais utilizadas.

Tabela 8: Letras utilizadas no esclarecimento da numeração das funções de relés

Letra	Descrição
B	Barramento
F	Campo
G	Aterramento ou Gerador
N	Neutro
T	Transformador

Fonte:

Os relés mais utilizados são:

- ✓ Relé de distância (21) Utilizadas para detecção de falhas em linhas de Transmissão longas
- ✓ Relés de sincronismo (25) utilizados para fechamento de disjuntores, quando as diferenças de tensão, fase e frequência entre os seus polos for aproximadamente Zero;
- ✓ Relés sob tensão (27) utilizados em diversos pontos da subestação para detecção de sobtensão;
- ✓ Relés de direcção da potência (32) - utilizados para verificação da direcção do fluxo de potência em unidades com várias alimentações
- ✓ Relés de sobrecorrente instantâneo (50) utilizado em diversos pontos da subestação para detecção de sobrecorrente de alta amplitude;
- ✓ Relés de sobrecorrente temporizado (51) utilizados em diversos pontos da subestação para detecção de sobrecorrente;
- ✓ Relés de sobretensão (59) utilizados em diversos pontos da subestação para detecção de sobretensão;
- ✓ Relé de pressão (63) utilizado para verificação de defeitos em transformadores e equipamentos isolados a gás SF₆.
- ✓ Relés direccional de sobrecorrente (67) - Utilizados em diversos pontos da subestação para verificarem a direcção das correntes da sobretensão;
- ✓ Relés de religamento (79) - utilizadas no religamento de disjuntores;
- ✓ Relé de protecção diferencial (87) - utilizados para a protecção de transformadores,

geradores e barramentos.

3.17. Sistema de aterramento

Segundo KINDERMANN, 1995, o sistema de aterramento é projectado de modo a produzir, durante o curto-circuito máximo com a terra, numa distribuição no perfil dos potenciais de passo e toque abaixo dos limites de risco de fibrilacão ventricular do coração.

Um choque eléctrico causa vários efeitos e sintomas no ser humano, mas dentre os relativos à tensão de passo e toque o mais importante a considerar é a fibrilacão ventricular.

Um aterramento eléctrico consiste em uma ligação eléctrica de um sistema físico à terra. É constituído fundamentalmente de uma estrutura condutora, que é enterrada, e que garante um bom contacto eléctrico com a terra, chamada eléctrodo de aterramento. Esta ligação eléctrica com a terra é feita para prover a instalação de um potencial de referência e de um caminho de impedância adequada à corrente de falta.

Rede geral de terras

A rede geral de terras é um conjunto interligado formado por:

- Terra de protecção, destinada a contribuir para a segurança das pessoas nas proximidades de um objecto metálico da instalação susceptível de colocação acidental sob tensão em caso de defeito de isolamento;
- Terra de serviço, destinada a influenciar o comportamento da rede em caso de defeito à terra e limitar o potencial dos condutores em relação ao solo;
- Cabos de guarda, para protecção da instalação contra descargas eléctricas atmosféricas directas.

A rede geral de terras é uma terra única, constituída por um circuito de instalação subterrânea e por um circuito de instalação à superfície, ligados entre si, e obedece ao Regulamento *DRE-C13-530 - INSTALAÇÕES AT E MT: Rede geral de terra. Regras de execução*, e ser calculada, no aplicável, de acordo com o especificado no Regulamento *DRP-C13-530. Instalações AT e MT Subestações de Distribuição*.

O dimensionamento da rede geral de terras para a subestação tipo exterior (secção do cabo de terra e dimensão da quadrícula) depende de vários factores, condicionados pela localização da subestação, nomeadamente:

- Da resistividade do solo;

— Da subestação de alimentação da rede AT (corrente de curto-circuito máxima trifásica e fase-terra, duração da corrente de curto-circuito, ...);

— Das características da interligação à subestação de alimentação da rede AT (configuração, material dos condutores, secção, distância, ...).

A rede geral de terras foi dimensionada considerando a resistividade média do solo igual ou inferior a 100 W.m e uma corrente de curto-circuito máxima trifásica e fase terra igual ou inferior a 25 kA com uma duração máxima de 1,5 s na subestação de alimentação da rede AT, sendo a interligação a esta subestação constituída por uma linha dupla de alumínio-aço de 325 mm² com comprimento superior ou igual a 8 km.

Quando alguma destas condições não seja satisfeita é necessário proceder ao redesenho da rede geral de terras, nomeadamente, no que se refere à dimensão da quadrícula a adoptar para o circuito de instalação subterrânea, tendo em atenção todos os factores condicionantes atrás referidos.

A secção do cabo de rede de terras é calculada de acordo com o valor da corrente de curto-circuito fase terra, embora seja prática habitual utilizar para este fim o valor da corrente de curto-circuito trifásico.

A expressão a utilizar para este efeito é:

$$S \text{ [mm}^2\text{]} = I''_{k3X} \sqrt{t_s/\Delta\Theta} \quad (9)$$

Onde:

- $\Delta\Theta$ = Elevação da temperatura admissível no condutor (°C) para o cobre nu $\Delta\Theta = 150^\circ\text{C}$
- t_s é o tempo de duração de defeito [s].
- I''_{kt} é a corrente de defeito fase-Terra [A].

Recomenda-se que o dimensionamento de terras seja feito de acordo com o estabelecido na Norma IEEE Std. 80-2013, com a C1-2015 (IEEE guide for safety in AC Substation grounding).

Os Valores máximos admissíveis das tensões de passo (U_{passo}) e de Contacto (U_{cont}) e da corrente máxima através do corpo humano (I_{ch}), bem como a resistência da rede de terras (R_t) são calculados pelas expressões:

Tensão de passo

$$U_{\text{passo}} = (1000 + 6 \times C_s \times \rho_s) \times 0,116 / \sqrt{t_s} \text{ - para um peso corporal de 50 kg} \quad (10)$$

$$U_{\text{passo}} = (1000 + 6 \times C_s \times \rho_s) \times 0,157 / \sqrt{t_s} \text{ - para um peso corporal de 70 kg} \quad (11)$$

Tensão de contacto

$$U_{\text{cont}} = (1000 + 1,5 \times C_s \times \rho) \times 0,116 / \sqrt{t_s} \text{ - para um peso corporal de 50 kg} \quad (12)$$

$$U_{\text{cont}} = (1000 + 1,5 \times C_s \times \rho) \times 0,116 / \sqrt{t_s} \text{ - para um peso corporal de 70 kg} \quad (13)$$

Resistência da terra

$$R_g = \frac{\rho}{4} * \frac{\sqrt{\pi}}{A} + \frac{\rho}{LT} \quad (14)$$

Onde:

A é área total ocupada pela malha de terra (m²)

C_s é Factor de depreciação da camada superficial do solo, sendo calculado pela expressão:

$$C_s = 1 - 0,09 \times (1 - \rho / \rho_s) / 2h_s + 0,09$$

h_s é a espessura da camada superficial (s)

ρ é resistividade do terreno abaixo da gravilha (Ωm)

t_s é o tempo de duração do defeito (s)

LT é o comprimento total do cabo enterrado, incluindo os eléctrodos de terra (m)

ρ_s é a resistividade superficial do terreno (usualmente a gravilha) (Ω)

Caso não exista camada superficial, então C_s=1 e ρ_s=ρ

Tabela 9: Apresenta valores da Resistividade para diversos tipos de terreno.

Tipo de Solo	Resistividade $\rho(\Omega m)$	Tipo de Solo	Resistividade $\rho(\Omega m)$
Terreno Pantanoso	0 a 30	Solo rochoso nu coberto da relva	1500 a 3000
Lodo	20 a 100	Solo rochoso nu coberto da relva	300 a 500
Terra Vegetal	10 a 150	Calcário mole	100 a 300
Turfa Húmida	5 a 100	Calcário compacto	1000 a 5000
Argila Plástica	50	Calcário Gretado	500 a 1000
Terra calcária ou argila compacta	100 a 200	Xistos	50 a 300
Terra calcária de jurássico	30 a 40	Micaxisto	800
Areia Argilosa	50 a 500	Granitos e grés alterados	1500 a 10000
Areia de Sílica	200 a 3000	Granito e grés muito Alterados	100 a 600
Asfalto	2×10^6 a 30×10^6	Gravilha	≈ 2500
Betão	1×10^6 a 1×10^9		

Os cálculos são interactivos, habitualmente são realizados com recurso a software específico, preconizando se que o cálculo se faça para uma massa corporal de 70 kg.

Conforme referido, o Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (RSSPTS) impõe que a resistência de terra de subestação seja $\leq 1 \Omega$ o que na instalação eléctrica deve ser respeitado.

Embora a norma seja explícita, afirmando que apenas se aplica a subestações exteriores, é habitual utilizá-la igualmente para o cálculo da rede de terras das subestações interiores.

Material usado para ligação à terra

O eléctrodo de ligação à terra com revestimento de cobre possui um revestimento electrolítico de cobre colocado sobre uma camada de níquel.

Este processo assegura uma longa durabilidade através de uma ligação molecular entre a camada de cobre e o núcleo de aço. A Pentair recomenda eléctrodos de ligação a terra com

revestimento de cobre porque a camada de cobre não descola nem rasga durante a colocação do mastro, nem parte se o mastro dobrar.

O núcleo duro de aço de carbono tem boas características para a colocação em profundidade. Os eléctrodos de ligação a terra com revestimento de cobre têm uma elevada resistência a corrosão e oferecem um percurso de baixa resistência até a terra.

Os elementos principais de uma malha de terra são: eléctrodos de terra, condutores, conexões

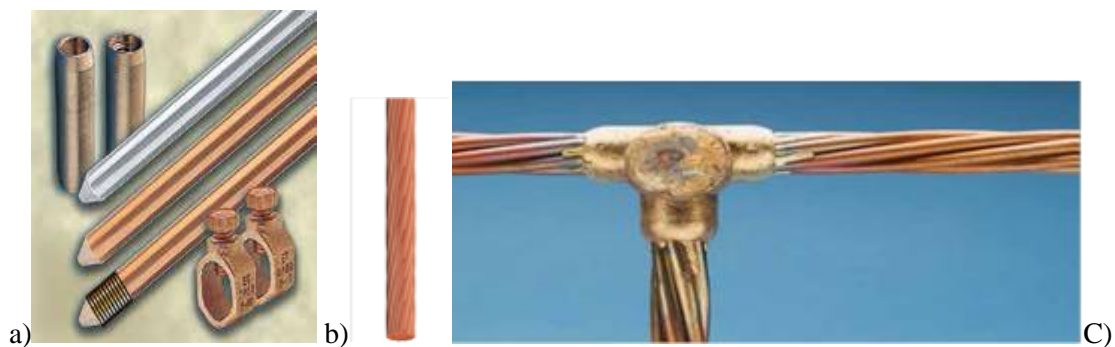


Figura 17: Material aplicado na rede de terra

Fonte: www.nvent.com Pentair Sistemas e produtos para Aterramento.

- a) Electrodes de Terra de cobre, e os respectivos Acessórios (uniões e abracadeiras)
- b) Cabo de cobre duro não revestido, formado por vários fios cableados.
- c) As conexoes deve ser por Soldadura Cadweld.

A SOLDADURA CADWELD

Transporta mais corrente do que o condutor.

- Não se deteriora com a idade.
- É uma ligação molecular que elimina qualquer risco de desprendimento ou corrosão.
- Resiste a repetidas falhas de corrente
- É possível controlar a qualidade apenas através de uma inspeção visual.

Transformador para instrumentação (medidas).

Os transformadores de medida destinam-se a transformar os valores elevados de corrente e de tensão em valores adequados para serem registados pelos contadores de energia, relés de

protecção e outros aparelhos de medida que se encontrem na subestação. Desta forma, as medidas são feitas com elevados níveis de precisão e baixos níveis de perdas.

Devem ser dimensionados para não saturarem antes do funcionamento correcto dos relés de protecção que lhes são conectados. Contrariamente, os núcleos dos TC previstos para alimentar os aparelhos de medida devem apresentar uma saturação rápida do seu circuito magnético de forma a proteger os equipamentos. Na sua função essencial de alimentação dos relés de protecção e de equipamentos de medida, permitem de acordo com:

- Isolar ou separar da alta tensão os circuitos e aparelhos de medida e de protecção;
- Proteger o pessoal da exploração;
- Utilização de níveis de isolamento e de correntes compatíveis com os relés e outros aparelhos de utilização;
- Evitar perturbações electromagnéticas das correntes elevadas e reduzir para valores admissíveis as correntes de curto-circuito;
- Utilização de níveis de isolamento e de correntes compatíveis com os relés e atribuição de valores correspondentes ao calibre dos aparelhos de utilização;
- Obter intensidades de correntes ou valores de tensão proporcionais às que se quer medir ou vigiar, transmitindo-os aos aparelhos adequados.

Transformadores de corrente

Segundo Caminha, Amadeu Casal (1977) exprime que em razão das elevadas correntes envolvidas em um SEP, é necessária a redução dessas magnitudes com a finalidade de monitorar o sistema a partir de valores suportáveis pela aparelhagem, tais como medidores e relés de protecção. Neste sentido, os TC's são transformadores de instrumentos que permitem aos equipamentos de medição e protecção ligados em seu secundário o funcionamento adequado sem a necessidade de correntes nominais de acordo com a corrente de carga do circuito ao qual estão ligados.

Segundo o guia de IEEE para aplicação de TC's em relés de Protecção (6) define estes dispositivos como sendo transformadores de instrumentação que possuem o enrolamento primário conectado em série com o condutor que carrega a corrente que será medida ou controlada.

Os transformadores de corrente são comumente utilizados para sensoriamento de correntes eléctricas em sistemas de potência de corrente alternada. Nestes sistemas as correntes normalmente são altas e os TC's reduzem seus níveis para os dispositivos de protecção e medição actuarem. Estes dispositivos podem ser encontrados em relés de protecção, disjuntores electrónicos, conversores de frequência, reguladores de tensão, ou, ainda, em qualquer lugar onde se deseja manusear uma corrente eléctrica alternada.

Para determinar os ajustes de um rele de protecção diferencial, digital instalado no transformador de 60 MVA tensões nominais de 110/33 kV de acordo com a figura X o transformador não tem sistema de ventilação forçada e é dotado de seguintes Tapes 110-120 kV, o lado de AT (110 kV) está ligado em triângulo e o lado de MT (33 kV) esta ligado em estrela com o ponto neutro aterrado, utilizar um rele digital fabricação Ziv de 5 A de corrente nominal, serão utilizados os transformadores de corrente 10 a 200 A.



Figura 18: Transformador de Corrente 36 kV-800 kV

Fonte: ABB

Transformadores de potência Capacitivos

Transformador de Potencial (TP) é um equipamento que possui dois circuitos, um denominado primário e outro secundário isolados electricamente um do outro, porém acoplados magneticamente que são utilizados para reduzir a tensão a valores baixos com as seguintes finalidades:

- Reproduzir com fidelidade a tensão do circuito primário no secundário;
- Isolar electricamente o circuito de potência;
- Promover a segurança ao medir tensão.

Os transformadores de corrente devem fazer a transformação de forma precisa e sem entrar em saturação. Um dos factores a ter em atenção no seu dimensionamento é o valor da

resistência do enrolamento do secundário, pois este influencia a tensão de saturação e a carga total que se liga a ele.

“TRANSFORMADOR DE POTENCIAL”

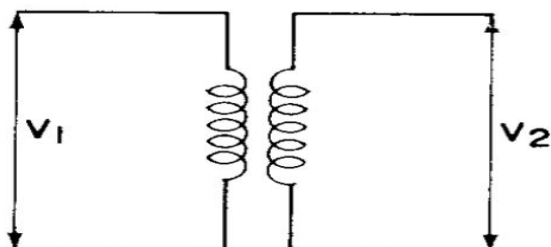


Figura 19: Transformador de potencial

Fonte: Autor

Transformadores de Tensão TT

É um transformador de medida no qual a tensão secundária é, em condições normais de utilização, praticamente proporcional à tensão primária e desfasada em relação a essa de um ângulo aproximadamente zero, para um sentido apropriado das ligações. As características eléctricas fundamentais do secundário nos TT são: a razão de transformação, tensões nominais, potência secundária de precisão, classe de precisão. Estas são as características com relação directa com o comportamento das protecções.

Os Transformadores de Tensão também têm de ser dimensionados com base na norma IEC61869-3, que especifica que os seus núcleos de medida e protecção com carga nominal entre 10 e 100 VA, devem conter uma carga real entre 25% e 100% da carga nominal.



Figura 20: Transformador de Tensão 72,5 – 420 kV da ABB

Fonte: ABB.

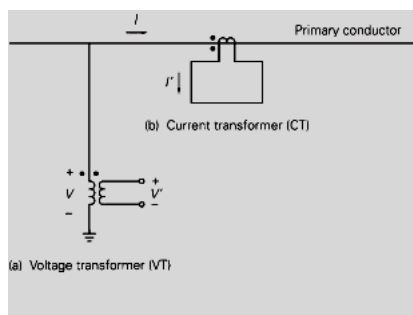


Figura 21: Representação esquemática para TP e TC

Fonte: (J.Duncan glover, Mulukutla S, Thomas J.;2008).

3.18. Cabos de alta tensão e de média tensão, cabos de força

Linha de alta tensão

As linhas de AT são utilizadas para estabelecer um circuito eléctrico e podem ser usadas para interligar duas instalações AT (subestações ou postos de seccionamento AT), para alimentar clientes de AT ou para escoar a energia eléctrica de um produtor de energia.

3.19. Descrição Geral de Subestação

O transformador de Potência a ser dimensionado e instalado.

Será instalado no parque do espaço destinado a reserva o transformador de 60 MVA com escalão de 110 kV, isolado a Ar, composto por um interbarra, e painel onde serão instalados todos os Equipamentos de Alta Tensão. Também no parque exterior serão instalados o transformador de Potencia AT/MT, os equipamentos complementares de MT, tais como, os transformadores de Serviços Auxiliares, os descarregadores de sobretensões e as impedâncias limitadoras da corrente de defeito a terra.

No edifício de comando ficará instalado o equipamento principal de MT, compostos por barramentos, em quadros metálicos, e sistemas de Protecção, comando e controlo (integrados em armários próprios para o efeito).

Os Quadros Metálicos de Média Tensão (QMMT) serão de tipo blindado, estando os equipamentos de MT e BT dispostos no interior de compartimentos distintos e complementares fechados em todas as suas faces por divisórias metálicas.

A elaboração do Projecto, teve em consideração a regulamentação, nomeadamente:

Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento (RSSPS) publicado pelo Decreto-lei nº 42895, 31 de Marco de 1960 alterado pelo decreto regulamentar nº 14/77, de 18 de fevereiro.

Directivas europeias transpostas para o nosso enquadramento legal pelos Decreto-lei nº 441/91, de 14 de Novembro e Decreto-lei nº 155/95, de 1 de Julho, Regulamentada pela portaria nr 101/96, de 3 de Abril, Regras Técnicas de Instalações eléctricas de baixa Tensão

Método de Validação da rede geral de terras de Subestações pelo controlo das tensões de contactos e de passo, em conformidade com o CENELEC Harmonization Document (HD) 637 S1:1999.

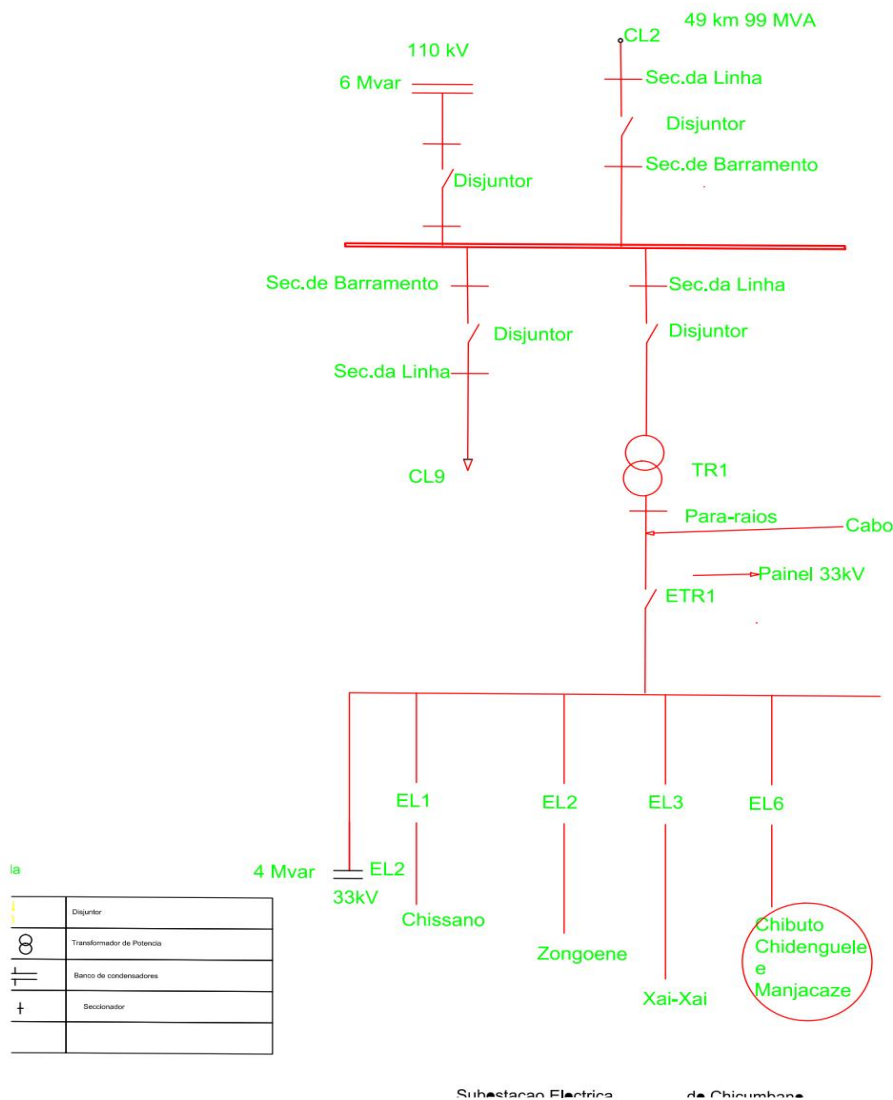


Figura 22: Diagrama de Transformador existente:

Fonte: Autor.

Dimensionamento de Transformador

Seleção de Transformador a instalar

O que nos motivou a seleccionar este transformador com potência de 60 MVA, é que o existente tende a atingir a ponta máxima, com o plano de governo que é electrificar a 100% os moçambicanos até 2030, Surgimento de novo projecto da mina de Manjacaze 10 MVA, Back up da mineradora Dingsheng (40 MVA) solicitada e o futuro Porto Doca em Chongoene 10 MVA.

Cálculos

Determinação das correntes nominais do Primário e do Secundário

Para determinação da corrente Primária usamos a expressão 15:

$$I_{np} = \frac{S}{\sqrt{3}xV} \quad (15)$$

$$I_p = \frac{60x10^6}{\sqrt{3}x110x10^3} \quad I_{np} = 314,91 \text{ A} \quad RTC = 400/5 = 80$$

Para determinação da corrente Secundária usamos a expressão 16:

$$I_{ns} = \frac{S}{\sqrt{3}xV} \quad (16)$$

$$I_s = \frac{60x10^6}{\sqrt{3}x33x10^3} \quad I_{ns} = 1049,72 \text{ A} \quad RTC = 1200/5 = 240$$

Dimensionamento dos transformadores de correntes

Para dimensionamento da corrente nominal do TC ligado em estrela (Y), no primário do transformador Primária usamos a seguinte expressão :

$$I_p \cdot T_{CP} = \frac{I_p}{RTC} \quad (17)$$

$$I_p T_{CP} = \frac{314,91}{400/5}$$

$$I_p \cdot T_{CP} = 3,94 \text{ A}$$

$$I_p \cdot T_{cp} = 400 \text{ A} > I_p = 314,91 \text{ A} \quad RTC = 400/5 = 80$$

Corrente nominal de Primário de TC ligado em Delta (Δ), transformador usamos a equação (18)

$$I_s \cdot T_{cs} = 1200 \text{ A} > I_{ns} = 1049,72 \text{ A} \quad (18)$$

$$RTC = 1200/5 = 240$$

Corrente do Secundário dos Tc's

Corrente do Secundário do TC ligado em estrela (Y) usamos a equação (19)

$$I_p \cdot T_{cs} = \frac{I_p}{RTC} \quad (19)$$

$$I_s' T_{cs} = \frac{\sqrt{3} \cdot 1049,72}{1200/5} \quad I_s' T_{cs} = 7,5 \text{ A}$$

O erro percentual na relação de transformacao pode ser calculado através da expressão 20:

$$\epsilon_p = \frac{I_p' T_{cs} - I_p' T_{cs}}{I_s T_{cs}} * 100\% \quad (20)$$

A protecção de sobre corrente do lado da AT

Determinação de Tapes Lado de AT

Posição de tapes médio 110 kV expressão 21:

$$I_{np} = \frac{S}{\sqrt{3} \cdot V} \quad (21)$$

$$I_p = \frac{60 \times 10^6}{\sqrt{3} \cdot 110 \times 10^3} \quad I_{np} = 314,92 \text{ A}$$

Posição de Tape Máxima 123 kV expressão 22:

$$I_{amax} = \frac{P}{V \cdot \sqrt{3}} \quad (22)$$

$$I_{amax} = \frac{60000}{123 \cdot \sqrt{3}} = 281,63 \text{ A} = 282 \text{ A}$$

Posição e tapes mínimo 100 kV

$$I_{amin} = \frac{S}{V \cdot \sqrt{3}} \quad (23)$$

$$I_{amin} = \frac{60000}{108 \cdot \sqrt{3}} = 320,75 \text{ A}$$

Os transformadores de corrente estão conectados em triângulos

$$I_{ab} = \sqrt{3} \times 1050 = 1818,6 \text{ A.}$$

A relação de transformação no secundário $RTC_b = 2000/5 = 363,73 = 400$

4. Projecto Eléctrico da instalação de Transformador de Potência

4.1. Cálculo de Correntes em Regime contínuo

Para Iniciar o projecto eléctrico, e necessário realizar o cálculo das correntes nos níveis de tensão de 110 kV e 33 kV, em funcionamento contínuo regime contínuo.

Corrente do transformador de Potência do lado de 110 kV (I_s) e corrente no painel de saída linha transformador do lado de 33 kV. Conforme os parâmetros técnicos principais para transformador imerso em oleio.

Para tal recorreremos na conversão das Magnitudes eléctricas em valores calculados anteriores por unidade (p.u) para simplificar os cálculos.

Na tabela a seguir são apresentados os valores de base considerados, isto é, a Potência Aparente de base (S_b) e as tensões de base (U_b), note se ainda que como cada barramento de 33 kV apresenta os mesmos elementos com as mesmas potências nominais podemos considerar um esquema mais reduzido da rede a converter em valores por unidade (p.u).

A impedância característica, também conhecida por impedância percentual ou tensão de curto-circuito percentual e a parte da tensão nominal que, quando aplicada ao enrolamento primário, é capaz de fazer circular a corrente nominal no secundário quando está curto circuitado que e calculada com a expressão 24.

$$Z = \frac{V_{cc}}{U_{np}} \quad (24)$$

Sendo:

Z-impedância característica do Transformador

V_{cc}- Tensão do Primário suficiente para fazer circular no secundário a corrente nominal no secundário quando este esta curto-circuitado.

V_{np}- Tensão nominal do primário.

4.2. Cálculos correntes em Regime de Curto-Circuito

Depois de realizados os cálculos da corrente em regime contínuo é necessário verificar as correntes para a situação de regime de Curto-Circuito usando Expressão 25:

$$I_{cc} = \frac{I_{ns}}{Z} \quad (25)$$

Onde:

I_{cc}- Corrente de curto-circuito;

I_{ns}- Corrente nominal do secundário;

Z- Impedância característica do Transformador.

A corrente de curto-circuito previsível máxima na entrada de transformador de Chicumbane e de 31,5 kA e os equipamentos da subestação deverão ser projectados para suportar correntes superiores a este valor.

Lado de Média Tensão

É necessário o conhecimento geral da toda Rede.

Transformador 33/0,4kV

Tabela 10: Características de Transformador de Potência

Potência Nominal (MVA).	Tensão no AT (kV)	Tensão MT (kV)	Símbolo de ligação	Corrente sem carga (%)	Corrente de lado AT
63	110	33	Ynd11,ynyno ,outros	0,39 A	314,91 A
HV- intervalo de toque.	Impedância de Curto	Perdas da Carga em vazio (kW)	Perdas em carga (kW)		Corrente de lado Media Tensão
±8x1,25%	10-14	42,6	174,3		1049,72 A

Cabos de Média Tensão

Cabo XHI1AV

Características de condutor

Condutor – Cobre Trançado classe 2

Tela de condutor-semi condutor (polietileno reticulado).

Isolamento- XLPE (Polietileno reticulado).

Tela de isolamento_Semi-condutivo (polietileno reticulado).

Tela Metálica tela de fita de cobre

Bainha interna – PVC (polietileno de vinilo)

Armadura – Duas fitas de alumínio aplicadas helicoidalmente.

Bainha- PVC (polietileno de vinilo) Tipo ST2

Cabo Monopolar Cobre XHI1AV

A Intensidade Máxima Admissível em regime de curto-circuito.

Na situação de curto-circuito os condutores são percorridos por correntes de valor muito superior aqueles para os quais estão dimensionados em regime permanente.

No entanto, a existência obrigatória de dispositivos de protecção adequados nas canalizações limita o tempo de exposição do sistema neste regime a alguns segundos, limitando também a temperatura máxima atingida.

Para se calcular a secção mínima que consegue suportar, em termos térmicos a corrente de curto-circuito durante o tempo máximo admissível considera-se que o calor se dissipa unicamente pelo condutor (regime adiabático) e usa-se um método aproximado que resulta na seguinte expressão 25 :

$$S_{\min} = I_{cc} \times \frac{\sqrt{t}}{K} \quad (\text{mm}^2). \quad (25)$$

Onde:

S_{\min} é secção mínima de condutor, em mm^2

I_{cc} é Corrente de curto-circuito em Ampères

t é duração de curto-circuito (inferior ou igual ao tempo de corte dado positivo de protecção), em segundos ;

K é constante, função do material do condutor, do material isolante e das temperaturas iniciais e final do curto-circuito.

Quadro de valores de K , considerando que no início do curto-circuito o condutor está a temperatura máxima admissível do material.

Tabela 11: Temperatura máxima admissível do material.

Material do condutor	Material Isolante	
	PVC	PEX
Cobre	115	143
Alumínio	76	94

A saída de Transformador de potência de 110/33kV para alimentação de painel de entrada de MT será através de 3*XHI01AV, XHI1AV 1 x300 mm².



Figura 23: Cabo de média tensão XHI1AV

Fonte: www.elandcables.com

Tabela 12: Dimensões dos cabos

Dimensões dos cabos

DIMENSIONS 18/30kV

ELAND PART NO.	NO. OF CORES	NOMINAL CROSS SECTIONAL AREA mm ²	NOMINAL DIAMETER mm		NOMINAL WEIGHT kg/km
			Over Insulation	Overall	
MP1730KV01050	1	50	26.0	39.0	1890
MP1730KV01070	1	70	28.0	41.0	2180
MP1730KV01095	1	95	29.5	43.0	2500
MP1730KV01120	1	120	31.5	44.5	2835
MP1730KV01150	1	150	32.5	46.0	3125
MP1730KV01185	1	185	33.5	47.5	3550
MP1730KV01240	1	240	36.5	50.5	4245
MP1730KV01300	1	300	39.0	53.5	4985
MP1730KV01400	1	400	42.0	56.5	6040
MP1730KV01500	1	500	45.0	59.5	7060
MP1730KV01630	1	630	51.0	63.5	8875

Fonte: www.elandcables.com

Características electricas de Cabo

Tabela 13: Características eléctricas de Cabo

ELECTRICAL CHARACTERISTICS 18/30kV

NO. OF CORES	NOMINAL CROSS SECTIONAL AREA mm ²	CURRENT CARRYING CAPACITY Amps		CONDUCTOR MAXIMUM SHORT-CIRCUIT CURRENT, T=1S kA	MAXIMUM CONDUCTOR DC RESISTANCE AT 20°C ohm/km	INDUCTANCE mH/km	CAPACITANCE µF/km
		In air	Buried				
1	50	248	230	7.2	0.3870	0.48	0.14
1	70	307	281	10.0	0.2680	0.45	0.16
1	95	372	335	13.6	0.1930	0.43	0.18
1	120	429	382	17.2	0.1530	0.41	0.19
1	150	484	426	21.5	0.1240	0.40	0.20
1	185	549	479	26.5	0.0991	0.39	0.21
1	240	648	555	34.3	0.0754	0.37	0.24
1	300	744	627	42.9	0.0601	0.36	0.26
1	400	858	710	57.2	0.0470	0.34	0.29
1	500	985	801	71.5	0.0366	0.33	0.31
1	630	1 126	900	90.1	0.0283	0.32	0.34

Fonte: www.elandcables.com

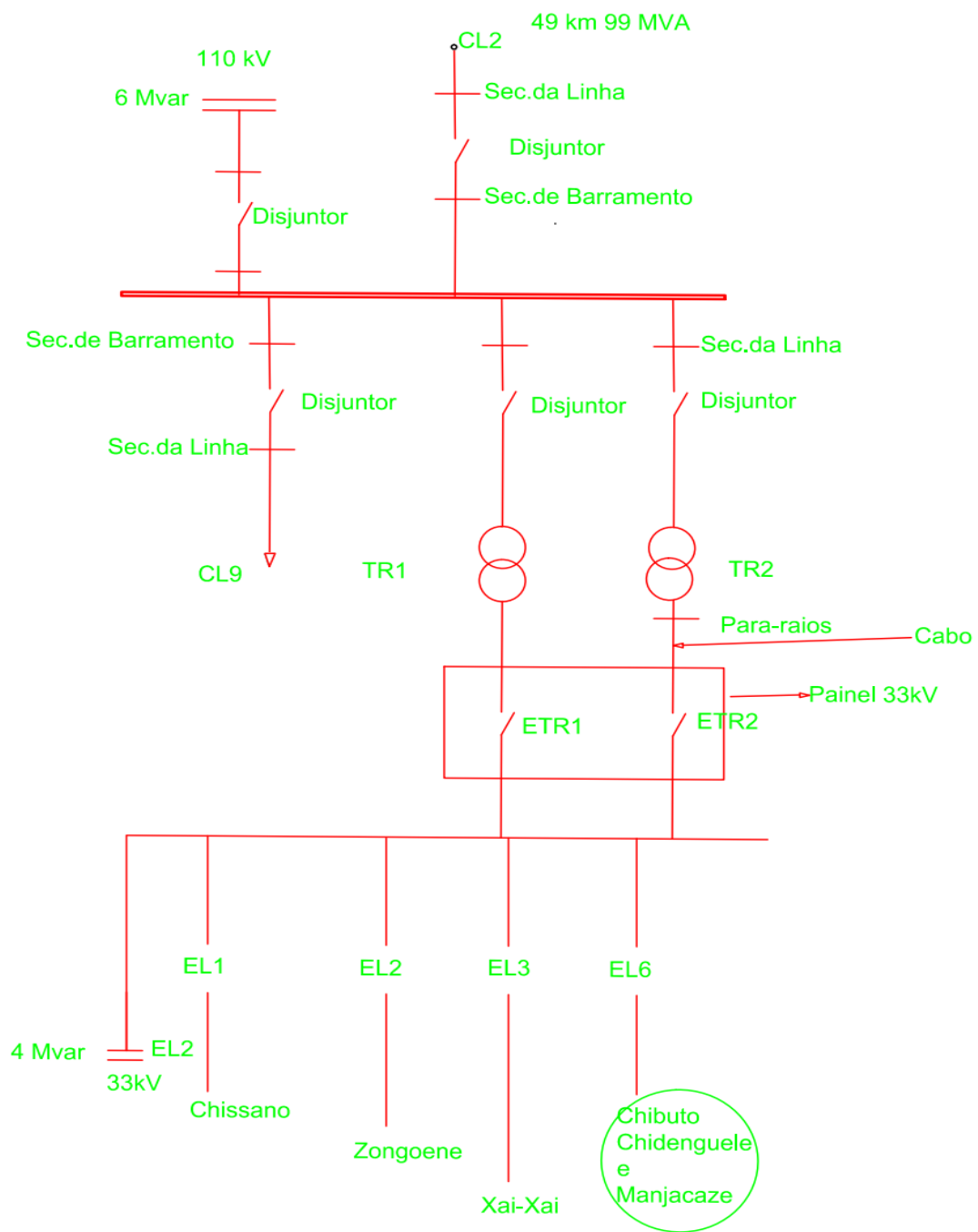


Figura 24: Futuro diagrama painel da subestação de Chicumbane

Fonte: Autor

4.3. DESCRIÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

4.4. Localização geográfica e caracterização da área de estudo

A área de estudo deste trabalho será na Subestação de Chicumbane com uma área total de (10000) m² situado no Distrito de Limpopo localizado na parte sul da Província de Gaza com coordenadas 55554/7236935 ou latitude -24,9820283 longitude 33,5503368.



Figura 25: Mapa de Chicumbane

Fonte: UTM GEO MAP

4.5. Cronograma

Tabela 14: Cronograma das actividades de Monografia.

Período	2022				2023												2024								
	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	maio	Jun.	Jul.	Ag.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai	Jun	Jul.	Ag.	Set
Etapas																									
Entrega do Anteprojeto																									
Pesquisa de orientação		x	x																						
Pesquisa ampla de temas e areas				x	x																				
Revisão preliminar da monografia						x																			
Elaboracao de Projecto						x																			
Difinicao de instrumentos de coletas de dados						x	x	x																	
Coletas de dados									x	x	x	x													
Apuracao e analise de dados													x	x											
Categorizacao de dados															x	x	x								
Construção de monografia																		x	x	x	x				
Revisao geral do trabalho																						x	x		
Deposito do TCC																								x	
Defesa do TCC																									x

Fonte: Autor

4.6. Orçamento da Pesquisa

Análise de viabilidade financeira e económica

A viabilidade económica e financeira referente a dimensionamento e instalação de novo transformador de Potência será realizada baseada nos custos referentes a aquisição do material e mão-de-obra conforme levantamento realizado (Tabela número 15) em anexo.

Quanto ao tempo de vida útil do transformador, partir-se-á de pressuposto que levará Pouco tempo pra a sua total substituição.

Para que seja analisada a viabilidade financeira do novo transformador serão utilizados os seguintes métodos: o Valor Presente Liquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR). Assim somente após a aplicação de tais métodos e análise dos resultados encontrados é que definirá se a instalação do novo transformador será um bom investimento ou não.

Para análise dos custos necessário da instalação do transformador foi utilizada a tabela nº 15 a qual demostra o valor da mão-de-obra especializada por instalação do mesmo, além do levantamento dos materiais necessários.

ORÇAMENTO

O custo total de projecto é 28292272,40 MT (Vinte Oito Milhões, duzentos noventa e dois mil duzentos setenta dois meticais e quarenta centavos).

Tabela 15 : Orçamento

PROPOSTA FINANCEIRA - INSTALAÇÃO DE UM TRANSFORMADOR DE POTENCIA 60MVA, 110/33kV . NA SUBESTÂÇÃO DE CHICUMBANE					
PRES		UND	QTD	V. UNIT.(MT)	TOTAL (MT)
Fornecimento e Instalação					
1	Transformador de Potencia de 60MVA/110/33kV	un	1	19,000,000.00	19,000,000.00
3	Transformador de potencial	un	3	110,000.00	330,000.00
4	Isoladores de 110kv	m	3	89,832.00	269,496.00
5	isoladores de 33kv	m	3	2,589.00	7,767.00
6	barramento mt	un	1	468,000.00	468,000.00
7	Painel de ABB de Media tensão UniGear ZS2 Digital	un	1	319,150.00	319,150.00
8	painel de chegada de transformador de potencia	m	1	1,300,000.00	1,300,000.00
9	DISJUNTOR SF6 110KV PILAR DE PORCELANA AT PARA EXTERIOR INTERR	un	1	1,259,937.00	1,259,937.00
10	Terra Completa de Serviço	Kit	10	5,928.00	59,280.00
11	CABO MT	M	60	3,780.00	226,800.00
12	Terra Completa de Protecção	Kit	10	3,246.00	32,460.00
Trabalhos Civis					
13	Trabalhos Civis	un	1	158,000.00	158,000.00
MÃO DE OBRA					
14		QTD	H	SAL./HORA	TOTAL (MT)
15	Engenheiro Eléctrico	3	180	1,700.00	306,000.00
16	Técnico Médio	6	120	1,000.00	120,000.00
17	Técnicos Basicos	4	120	300.00	36,000.00
TRANSPORTE					
19	Camiao Grua	6	40	6,000.00	240,000.00
20	Carrinha	1	30	1,900.00	57,000.00
PROJECTO ELÉCTRICO					
22	Elaboração do Projecto Eléctrico	Mu	1	200,000.00	200,000.00
SUB-TOTAL GERAL					24,389,890.00
IVA 16%					3,902,382.40
TOTAL GERAL					28,292,272.40

Tabela 16 : Cálculos para análise de viabilidade de projecto

Investimento	28,292,272.40	
Taxa de Atratividade	13%	
Ano	Fluxo de Caixa	Saldo
0	-28,292,272.40	-28,292,272.40
1	10,340,643.36	-17,951,629.04
2	10,684,770.45	-7,266,858.59
3	9,863,976.50	2,597,117.91
4	8,345,987.25	10,943,105.16
5	7,345,987.25	18,289,092.41
VPL	5,168,570.33	
TIR	21%	
índice de Lucratividade	1.65	
Tempo de Payback simples	1.756932737	
Soma VPs(ano1 a5)	46,581,364.81	

Com base a tabela nº 16 nos ajudou analisar VPL,TIR,IR e Payback.

Achamos que o projecto é viável visto que:

Valor Presente líquido (VPL) é positivo.

A Taxa Interna de Retorno (TIR) é superior a taxa de Atratividade.

Índice de Lucratividade (IR) superior a 1 que significa que o projecto é lucrativo e gera valores para os investidores.

Pay back é curto e geralmente mais favorável, pois indica que o investimento será recuperado mais rapidamente.

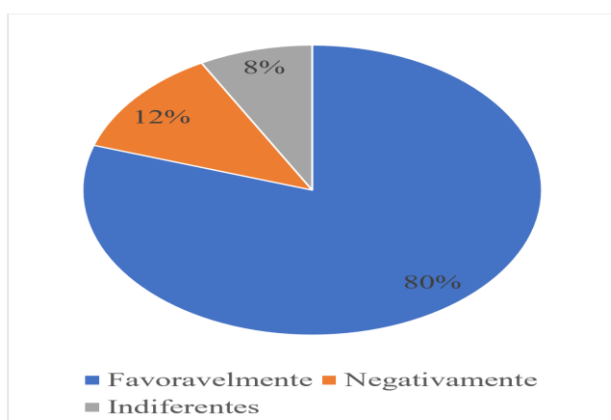
CAPITULO 5: APRESENTAÇÃO, DISCUSSÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

5.1. Configuração da pesquisa aplicada

Elaboradas as perguntas de pesquisa e levadas ao campo de um total de (09) apuramos:

Dos questionários colocados aos Gestores e aos Trabalhadores simples.

80% dos mesmos foram respondidos positivamente, 12% foi respondido negativamente e 8% indiferente.



5.2. RESULTADOS OBTIDOS

Analizadas as respostas apesar de algumas votar contra, achamos que devemos continuar com o dimensionamento e instalação de transformador.

5.3. CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Este trabalho de conclusão de curso abordou de forma detalhada o processo de dimensionamento e instalação de um transformador de potência, desde análise de pontas máximas até as etapas finais de montagem.

A importância do estudo foi evidenciada pela necessidade de garantir a confiabilidade e segurança de sistema eléctrico, bem como a optimização do uso da energia.

Aplicação prática de conhecimento adquirido permite que os profissionais da área eléctrica realizem projectos de instalações eléctricas de forma segura e eficiente.

A escolha correta do transformador de potência, dimensionamento adequado e instalação em conformidade com as normas técnicas são fundamentais para evitar problemas e garantir o bom funcionamento do equipamento.

Resumindo o estudo de dimensionamento e instalação de transformador de potência é um elemento crucial para a formação de engenheiros e técnicos eléctricos, contribuindo para o desenvolvimento deste mas ectico seguros efeicientes. A importancia de seguir normas e regulamentações técnicas, assim como a necessidade de treinamento e actualização profissional, foram destacadas ao longo do trabalho, reforçando a relevância deste tema para a prática profissional.

Impacto social, este dimencinamento e instalação irá reduzir consumo de energia eléctrica e melhoria da qualidade vida.

Sugestões:

Redimensionar a linha de modo a suportar a futura demanda.

Anexo

Condutores de cobre de secção tubular, temperatura ambiente de 35°C, temperatura do condutor 65°C; com corrente alternada, distância entre centros de fases $\geq 2,5$ x diâmetro exterior.

Diâmetro exterior mm	Espes- sura da parede mm	Secção mm ²	Peso ¹⁾ kg/m	Material ²⁾	Corrente permanente em A c.c. e c.a. até 60 Hz			
					no interior pintado	nú	no exterior pintado	nú
20	2	113	1.01	E-Cu F 37	384	329	460	449
	3	160	1.43	E-Cu F 37	457	392	548	535
	4	201	1.79	E-Cu F 30	512	438	613	599
	5	236	2.10	E-Cu F 30	554	475	664	648
	6	264	2.35	E-Cu F 25	591	506	708	691
32	2	188	1.68	E-Cu F 37	602	508	679	660
	3	273	2.44	E-Cu F 37	725	611	818	794
	4	352	3.14	E-Cu F 30	821	693	927	900
	5	424	3.78	E-Cu F 30	900	760	1020	987
	6	490	4.37	E-Cu F 25	973	821	1100	1070
40	2	239	2.13	E-Cu F 37	744	624	816	790
	3	349	3.11	E-Cu F 37	899	753	986	955
	4	452	4.04	E-Cu F 30	1020	857	1120	1090
	5	550	4.90	E-Cu F 30	1130	944	1240	1200
	6	641	5.72	E-Cu F 25	1220	1020	1340	1300
50	3	443	3.95	E-Cu F 37	1120	928	1190	1150
	4	578	5.16	E-Cu F 30	1270	1060	1360	1310
	5	707	6.31	E-Cu F 30	1410	1170	1500	1450
	6	829	7.40	E-Cu F 25	1530	1270	1630	1570
	8	1060	9.42	E-Cu F 25	1700	1420	1820	1750
63	3	565	5.04	E-Cu F 30	1390	1150	1440	1390
	4	741	6.61	E-Cu F 30	1590	1320	1650	1590
	5	911	8.13	E-Cu F 30	1760	1460	1820	1750
	6	1070	9.58	E-Cu F 25	1920	1590	1990	1910
	8	1380	12.3	E-Cu F 25	2150	1780	2230	2140
80	3	726	6.47	E-Cu F 30	1750	1440	1760	1690
	4	955	8.52	E-Cu F 30	2010	1650	2020	1930
	5	1180	10.5	E-Cu F 30	2230	1820	2230	2140
	6	1400	12.4	E-Cu F 25	2430	1990	2440	2340
	8	1810	16.1	E-Cu F 25	2730	2240	2740	2630
100	3	914	8.15	E-Cu F 30	2170	1770	2120	2020
	4	1210	10.8	E-Cu F 30	2490	2030	2430	2320
	5	1490	13.3	E-Cu F 30	2760	2250	2700	2580
	6	1770	15.8	E-Cu F 25	3020	2460	2950	2820
	8	2310	20.6	E-Cu F 25	3410	2780	3330	3180
244								

Fonte: Tabela 6-35 do MIEBBC.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABB Subestações, Componentes Principais de uma Subestação.
2. António Carlos Gil, (2006). Como elaborar projecto de pesquisa 4ª edição.
3. Ana Fonseca Ramos Coimbra, (2015). Relatório de Estágio para obtenção de grau de Mestre em engenharia electrónica.
4. ANTÓNIO FERNANDO DE SOUZA, (2002). Sistema para Monitoração da Operação de Chaves Seccionadoras de Alta Tensão Baseado na Análise das Correntes do Motor de Accionamento. Dissertação de Mestre
5. ARAMIS TISOTT, (2011). Estudo de Uso de Barramentos Rígidos em Subestações. Monografia
6. Bruno Patrício da Silva, (2009). Uma breve introdução a teoria e ensaios básicos em Laboratório. Conclusão de Curso de graduação de engenharia Eléctrica.
7. Cleber Jandir dos Santos Darci Cidade Júnior, (2012). Análise de falha de sistema supervisorio de unidades geradores hidráulicas devido a surtos de descargas atmosféricas. 13 de 10 de 2022 21:47
8. Cotrim, Ademaro A.M.B. Instalações Eléctricas 5ª Ed.Spar Pearson
9. Caminha, Amadeu Casal, (1997). Introdução a protecção dos sistemas eléctricos, São Paulo.
10. Catálogo Siemens SIP- Ediction No. 8/8.1 Relé Digital.
11. Daniel Ribeiro Mamede, João Mamade Filho, (2005). Protecção de Sistemas Eléctricos de Potência.
12. Gustavo Luiz Castro de Oliveira Muzy, (2012). Subestações Eléctricas Monografia
13. Gonçalves, Renato Masago, (2012). Guia de projecto para Subestação de Alta tensão.
14. Geraldo Kindermann Aterramento.
15. Hélder Jorge Duarte Faria, (2009). Cálculo de Barramento nas Subestações.
16. Heck, Isabel Schreiner, (2017). Cálculo de esforços em barramentos flexíveis causados por correntes de curto-circuito.20 de Abril de 2021 17:49
17. João Mamede e Daniel Filho. Instalações eléctricas Industriais 7ª Edição.
18. José Antenor, Helmo Morales Paredes, João Inácio Yutaka Ota e Sigmar Maurer Deckmann. Electrónica de Potência para geração, Transmissão e Distribuição de Energia Eléctrica.
19. Jorge Pedro Lourenço Gonçalves, (2017). Estudo do Projecto Eléctrico de uma Subestação Elevadora. Dissertação de Mestre.
20. J.Duncan Glover, Mulukutla S, Thomas J.; (2008). Power system Analysis and design.
21. Lakatos & Marconi - Fundamentos de Metodologia Científica 5ª edição.
22. Lakatos e Marconi, (2007). Técnicas de pesquisa 6ª edição

23. Manuel Bolotinha Conceitos de Subestações de Muito Alta, Alta e Média Tensão fascículo 5 - Cálculo e Dimensionamentos.
24. Manuel Bolotinha, (2019). Subestação- Projecto, construção, fiscalização- 2a edição.
25. Mário Augusto Caetano dos Santos. Diagnóstico de Pára-raios de óxido de zinco de Alta-Tensão mediante emprego de Lógica para consistente anotada, Dissertação de mestre.
26. Monteiro, Paulo Roberto Duailibe. Eficiencia Energética,
27. Manzini Eduardo José, (2003). Entrevista Semi- estruturada Analise de objectivos e Roteiros.
28. National Design Especification engenharia, (2009). <https://dspace.sti.ufcg.edu.br>.13 de Agosto 2023 11:33.
29. PATRÍCIA CALS DE OLIVEIRA, (2001). Transformadores para Instrumentos Dissertação de Mestrado.
30. Paulo Roberto Duailibe Monteiro, (2023). Introdução a subestação e seus principais equipamentos.
31. RODRIGO OLIVEIRA RODRIGUES, (2016). ESTUDO DE IDENTIFICAÇÃO E ANÁLISE DE SUPERAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE CORRENTE 18:04 dia 07/05/2021
32. Robert.L.Boylestad, Pearson, (2012). Capacitores Analise de circuito capitulo 10.
33. Richarrdson (1999), Métodos e técnicas de pesquisas.
34. Stephen, D. Umans. Maquinas electricas de Fitzgerald e Kingsley 7a edição.
35. Simone, Gilio Aluísio, (1998). Transformadores. São Paulo: Érica.
36. Ulisses Chemin Netto, (2008). Dissertação, Aplicação de controlo supervisão distribuídas em subestações de energia eléctrica através do uso de Relés digitais de protecção.
37. KPI EDM (Key Perfomance Indicator).

38. Meister, André, (2005). Modelagem de varistores de óxido de zinco para estudos de coordenação de isolamento. <http://hdl.handle.net/10183/169236>
39. <http://www.repositorio.ufc.br/handle/riufc/35599>
40. <https://br.linkedin.com/company/pronext-engenharia>
41. <https://br.linkedin.com/company/pronext-engenharia>
42. www.nvent.com Pentair Sistemas e produtos para Aterramento
43. www.elandcables.com

Referências Legislativas

- ❖ Regulamento de Segurança de Subestações e Postos de Transformação e Seccionamento publicado pelo Decreto Lei n.42895, 31 de Marco de 1960 e respectivas alterações;
- ❖ Directivas Europeias Transpostas para o nosso enquadramento legal pelos Decreto Lei nr 441/91, de 14 de Novembro e Decreto Lei nº155/95, de 1 de Julho,
- ❖ Regulamentada pela portaria nº 101/96, de 3 de Abril, Regras Técnicas de Instalações eléctricas de baixa Tensão.
- ❖ “Regulamento de Estruturas de Betão Armado e Pré-esforçado” – REBAP (1983);
- ❖ Regulamento *DRE-C13-530 - INSTALAÇÕES AT E MT: Rede geral de terra. Regras de execução.*
- ❖ Método de Validação da rede geral de terras de Subestações pelo controlo das tensões de contactos e de passo, em conformidade com o HD 637 S1:1999.

6. Apêndices

Perguntas sobre trabalho de investigação científica para fim do curso

1. Quantos clientes este Transformador alimenta?
 - a. 0 a 50000.....
 - b. 50000 a 80000.....
 - c. 80000 a 120000.....
 - d. Não sei.....

2. O transformador instalado na subestação de Chicumbane satisfaz ou não as necessidades do sistema na Área de serviço ao cliente de Xai-Xai?
 - a. Satisfaz.....
 - b. Não satisfaz
 - c. Não sei.....

3. Há ou não plano de instalar mais um transformador?
 - a. Sim há plano.....
 - b. Não há plano.....
 - c. Não tenho informação.....

4. Quais as Razões que fazem com que o Transformador não tenha sido substituído ou dimensionar o outro sabendo que não satisfaz o sistema?
 - a. Insuficiência de fundos.....
 - b. Não é prioritário.....
 - c. Não sei.....

5. Tem recebido ou não as reclamações de clientes sobre má qualidade de energia?
 - a. Sim tenho Recebido.....
 - b. Não há reclamações.....
 - c. Sim mas não com frequência.....

6. É ou não notória a queda de tensão acentuada na subestação?
 - a. É notória.....
 - b. Não é notória....

- c. As vezes.....
7. O que que acha que deve ser feito para resolver o problema de Insuficiência da energia?
- a. Instalar outro.....
 - b. Melhorar as redes de distribuição.....
 - c. Substituir por um maior
8. Há ou não necessidade de se dimensionar um novo transformador para a satisfação dos clientes?
- a. Sim há necessidade.....
 - b. Não há necessidade.....
 - c. Não sei
9. O dimensionamento de mais um transformador pode ou não ser viável?
- a. Sim.....
 - b. Acho que e mais caro.....
 - c. Não.....