

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA ELÉTRICA – UNIDADE
UBERLÂNDIA**

VINICIUS SILVA DE ALMEIDA

**ESTUDO E PROJETO DA PROTEÇÃO DE UMA
SUBESTAÇÃO DE 750 KVA PARA CONEXÃO DE SISTEMA
FOTOVOLTAICO**

**UBERLÂNDIA – MG
JUNHO/2023**

VINICIUS SILVA DE ALMEIDA

**ESTUDO E PROJETO DE PROTEÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO DE 750
KVA PARA CONEXÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO**

Trabalho para conclusão do curso e obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica apresentado à Universidade Federal de Uberlândia sob orientação do Prof. Dr. Thales Lima Oliveira.

**UBERLÂNDIA – MG
JUNHO/2023**

VINICIUS SILVA DE ALMEIDA

ESTUDO E PROJETO DA PROTEÇÃO DE UMA SUBESTAÇÃO DE 750 KVA PARA CONEXÃO DE SISTEMA FOTOVOLTAICO

Trabalho para conclusão do curso e obtenção do título de bacharel em Engenharia Elétrica apresentado à Universidade Federal de Uberlândia sob orientação do Prof. Dr. Thales Lima Oliveira.

Banca Examinadora

Prof. Dr. Thales Lima Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

Prof. Dr. Carlos Eduardo Tavares – Universidade Federal de Uberlândia

Me. Samuel Souto de Oliveira – Universidade Federal de Uberlândia

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer primeiramente a Deus, por ter me dado a oportunidade de cursar o curso que sempre sonhei, na universidade que optei por estudar.

Agradecer aos meus pais Levimar Almeida e Mirzimary Almeida e ao meu irmão Victor Almeida por todo o suporte durante todo o período de curso, por terem sido grandes pilares na minha formação.

Aos meus amigos Matheus Moro e Matheus Oliveira, pela amizade e pelo apoio durante o curso, aos meus professores de graduação e ao meu orientador Thales Lima Oliveira por todas as ensinamentos e conselhos durante o trabalho de conclusão de curso.

E agradecer aos meus amigos Diogo Paulino e Poliana Rezende pelo apoio e colaboração para execução deste trabalho.

E por fim todos os meus colegas de classe, de faculdade e meus amigos que estiveram comigo ao longo desta jornada.

*“O coração do homem dispõe o seu caminho,
mas é o Senhor que dirige seus passos.”*
(PROVERBIOS 16:9)

RESUMO

O presente trabalho tem por objetivo abordar o estudo e projeto de proteção para uma subestação de energia conectada em um sistema fotovoltaico de 750 kW, sendo embasada nos conceitos de proteção, nas normas vigentes da concessionária local e do órgão responsável pelo sistema elétrico brasileiro. O trabalho foi desenvolvido em uma metodologia simples e sequencial onde inicialmente foi citado sobre o sistema elétrico e a geração distribuída, na sequência e apresentado os tipos de subestações existentes no sistema elétrico brasileiro, os principais elementos que compõem essas subestações. Nesse trabalho é apresentado o levantamento de carga e cálculo de demanda para a ampliação da subestação de energia para o acoplamento da usina de minigeração. Por fim, realizado a parametrização dos elementos que irão ser selecionados para comporem a subestação de 750kVA.

Palavras-chave: Subestação, proteção, sistema elétrico, usina fotovoltaico.

ABSTRACT

The present work aims to address the study and protection design for a power substation connected to a 750 kW photovoltaic system, based on protection concepts, current regulations of the local utility company and the governing body responsible for the Brazilian electrical system. The work was developed using a simple and sequential methodology, starting with an overview of the electrical system and distributed generation, followed by a presentation of the types of substations found in the Brazilian electrical system and the main components that make up these substations. This work includes a load survey and demand calculation for the expansion of the power substation required for the integration of the mini-generation plant. Finally, the parameterization of the elements that will be selected to compose the 750 kVA substation was performed.

Keywords: Substation, protection, electrical system, photovoltaic plant.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL – AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

CEMIG – COMPANHIA ENERGÉTICA DE MINAS GERAIS

NBR – NORMA BRASILEIRA

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS

ND – NORMA DE DISTRIBUIÇÃO

RN – RESOLUÇÃO NORMATIVA

PRODIST – PROCEDIMENTO DE DISTRIBUIÇÃO

TCC – TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

SCEE – SISTEMA DE COMPENSAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

TC – TRANSFORMADOR DE CORRENTE

TP – TRANSFORMADOR POTENCIAL

AT – ALTA TENSÃO

BT – BAIXA TENSÃO

EAT – EXTRA ALTA TENSÃO

AL – ABERTURA LATERAL

AC – ABERTURA CENTRAL

DA – ABERTURA DUPLA

AV – ABERTURA VERTICAL

VR – ABERTURA REVERSA

PEC – PROPOSTA DE EMENTA A CONSTITUIÇÃO

ITIC – INFORMATION TECHNOLOGY INDUSTRY COUNCIL

CEPEL – CENTRO DE PESQUISAS DE ENERGIA ELÉTRICA

IEC – COMISSÃO ELETROTÉCNICA INTERNACIONAL

ONS – OPERADOR NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA

CENELEC – COMITÊ EUROPEU DE NORMALIZAÇÃO ELETROTÉCNICA

NRS – NORMAS REGULAMENTADORAS

IEEE – INSTITUTE OF ELECTRICAL ELECTRONICS ENGINEERS

CB – CIRCUIT BREAKER

IDMT – INVERSE DEFINITE MINIMUM TIME LED

IED – INTELLIGENT ELECTRONIC DEVICE

FD – FATOR DE DEMANDA

CI – CARGA INSTALADA

FP – FATOR DE POTÊNCIA

BYD – BUILD YOUR DREAMS

AFCI – ARC FAULT CIRCUIT INTERRUPTER

MPPT – MAXIMUM POWER POINT TRACKER

CA – CORRENTE ALTERNADA

CC – CORRENTE CONTÍNUA

LISTA DE SÍMBOLOS

A – Ampère

KV – Quilovolts

KVA – Quilo-Volt-Ampère

MW – Megawatts

MVA – Maga-Volt-Ampere

KW – Quilowatts

kWh/mês – Quilowatts hora por mês

V – Volts

CA – Corrente Alternada

CC – Corrente Continua

Wp – Watt-pico

kWp – Quilowatts-pico

LISTA DE FIGURAS

Figura 01 – Curva de suportabilidade ITIC (Information Technology Industry Council)	28
Figura 02 – Sistema elétrico com duas entradas de energia.....	32
Figura 03 – Exemplo de ângulo do relé direcional para a conexão quadratura	33
Figura 04 – Exemplo de ângulo do relé direcional para a conexão quadratura	34
Figura 05 – Planta Baixa de Subestação nº 2 Ampère Energias.....	34
Figura 06 – Transformador a seco.....	39
Figura 07 – Dados de corrente de curto-circuito do barramento.....	41
Figura 08 – Tabela de dados do disjuntor a vácuo EXE172006K1B (Schneider Electric) ...	42
Figura 09 – Especificação chave seccionadora.....	42
Figura 10 – Relé de proteção Siemens.....	44
Figura 11 – Ajustes recomendados para proteção.....	45

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Principais recomendações sobre desequilíbrios.....	31
Tabela 02 – Levantamento de Carga Indústria de armazenagem de grãos.....	36-37
Tabela 03 – Cálculo de Demanda Conforme ND 5.3 (CEMIG,2022)	37
Tabela 04 – Características técnicas do Transformador a Seco.....	40

SUMÁRIO

CAPÍTULO I	15
1. INTRODUÇÃO	15
1.1 OBJETIVO DO TRABALHO	16
1.1.1 Objetivo geral.....	16
1.1.2 Objetivos específicos.....	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
1.4 METODOLOGIA	17
CAPÍTULO II	18
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 A ENERGIA FOTOVOLTAICA E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA.....	18
2.2 O QUE É UMA SUBESTAÇÃO	19
2.2.1 Subestação elevadora.....	19
2.2.2 Subestação abaixadora.....	20
2.2.3 Subestação compacta.....	20
2.2.4 Subestação híbrida	20
2.3 ELEMENTOS DE UMA SUBESTAÇÃO.....	20
2.3.1 Disjuntor.....	20
2.3.2 Relé de proteção	21
2.3.3 Transformador de corrente	22
2.3.4 Transformador de potencial.....	23
2.3.5 Fusível.....	23
2.3.6 Barramentos	24
2.3.7 Chaves Seccionadoras	24
2.3.8 Para-Raios.....	25
2.3.9 Sistema de Aterramento	25
2.4 ELEMENTOS DE PROTEÇÃO	25
2.4.1 Elemento de desconexão	26
2.4.2 Elemento de interrupção	26
2.4.3 Transformador de acoplamento.....	27

2.4.4	Proteção de sub e sobretensão.....	27
2.4.5	Proteção sub e sobre frequência	28
2.4.6	Proteção contra desequilíbrio de corrente	29
2.4.7	Proteção contra desbalanço de tensão	30
2.4.8	Sobrecorrente direcional	31
2.4.9	Sobrecorrente com restrição de tensão	33
CAPÍTULO III		35
3.	APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO	35
3.1.	SOBRE A AMPÈRE ENERGIAS..... Erro! Indicador não definido.	
3.2.	AUMENTO DE CARGA.....	36
3.3.	LEVANTAMENTO DE CARGA	36
3.4.	SISTEMA FOTOVOLTAICO.....	38
CAPÍTULO IV		40
4.	ESTUDO DE PROTEÇÃO	40
4.1	TRANSFORMADOR DE ACOPLAMENTO	40
4.2	ELEMENTO DE INTERRUPÇÃO	41
4.2	ELEMENTO DE DESCONEXÃO	43
4.4	RELÉ DE PROTEÇÃO.....	43
4.4.1	Proteção de sub e sobretensão	45
4.4.2	Proteção de sub e sobrefrequência	46
4.4.3	Proteção Contra Desequilíbrios de Contra Desbalanço de Tensão.....	47
4.4.4	Sobrecorrente direcional	47
4.4.5	Sobrecorrente com restrição de tensão	49
CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS		50
REFERÊNCIAS		51

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

A tecnologia nos dias de hoje se encontra em constante evolução, com o avanço dela tem-se tornado cada vez mais eficaz e fácil realizar as tarefas do cotidiano, sendo elas em qual seja a sua ocupação, e quando o assunto é energia a evolução não fica para trás, principalmente quando falamos em segurança e proteção.

Os sistemas elétricos de potência possuem grandes limitações quando se trata de proteção, por isso atualmente ouve-se muito falar em estudos proteção e sistema de proteção elétrica.

O principal componente de proteção em um sistema de potência elétrico, principalmente em subestações de energia elétrica que são os pontos de conexão responsáveis para a alimentação de cidades e indústrias, são os relés. As subestações, segundo PRODIST (2015) são um conjunto de instalações elétricas em média ou alta tensão composta por equipamentos responsáveis por realizar a proteção, medição, manobra e transformação da energia elétrica.

Quando se trata de proteção de uma subestação, no passado eram usados relés eletromecânicos para realizarem a proteção do sistema, porém, nos dias de hoje com o avanço da tecnologia, os relés digitais têm tomado frente da parte da proteção dos sistemas.

Eles são responsáveis pela proteção da distribuição de energia elétrica da rede, pois atuam na proteção contra a maior parte dos problemas encontrados na rede evitando situações perigosas e danosas para o sistema de distribuição.

Os relés digitais seja ele um relé diferencial, direcional de corrente, distância (admitância, impedância ou reatância) ou um relé de frequência, atuam diretamente na proteção do sistema e são peças fundamentais para a proteção de uma subestação.

No estudo de caso que será abordado neste Trabalho de Conclusão de Curso (TCC), será realizado um estudo de proteção de uma subestação já projetada e executada pela empresa Ampere Energias, em que será feita a sua repotencialização e todo o estudo de proteção. Destaca-se que todos os dados utilizados neste trabalho em relação ao projeto da empresa foram autorizados, como mostra o Anexo I.

1.1 OBJETIVO DO TRABALHO

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo principal deste presente trabalho de conclusão de curso será realizar o estudo de proteção de uma subestação de 750 kVA conectando um sistema de geração fotovoltaica à rede de distribuição. Para tanto, serão utilizadas todas as funções de proteção recomendadas para este nível de potência.

1.1.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- Levantamento do referencial teórico necessário para a correta parametrização da proteção de subestações;
- Verificação de dados básicos do sistema de geração fotovoltaico e da rede de distribuição de energia elétrica utilizados para o estudo de caso;
- Realização de estudos elétricos necessários para a correta parametrização dos equipamentos de proteção da subestação de 750 kVA;
- Projetar e parametrizar a proteção da subestação de 750 kVA dos equipamentos necessários para esse nível de potência, a saber: Elemento de desconexão, Elemento de interrupção, Transformador de acoplamento, Proteção de sub e sobretensão, Proteção sub e sobre frequência, Proteção contra desequilíbrios de corrente, Proteção contra desbalanço de tensão, Sobrecorrente direcional, Sobrecorrente com restrição de tensão.

1.3 JUSTIFICATIVA

Este trabalho tem por finalidade apresentar um completo estudo de proteção de uma subestação de 750 kVA com uma geração fotovoltaica de 750 kW conectada à rede de distribuição da Companhia Energética do Estado de Minas Gerais (CEMIG), o que para pequenos e médios empreendedores do setor elétricos será de grande ajuda, visto que atualmente grande parte dos integradores de energia fotovoltaica no Brasil atuam principalmente no ramo de microgeração fotovoltaica pela simplicidade de projetos e falta de engenheiros capacitados para realização de um projeto de minigeração.

Este trabalho possibilitará a apresentará aos profissionais da área de uma maneira eficiente e eficaz para realizar todos os levantamentos necessários para se projetar e parametrizar a proteção de uma subestação de 750 kVA.

1.4 METODOLOGIA

O presente trabalho fora dividido em quatro capítulos, para facilitar a construção e apresentação do mesmo além de proporcionar ao leitor uma melhor experiencia o máximo de entendimento de tudo que fora apresentado, cada capítulo apresenta e discorre sobre uma parte para se culminar na conclusão e considerações finais deste trabalho de conclusão de curso.

No primeiro capítulo temos toda a introdução ao problema que este trabalho propõe resolver além do objetivo geral e os objetivos específicos que este trabalho busca apresentar.

No capítulo segundo é apresentada a fundamentação teórica do trabalho, onde se apresenta o conceito de subestação de energia e os principais componentes de uma subestação, junto com os elementos de proteção que são abordados no trabalho.

No terceiro capítulo apresenta o estudo de caso, com seus estudos de aumento de carga e demanda, além do detalhamento do sistema fotovoltaico que será acoplado a subestação de energia que está em estudo.

No quarto capítulo e realizado o dimensionado cada elemento de proteção da subestação de energia.

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Como abordado anteriormente, o presente trabalho abordará o estudo e o projeto de uma subestação de 750kVA que será conectada à um sistema fotovoltaico. Neste tópico será abordado o que é a energia fotovoltaica, será comentado sobre a geração distribuída, os aspectos fundamentais sobre o que subestações de energia elétrica, quais os tipos de subestações existem e qual será a indicada para conectar ao sistema em questão. Além disso, serão discutidos os modelos das subestações e quais são os elementos de proteção utilizados, assim como o funcionamento deles.

2.1 A ENERGIA FOTOVOLTAICA E A GERAÇÃO DISTRIBUÍDA

A energia solar, segundo à EPE (Empresa de Pesquisa Energética) também conhecida como energia fotovoltaica, é uma energia proveniente da irradiação solar, que por sua vez além de uma fonte inesgotável, o sol, ela consegue gerar energia elétrica através do fenômeno físico que é conhecido como efeito fotoelétrico, que converte a luz gerada pelo sol em eletricidade, com o auxílio dos módulos fotovoltaicos.

Ainda segundo à EPE (2018), além de uma fonte praticamente inesgotável, a energia fotovoltaica é uma energia sustentável e limpa, e ainda considerada uma das fontes de energias mais limpa, pois para a sua instalação não é causa grandes impactos ao meio ambiente.

Agora quando o assunto se trata de geração distribuída, de acordo com a Portal Solar (2023) ela pode ser realizada com diversas fontes de geração de energia renovável, como a exemplo da energia eólica, a biomassa, a hidrelétrica e a fotovoltaica.

Nos dias de hoje a geração distribuída, tem por sua vez grande parcela nessa geração proveniente da energia solar, devido à facilidade de instalar placas solares em residências ou até mesmo usinas de solo e a facilidade que temos atualmente na produção de módulos para geração devido ao grande desenvolvimento da tecnologia.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), na resolução normativa nº 482/2012, desde abril de 2012 o consumidor pode gerar a sua própria energia elétrica a partir de fontes renováveis, e desde então o crescimento de uma forma até agressiva tem sido notado, principalmente quando o assunto é a energia fotovoltaica.

Com o implemento dessa resolução normativa, se tornou um marco importante para a geração distribuída, a partir dela se estabeleceu regras para conexão de sistemas de geração de pequeno porte à rede de distribuição da concessionária. Além da conexão do sistema na rede, também permitiu que o consumidor utilize o excedente gerado como créditos na concessionária.

Quando falamos de geração distribuída, devemos lembrar da micro e minigeração de energia solar, onde a microgeração abrange a potência de até 75kW e a minigeração se dá por potências maiores que 75kW e menores que 3 MW (podendo ser maiores em até 5MW, em situações específicas).

Os consumidores de energia elétrica, que por sua vez possuem a sua própria geração para consumo durante o dia, injeta o excedente na rede, com isso, a rede no período da noite devolve para o consumidor o excedente gerado para o seu consumo, tudo isso graças ao SCEE (Sistema de Compensação de Energia Elétrica), caso o consumidor não consuma toda a energia gerada, ele fica com um crédito acumulado na concessionária em até 60 meses para consumir o excedente.

2.2 O QUE É UMA SUBESTAÇÃO

Quando se trata de subestação, segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), uma subestação é uma “instalação elétrica responsável por receber a energia elétrica em alta tensão de uma fonte de geração ou de outra subestação e transformá-la em uma tensão mais baixa, adequada para distribuição aos consumidores finais”.

Existem diversos modelos de subestações e elas podem se diferir pela necessidade, finalidade e localização, são responsáveis por realizarem a transferência, o controle e a distribuição da energia elétrica. Elas são responsáveis por adequar a energia que será entregue aos consumidores finais de uma forma segura e eficaz.

Como será abordado uma subestação que será acoplado a um sistema fotovoltaico, será abordado um pouco mais sobre quais as principais subestações que são utilizadas para esse acoplamento.

2.2.1 Subestação elevadora

Ela é responsável por elevar a tensão gerada pelos painéis fotovoltaicos para a tensão na qual será realizada a transmissão (normalmente 69 kV ou 138 kV), permitindo que a energia seja transportada a grandes distâncias pela rede de transmissão.

2.2.2 Subestação abaixadora

Responsável por abaixar a tensão da energia elétrica recebida da subestação elevadora para uma tensão adequada para a distribuição na rede elétrica de baixa tensão (normalmente 13,8 kV ou 34,5 kV).

2.2.3 Subestação compacta

É uma subestação construída com dimensões reduzidas, que pode ser instalada próximo aos painéis fotovoltaicos para reduzir as perdas de transmissão. Além disso, ela pode ser tanto elevadora quanto abaixadora.

2.2.4 Subestação híbrida

É uma subestação que se caracteriza por combinar funções elevadoras e abaixadoras, admitindo que a energia gerada pela usina seja transportada a grandes distâncias pela rede de transmissão e distribuída na rede elétrica de baixa tensão.

Vale ressaltar, que o tipo de subestação que será utilizada em uma usina fotovoltaica depende de alguns fatores, como a capacidade de geração da usina, a distância até a rede de transmissão e as características da rede elétrica local.

2.3 ELEMENTOS DE UMA SUBESTAÇÃO

Uma subestação elétrica, é composta por vários elementos de proteção que têm como objetivo garantir a segurança do sistema elétrico e dos equipamentos. Nos próximos tópicos são descritos os principais elementos de uma subestação.

2.3.1 Disjuntor

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR IEC 60947,2013), o disjuntor é um dispositivo que é utilizado para realizar a proteção contra sobrecargas e curtos-circuitos, que tem a função de interromper o fluxo de corrente elétrica quando essas anomalias acontecem no sistema elétrico.

Nos dias atuais tem-se vários tipos de disjuntores dentre eles, os a vácuo, a óleo e disjuntores a ar comprimido.

Os disjuntores além de usados em subestações são amplamente utilizados nos sistemas elétricos de distribuição de energia, e ainda fortemente utilizados em instalações residenciais, prediais e industriais.

O correto dimensionamento de um disjuntor para uma subestação depende de diversos fatores, como exemplo da carga que será protegida por ele, a tensão da rede dentre outros fatores, por isso deve ser realizado por um profissional especializado para a melhor proteção da subestação. Para dimensionar um disjuntor é importante que determine a corrente de curto-circuito máxima que pode ocorrer no sistema elétrico com o auxílio das medições, realizar a identificação da corrente nominal da carga elétrica que será protegida e selecionar um disjuntor que tenha uma corrente nominal igual ou maior que a corrente da carga elétrica.

E ainda é importante ressaltar outros aspectos como o tempo de atuação do disjuntor, a classe de tensão da subestação e as normas técnicas. Por isso sempre deve ser executado por um profissional qualificado para um correto dimensionamento.

2.3.2 Relé de proteção

Os relés de proteção, são dispositivos responsáveis por monitorar o sistema elétrico, detectando falhas, sendo elas, sobrecargas, curtos-circuitos, falta de fase dentre outros problemas na rede, de acordo com a (NBR 14209,2013) eles são responsáveis por indicar falhas e ainda promover a seletividade, e realizar a coordenação dos dispositivos de proteção.

Eles são muito utilizados em subestações elétricas além de outras instalações que necessitam da proteção, a Siemens (2023) ressalta o papel fundamental que eles realizam na proteção e no controle do sistema elétrico, contribuindo para a segurança e uma maior eficiência do sistema. Quando se trata de relés existem diversos modelos como os relés de proteção contra sobrecorrente, contra sobretensão, contra a falta de fase, dentre outros.

Atualmente os principais relés utilizados são os relés digitais que como abordado anteriormente são responsáveis por auxiliar na proteção e segurança do sistema elétrico.

Diferentemente dos relés eletromecânicos os digitais possuem algumas vantagens em relação aos antigos, como a exemplo da flexibilidade, confiabilidade, capacidade de comunicação com o sistema, além de registros e análises.

Segundo a Schneider Electric (2023), os relés digitais são mais precisos, possuem uma maior capacidade de comunicação e flexibilidade, além de serem programáveis e passar uma maior confiança para a proteção da rede. Eles são amplamente utilizados em subestações elétricas, principalmente as subestações modernas, garantindo a maior confiabilidade e segurança, e ainda auxiliam na eficiência do sistema.

São também utilizados em sistemas elétricos de potência para monitorar e proteger equipamentos e os sistemas contra falhas, sendo elas sobrecargas, curto-circuito, falta de fase,

dentre outros. Podem ser instalados em diversos equipamentos para realizar a proteção sendo eles, linhas de transmissão e distribuição, transformadores, geradores, capacitores dentre outras aplicações que podemos utilizá-los.

Para o dimensionamento correto de um relé de proteção deve-se considerar a corrente elétrica do sistema, a tensão elétrica do sistema, o tipo de carga e as características do equipamento que será feito a proteção.

Para realizar o dimensionamento deve-se identificar os tipos de falhas que o relé deverá detectar e proteger, determinar a corrente elétrica que flui no sistema durante as condições normais de operação, selecionar o tipo de relé de proteção que é adequado para proteger o equipamento, definir os ajustes do relé (corrente de operação, tempo de atuação, nível de sensibilidade, dentre outros), e realizar os testes de funcionamento do relé de proteção após instalado para garantir a correta proteção.

2.3.3 Transformador de corrente

Um transformador de corrente (TC), segundo Oliveira, T.L. (2021) é utilizado para instrumento, onde o enrolamento primário se encontra conectado em série com o circuito e o secundário fica responsável por alimentar as bobinas ou as entradas analógicas de corrente.

O TC é um dispositivo elétrico que utilizado para medir a corrente elétrica em um circuito de alta tensão, ele à reduz a um nível adequado para medição através da medição de corrente. Conforme a (NBR 6856, 2017), ele é um dispositivo que tem por finalidade fornecer uma corrente secundária em sua saída, sendo ela proporcional à corrente primária de entrada

São elementos fundamentais na construção de subestações, pois eles permitem a medição de uma forma precisa de altas tensões, auxiliam na segurança e na eficiência do sistema elétrico. Na atualidade existem diferentes modelos de TC's, como TC tipo barra, tipo janela, tipo bucha, entre outros, nos quais são projetados para diferentes finalidades de acordo com a necessidade do projeto.

Os transformadores de corrente são amplamente utilizados em sistemas elétricos de potência, como em subestações de energia, usinas de geração, redes de transmissão e distribuição de energia elétrica, entre outros.

Eles são instalados em linhas de alta tensão para permitir que os equipamentos de medição e proteção, como relés de proteção e medidores de energia, possam monitorar e proteger o sistema elétrico.

Dimensionar um transformador de corrente (TC) para uma subestação envolve uma análise cuidadosa dos parâmetros elétricos e das condições de operação da subestação. Primeiramente deve-se determinar a corrente nominal do circuito que será monitorado por ele, isso pode ser feito com o auxílio das características do circuito, como a potência nominal e tensão de operação.

E ainda, é importante considerar alguns fatores como o erro de medição tolerável, a classe de exatidão do TC. As condições de operação que o TC irá atuar na subestação também devem ser levadas em consideração como a temperatura ambiente, a umidade e a presença de campos magnéticos.

O dimensionamento do TC deve ser feito de maneira adequada para garantir a segurança e confiabilidade do sistema elétrico, por isso, recomenda-se que seja executado com ajuda de um profissional especializado, para garantir o correto dimensionamento.

2.3.4 Transformador de potencial

O transformador de potencial (TP) é um dispositivo elétrico utilizado para medir a tensão elétrica nos circuitos de alta tensão, responsáveis por reduzir a tensão à um nível adequado para medição através de um instrumento de medição de tensão. Segundo a Siemens os TP's são aplicados para medir a tensão elétrica de uma maneira precisa e confiável, garantindo a proteção do sistema elétrico.

Cada tipo de transformador de potencial é dimensionado de acordo com a necessidade e aplicação, nos dias de hoje, temos diferentes tipos de transformadores de potencial, como a exemplo dos TP's indutivos e os TP's com enrolamento duplo, dentre outros.

Os transformadores de potencial são amplamente utilizados nos sistemas elétricos, podendo ser utilizados em subestações de energia, redes de transmissão e distribuição de energia, ou até mesmo em usinas de geração, sendo eles instalados em linhas de alta tensão permitindo que os equipamentos de medição e proteção, consigam monitorar os sistemas.

Os TP's são utilizados para suprir elementos que apresentam elevada impedância, como à exemplo de voltímetros, relés de tensão, bobinas de tensão, medidores de energia, dentre outros.

2.3.5 Fusível

Quando se trata de fusíveis existem modelos diferentes que atuam na proteção do sistema podendo ser fusíveis de ação rápida, de ação retardada, de alta tensão entre outros modelos, são projetados para atender as necessidades e realizam a proteção elétrica em diferentes aplicações.

Podem ser aplicados em locais diversos de um sistema elétrico, como há exemplo de subestações de energia, transformadores, linhas de transmissão e distribuição de energia, nos disjuntores, e em vários equipamentos elétricos, atuando de uma forma importante na proteção, independente se são circuitos de baixa ou alta tensão.

2.3.6 Barramentos

Os barramentos podem ser encontrados em subestações sendo eles barramentos rígidos ou barramentos flexíveis, onde são considerados condutores sendo nus, pintados ou não, encapsulados e responsáveis por transportar a energia que chega até eles em AT (Alta Tensão).

Eles transportam a energia elétrica entre dois pontos, e ainda conseguem proporcionar uma múltipla alimentação de corrente podendo ser transportada para diversas saídas, desde que feitos com proteção e de maneira funcional.

Os barramentos flexíveis são normalmente utilizados em subestações de grande porte, possuem pontos positivos e pontos negativos com a sua utilização, quando se trata de pontos positivos destaca-se a economia por serem compostos por praticamente um cabo de cobre nu e por não demandarem de uma grande quantidade de estruturas metálicas, já quando se trata de pontos negativos como são barramentos flexíveis estão sujeitos a terem oscilações por conta de chuvas e ventos.

Segundo Aramis Tissott (2011) podem-se ser utilizados barramentos rígidos de AT ou EAT (Extra Alta Tensão), propondo novas soluções para subestações deste porte, trazendo com elas segurança à ação do tempo, espaço e facilidade de manutenção.

2.3.7 Chaves Seccionadoras

As chaves seccionadoras, são conhecidas também como dispositivos de manobra pois elas seccionam o circuito para a realização de alguma manobra, ou para realização de alguma manutenção do sistema, isolando assim alguns componentes com a sua manobra.

Existem diversos modelos de chaves seccionadoras sendo elas chave seccionadora de operação lateral, operação vertical, abertura lateral (Tipo AL), abertura central (Tipo AC), de abertura dupla (Tipo DA), abertura vertical (Tipo AV), ou abertura vertical reversa (Tipo VR).

Elas são utilizadas nas linhas de transmissão elétrica, onde são responsáveis por isolar seções das linhas para que os técnicos realizem manutenções, utilizadas em subestações elétricas permitindo que isole equipamentos como transformadores e disjuntores para manutenção e ainda aplicadas no sistema de distribuição de energia isolando seções do sistema de distribuição para que realize manutenções na área.

2.3.8 Para-Raios

A principal função do para-raios, como em seu próprio nome já diz é de proteger o sistema contra descargas atmosféricas que entram na subestação através das linhas de transmissão, eles também atuam na proteção contra descargas diretas e contra falhas na blindagem.

Ele é composto por elementos resistivos não lineares e por um centelhador, onde segundo Trevisol (2018), nas condições normais ele atua com sistema aberto, no caso de uma sobretensão, o centelhador dispara fazendo com que passe uma corrente não linear pelo resistor e com isso limitando a tensão.

São muito utilizados em subestações como abordado anteriormente, mas também são muito utilizados para proteção de edifícios, torres de telecomunicações, equipamentos eletrônicos sensíveis, sistemas de transportes dentre outros. Em suma, são utilizados para proteção contra descargas atmosféricas e sobretensões transitórias.

2.3.9 Sistema de Aterramento

O sistema de aterramento em uma subestação é crucial para garantir a proteção e a segurança dos equipamentos que à compõem, quando bem projetado um sistema de aterramento ajuda a minimizar o risco de choque elétrico, protege os elementos contra danos causados pelas sobretensões e ainda permite um caminho seguro para a corrente fluir de volta para o solo.

Ela é composta por eletrodos de aterramento (hastes) que são enterradas para fornecer um caminho de baixa impedância para corrente fluir para o solo, pela malha de aterramento, ou seja, um conjunto de condutores que envolvem a subestação formando uma rede de aterramento e pelos anéis de terra que são conectados na malha de aterramento com os elementos da subestação.

Segundo Silva (2012), em seu projeto de diplomação o objetivo do aterramento nos sistemas elétricos é de proteger as pessoas e os equipamentos contra curto-circuito, e ainda fornecer caminho seguro e de baixa impedância para as descargas atmosféricas. Ainda segundo Silva (2012) caso ocorra alguma falha na isolação dos elementos essa falta passe direto pelo sistema de aterramento no lugar de percorrer pelo corpo de uma pessoa ou do equipamento.

2.4 ELEMENTOS DE PROTEÇÃO

Segundo Mamede (2020, p.1) e Mardegan (2012, p.188), a proteção de um sistema elétrico de potência é formada por elementos de proteção como fusíveis e os relés associados aos

disjuntores, de forma a desconectar o circuito afetado, cujos relés são classificados conforme sua grandeza de operação que podem ser do tipo: corrente, tensão e frequência.

O estudo de proteção de uma subestação, que é o ponto de conexão entre gerador e carga do sistema elétrico de potência, irá determinar cada um dos elementos de proteção a serem utilizados, na mesma, especificando a suportabilidade dos elementos, com estudo de nível de curto-circuito das instalações.

2.4.1 Elemento de desconexão

Um elemento de desconexão é o dispositivo usado para isolar um equipamento do restante do circuito, ainda com o sistema energizado, ele é utilizado para permitir a manutenção ou reparo do equipamento sem colocar em risco a segurança de quem está na área e ainda causar danos aos componentes do sistema.

Os elementos de desconexão são utilizados em diversos tipos de equipamentos elétricos dentro do sistema elétrico como à exemplo painéis de distribuição, transformadores, motores e geradores, sendo sempre instalados em locais estratégicos do circuito elétrico para garantir isolamento do sistema e possibilitar manutenções.

Existem diferentes tipos de elementos de desconexão, sendo um dos mais comuns e o utilizado em questão as chaves seccionadoras, elas são dispositivos que permitem a abertura de um circuito elétrico, interrompendo o fluxo de corrente elétrica.

Para determinar a chave seccionadora que irá ser utilizada precisamos ter a corrente nominal do sistema, a classe de tensão e qual será o tipo de interrupção se será realizado a abertura sob carga ou abertura sem carga.

2.4.2 Elemento de interrupção

O elemento de interrupção dentro de uma subestação é um dispositivo que tem a função para interromper ou desligar a corrente elétrica de um circuito.

Eles são utilizados para garantir a segurança do sistema e proteger os equipamentos contra sobrecargas, curtos-circuitos e outros problemas.

Os elementos mais comuns de interrupção que são mais utilizados em subestações são os disjuntores, os religadores automáticos e ainda são utilizados fusíveis como elemento de interrupção. Para o dimensionamento do disjuntor deve-se ser calculado a Corrente de Curto, Corrente do Disjuntor e a Corrente de Interrupção. Para tanto, devem ser consideradas as correntes calculadas nas equações (1) a (3):

Corrente do Circuito:

$$I_c = \frac{S_{(kVA)}}{V_{(kV)} \times \sqrt{3}} \quad (1)$$

Corrente do Disjuntor:

$$I_p = I_c \times 1,25 \quad (2)$$

Corrente de Interrupção

$$I_{SC} = I_{cc_{m\acute{a}x}} \times 1,25 \quad (3)$$

2.4.3 Transformador de acoplamento

Os transformadores têm a principal função de ser o ponto de conexão entre a carga e a concessionária de energia local, por ter este papel em realizar tal acoplamento, ele também é conhecido como transformador de acoplamento.

Cada concessionária de energia tem suas próprias normas técnicas e determinação para utilização de equipamentos a serem conectados em suas redes de distribuição, para a CEMIG quem rege tais padronizações de materiais e a PEC 11 (2022).

Em seu texto a PEC 11 (2022) traz que para equipamentos como transformadores de utilização particular do cliente onde a medição da energia elétrica é feita na baixa tensão, deve-se apresentar um laudo de conformidade do equipamento com todas as características dele.

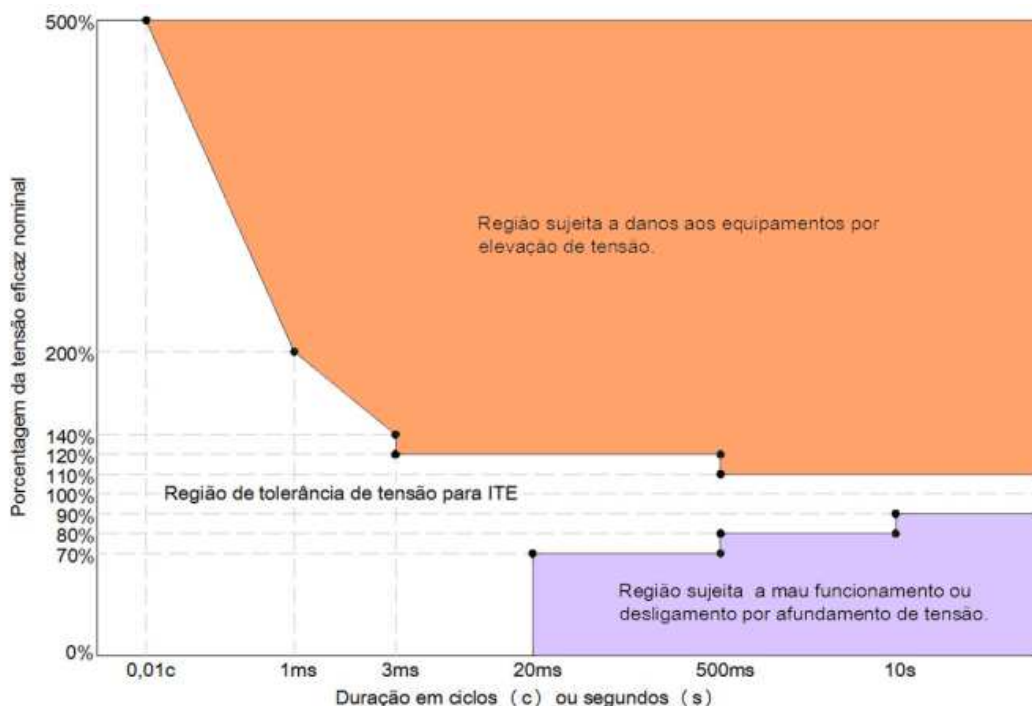
2.4.4 Proteção de sub e sobretensão

A proteção contra sub e sobretensão em um sistema elétrico de potencial é a responsável por garantir os níveis de tensão do sistema, garantindo assim a integridade dos equipamentos elétricos em operação no sistema.

Apesar do que é abordado no módulo 8 do Prodist (2021) ter um range diferente para sub e sobretensão, neste trabalho foi usado como referência o módulo 5.3.1 da CEMIG, traz que em um sistema elétrico os níveis mínimos admitidos para padrões de sub e sobretensão são de 80% para

sub e 120% para sobretensão do valor nominal do sistema. A figura 01 mostra uma curva de suportabilidade ITIC (*Information Technology Industry Council*), apresentada por Oliveira, T.L. (2021) em seu trabalho Apostila de Proteção de Sistemas Elétricos apresentando as regiões de suportabilidade típica de computadores, que pode também ser aplicada a outros equipamentos elétricos.

Figura 1: Curva de suportabilidade ITIC (*Information Technology Industry Council*)



Fonte: Oliveira, T.L., 2021

2.4.5 Proteção sub e sobre frequência

A proteção de sub e sobre frequência é importante para garantir a estabilidade do sistema elétrico em situações de contingência. Esta proteção pode ser feita com relés de sub frequência, que são responsáveis por monitorar a frequência do sistema e disparam quando um nível baixo do limite pré-definido.

Segundo o Mardegan (2010), o relé de sub frequência é utilizado para detecção e ação em caso de diminuição da frequência, eles também podem ser utilizados para controle de carga e atuação de geradores.

Quando se trata de sobre frequência, são utilizados relés de sobre frequência, que monitoram a frequência do sistema e são acionados quando ela atinge um nível acima do limite pré-definido. De acordo com a Cepel (2023), a proteção de sobre frequência tem por objetivo

realizar a proteção de sistemas elétricos quando há o desligamento de grandes blocos de carga ou então quando ocorre a entrada repentina de geração.

2.4.6 Proteção contra desequilíbrio de corrente

Qualquer desbalanço num sistema trifásico, com ou sem terra, faz com que apareça componentes simétricas de sequência negativa. A componente de sequência negativa pode ser calculada através da expressão descrita em (4).

$$\begin{bmatrix} I_{a0} \\ I_{a1} \\ I_{a2} \end{bmatrix} = \frac{1}{3} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & a^2 & a \\ 1 & a & a^2 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} I_a \\ I_b \\ I_c \end{bmatrix} \quad (4)$$

Em que: $I_{a2} = \frac{1}{3} (I_a + a^2 * I_b + a * I_c)$ e $a = 1 \angle 120^\circ$

Para tensão, vale a mesma expressão. Assim, uma proteção pode calcular a corrente de sequência negativa I_2 através das correntes de fase. Em condições normais de operação, com o sistema trifásico equilibrado, essa corrente é Zero.

Isto é, o surgimento da componente de sequência negativa I_2 significa que há desbalanço de corrente através do circuito onde está aplicada a proteção e pode ser causada por:

- Uma fase aberta;
- Duas fases abertas;
- Carga desequilibrada (comum para circuitos primários de Distribuição);
- Curto-circuito fase-terra;
- Curto-circuito bifásico;
- Curto-circuito bifásico-terra.

Um critério de desbalanço poderia ser o valor percentual da corrente I_2 (sequência negativa) com relação à corrente I_1 (sequência positiva).

O desbalanço de corrente é um fator grave para máquinas rotativas, uma vez que induz correntes de frequência dupla no rotor (ferro), causando aquecimento.

Portanto a função de sequência negativa é utilizada principalmente para proteção de motores e geradores, podendo também se utilizada em alimentadores de redes de distribuição, desde que tomada os cuidados necessários para não ocorrer a operação indevida da proteção. Seu código ANSI é 46.

2.4.7 Proteção contra desbalanço de tensão

Segundo Paulilo (2013), considera-se um sistema elétrico desequilibrado ou desbalanceado quando apresentam valores de módulo ou defasagem angular entre as fases diferentes de 120° elétricos ou, ainda, as duas condições simultaneamente.

O conceito de desequilíbrio de tensão em um sistema elétrico é uma condição na qual as três fases apresentam diferentes valores de tensão em módulo ou defasagem angular entre fases diferente de 120° elétricos ou, ainda, as duas condições.

Em um sistema trifásico ideal, livre de desequilíbrios, considerando a fase “a” na referência e sequência de fases positiva, tem-se em pu:

$$V_a = 1,0 \angle 0^\circ \quad (5)$$

$$V_b = 1,0 \angle -120^\circ \quad (6)$$

$$V_c = 1,0 \angle 120^\circ \quad (7)$$

De acordo com Paulilo (2013) e com vários trabalhos apresentados ao longo dos anos, o grau ou fator de desequilíbrio de tensão de um sistema elétrico pode ser definido de diversas maneiras.

A tabela 1 apresenta algumas das principais formas para se calcular o desequilíbrio de tensão em um sistema trifásico. Destaca-se que neste trabalho foram utilizados os métodos IEC e NRS 048.

Tabela 1 – Principais recomendações sobre desequilíbrios

RECOMENDAÇÕES/NORMAS	EXPRESSÕES
IEC	$K = \frac{V_2}{V_1} * 100$

ONS / PRODIST	$K = \frac{V_2}{V_1} * 100 \text{ ou } K = 100 \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$, em que $\beta = \frac{V_{AB}^4 + V_{BC}^4 + V_{CA}^4}{(V_{AB}^2 + V_{BC}^2 + V_{CA}^2)^2}$
CENELEC	$K = \frac{V_2}{V_1} * 100$
NRS 048	$UB = \frac{V_N}{V_P} * 100 \text{ ou } UB = \sqrt{\frac{1 - \sqrt{3 - 6\beta}}{1 + \sqrt{3 - 6\beta}}}$, em que $\beta = \frac{V_{AB}^4 + V_{BC}^4 + V_{CA}^4}{(V_{AB}^2 + V_{BC}^2 + V_{CA}^2)^2} * 100$
ANSI	$FDV\% = \frac{DV_{MAX}}{DV_{MED}} * 100$
IEEE	$K = \frac{3 * (V_{MAX} - V_{MIN})}{V_A + V_B + V_C} * 100$

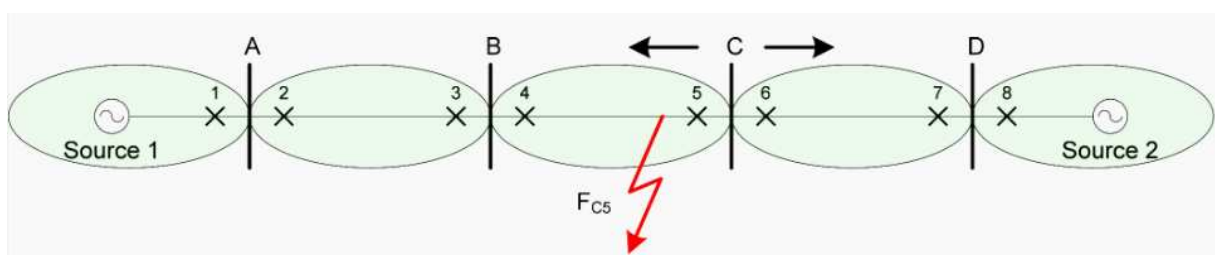
Fonte: Paulilo, 2013

2.4.8 Sobrecorrente direcional

O Sistema elétrico brasileiro é composto por diversas usinas geradoras de energia, subestações de energia e linhas de transmissão. Como se trata de um sistema complexo, alimentado por várias extremidades, quando ocorrem falhas e não é necessário apenas saber a magnitude da corrente de falha, mas também sua direção.

Na figura 2, representa um sistema radial de alimentação dupla. No exemplo, a linha é alimentada em ambas as extremidades. E existem zonas de proteção indicadas por elipses. O requisito é abrir todos os disjuntores em qualquer zona de proteção onde a falha ocorrer, mas nenhuma das outras.

Figura 2: Sistema elétrico com duas entradas de energia



Fonte: Csanyi, acessado em maio de 2023

Considere a falha FC5. Apenas os disjuntores CBs 4 e 5 devem desarmar. Como o CB 3 está próximo ao CB 4, não haveria grande diferença na corrente de falta passando por esses dois disjuntores, portanto um dispositivo a tempo reverso (IDMT) não seria capaz de discriminar entre eles.

Ou seja, utilizando dispositivos não-direcionais, os CBs 3, 4, 5 e 6 desarmariam no caso de uma falha em FC5. É claro, então, que precisamos de um dispositivo que seja capaz de detectar a direção da corrente de falta, bem como sua magnitude.

Dispositivos de proteção direcional de sobrecorrente podem atingir este requisito. Os IEDs (*Intelligent Electronic Device*) direcionais determinam a direção da Corrente de falha medindo a tensão com um transformador de tensão, bem como a corrente com um transformador de corrente, e estabelecendo a diferença de fase.

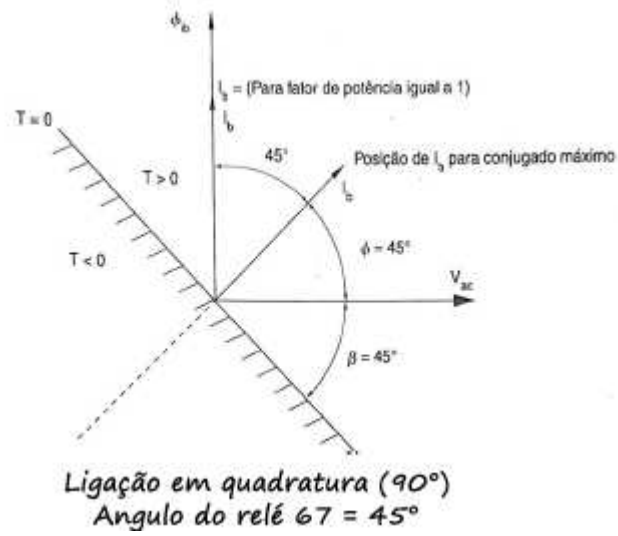
Os IEDs segundo Mardegan (2010), são dispositivos inteligentes microprocessados que operam em altas frequências, e trazem com eles uma série de funções como medição, comando/controle, monitoramento, religamento, comunicação e proteção, permitem elevada quantidade de entrada analógica (sinais de tensão e corrente) e elevada quantidade de entradas/saídas (I/O) digitais.

Considere novamente uma falha em FC5. Desta vez, vamos supor que temos IEDs direcionais. Se configurarmos os IEDs para desarmar por sobrecorrente somente se a direção do fluxo de corrente estiver longe do barramento, o CB 4 e o CB 5 irão desarmar, mas CB 3 e CB 6 não.

Segundo Oliveira. T.L, em seu estudo de proteção determina-se o ângulo característico do relé aquele que se é ajustado no aparelho, sendo dado em função da sua grandeza de operação, normalmente a corrente e por sua vez a grandeza de polarização a tensão.

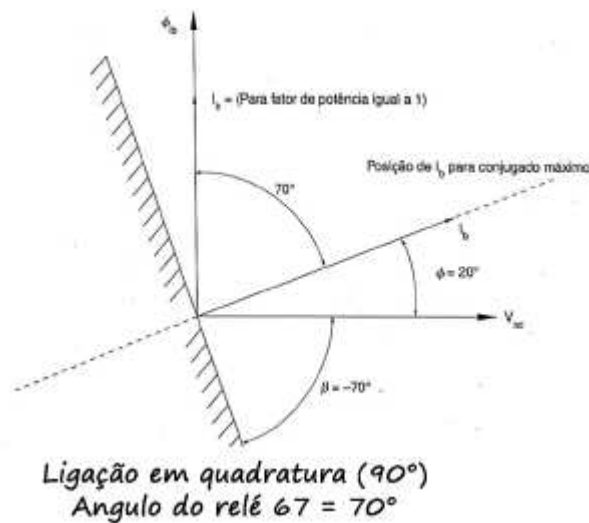
As figuras 3 e 4 exemplificam com dois distintos ângulos do relé direcional, as suas zonas de atuação e as zonas de bloqueio.

Figura 03: Exemplo de ângulo do relé direcional para a conexão quadratura.



Fonte: Oliveira, T.L., 2021

Figura 04: Exemplo de ângulo do relé direcional para a conexão quadratura.



Fonte: Oliveira, T.L., 2021

2.4.9 Sobrecorrente com restrição de tensão

Sabe-se que quando um gerador entra em curto-circuito, de acordo com Paulilo (2013) a corrente de falta amortece rapidamente, podendo fazer com que a corrente de curto-circuito permanente fique abaixo da corrente nominal do gerador.

Quando a corrente de curto-circuito permanente é menor que a nominal, deve ser feita a proteção dos equipamentos, onde se torna possível a circulação de corrente nominal e simultaneamente realizar a proteção da condição de curto-circuito.

Ainda segundo Paulilo (2013) surgiu a proteção de sobrecorrente com supervisão ou restrição de tensão. Na prática, o que esta proteção faz é deslocar a característica do relé de sobrecorrente para a esquerda horizontalmente.

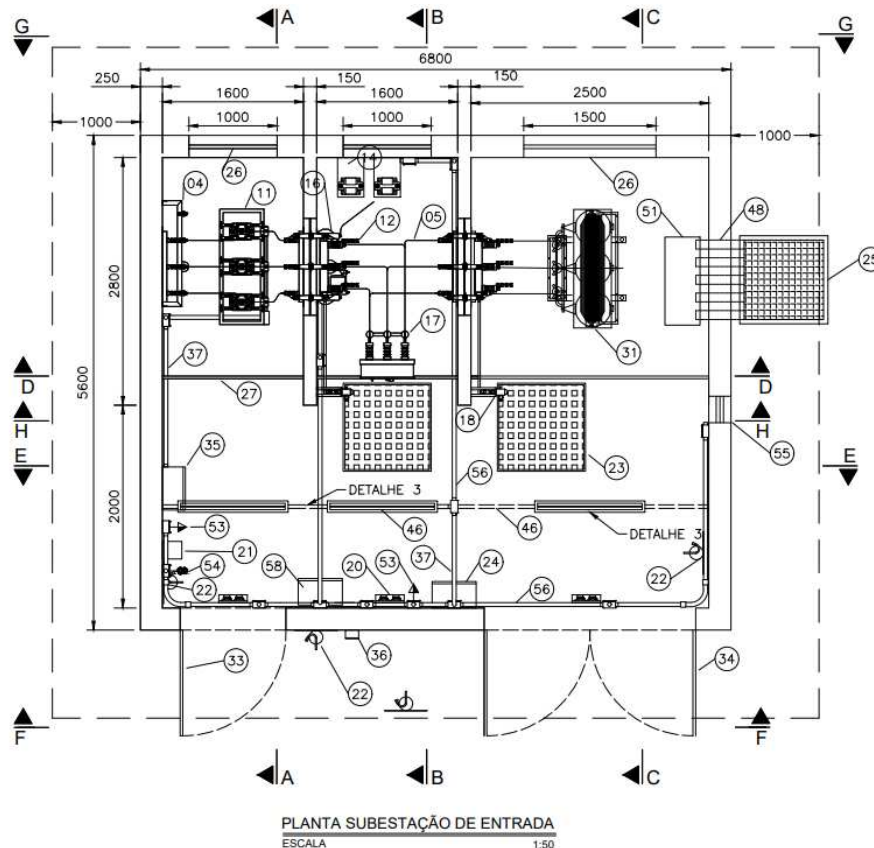
CAPÍTULO III

3. APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A subestação escolhida para este estudo de proteção, fora construída pela empresa Ampère Energias no município mineiro de Capinópolis, um dos locais de atuação da empresa. Essa subestação particular do número 2 da norma de distribuição 5.3 da CEMIG de dezembro de 2022, atualmente possui um transformador de 300 kVA que será substituído por um de 750 kVA para recebimento de sistema fotovoltaico de 750 kW. Cabe destacar que a utilização da subestação para fins de utilização nesse trabalho foi autorizada pela empresa, conforme anexo A.

Uma subestação número 2 se trata de um cubículo de alvenaria com ou sem transformador instalado na subestação, com uma demanda provável de até 2.500 kW, com proteção e medição a 3 elementos na média tensão. A figura 05 apresenta a planta baixa da subestação nº 2 projetada e instalada pela Ampère Energias.

Figura 05: Planta Baixa Subestação nº 2 Ampère Energias



Fonte: Acervo de engenharia Ampère Energias, janeiro de 2023

3.1. AUMENTO DE CARGA

A subestação que se encontra em estudo fora projetada para atender uma carga de 300 kVA para uma indústria de armazenamento de grãos, no município de Capinópolis-MG à pouco mais de 2 anos pela Ampère Energias. Durante a execução do primeiro projeto os proprietários do armazém não pretendiam realizar a instalação de um sistema fotovoltaico e não pleiteavam a ampliação do armazém em tão pouco tempo.

Hoje o aumento de demanda se faz extremamente necessário para a continuação das atividades no armazém. Com isso o aumento da subestação de 300 kVA para 750 kVA, juntamente com isso os engenheiros da Ampère Energias e os proprietários do armazém também concordaram com o aumento de demanda a instalação de um sistema fotovoltaico de 750 kW de potência que tem uma capacidade de geração de 134.400 kWh/mês.

3.2. LEVANTAMENTO DE CARGA

Para a realização do aumento de carga de uma subestação existente para a concessionária é fundamental a realização de uma comprovação de carga e demanda, para que seja executado o aumento de demanda da subestação nº 2.

O levantamento de carga para cálculo de demanda de uma subestação passa pelas cargas comprováveis, ou seja, as cargas que existem hoje no sistema atual da indústria e as cargas futuras, as quais são contempladas em projeto elétrico que tem com uma instalação posterior naquela instalação.

Para este estudo o levantamento de carga da Indústria fora feito por meio dos projetos elétricos, e estruturados na tabela 2, para envio das cargas existentes e futuras da instalação para a CEMIG, juntamente com o cálculo de demanda conforme estabelecido pela ND 5.3, de dezembro de 2022.

Tabela 2 – Levantamento de Carga Indústria de armazenagem de grãos

RELATORIO DE CARGAS INDUSTRIA DE ARMAZENAMENTO DE GRÃOS							
QTDE	DESCRIÇÃO	CARACTERISTICAS POR UNIDADE				Total	Disp. Partida
		Volts	Fases	CV	kW	kW	
06	SECARDOR SCOT 100	380	3	120	90	540	soft starter
06	MAQ. LIMP.	380	3	17,5	13,12	78,72	soft starter

06	ELEVADOR ÇAÇAMBAS 29,67 M	380	3	20	15	90	soft starter
06	ELEVADOR ÇAÇAMBAS 37,67 M	380	3	25	18,75	112,5	soft starter
06	ELEVADOR ÇAÇAMBAS 40,67 M	380	3	30	22,5	135	soft starter
06	TRANSP. CORRENTE 17 M	380	3	6	4,5	27	Direta
06	TRANSP. CORRENTE 9 M	380	3	3	2,25	13,5	Direta
06	TRANSP. CORRENTE 10 M	380	3	3	2,25	13,5	Direta
06	TRANSP. CORRENTE 23 M	380	3	7,5	5,625	33,75	Direta
06	TRANSP. CORRENTE 22 M	380	3	7,5	5,625	33,75	Direta
06	LUMINÁRIA HERMÉTICA	220	1	-	0,064	0,384	-
04	REFLETOR EXTERNO – MOEGA	220	1	-	0,1	0,4	-
04	REFLETOR EXTERNO – FORNALHA	220	1	-	0,1	0,4	-
06	REFLETOR EXTERNO - EXPEDIÇÃO	220	1	-	0,1	0,6	-
04	REFLETOR EXTERNO – BALANÇA	220	1	-	0,1	0,4	-
02	ARANDELA 45° - POÇO 01	220	1	-	0,061	0,122	-
02	ARANDELA 45° - POÇO 02	220	1	-	0,061	0,122	-
04	ARANDELA 45° - TUNEL TC1	220	1	-	0,061	0,244	-
03	ARANDELA 45° - TUNEL TC2	220	1	-	0,061	0,183	-
03	ARANDELA 45° - TUNEL TC3	220	1	-	0,061	0,183	-

05	ARANDELA 45° - TUNEL TC4	220	1	-	0,061	0,305	-
05	ARANDELA 45° - TUNEL TC5	220	1	-	0,061	0,305	-
10	ILUMINAÇÃO PASSARELAS	220	1	-	0,061	0,61	-
TOTAL						1.081,98	-

Fonte: autor.

A tabela 3, a seguir, apresenta o cálculo de demanda conforme estabelecido pela ND 5.3 da CEMIG de dezembro de 2022.

Tabela 3 – Cálculo de Demanda Conforme ND 5.3 (CEMIG,2022)

TABELA DE CÁLCULO DE DEMANDA		
DESCRIÇÃO	VALOR	GRANDEZA
CI – Carga Instalada	1.081,98	kW
FD – Fator de Demanda	0,686	-
Demanda = FD x CI	742,24	kW
Demanda a ser contratada	750	kW
Demanda Considerando FP = 0,92	995,42	KVA

Fonte: autor.

Com o fator de demanda em mãos e a demanda a ser contratada se tornou possível dimensionar o sistema fotovoltaico necessário para atender aos clientes e suprir as necessidades do armazém.

3.3. SISTEMA FOTOVOLTAICO

O Sistema de energia de geração fotovoltaica para atender a demanda energética do cliente tem uma potência de inversores de 750 KW e uma potência em pico de módulos fotovoltaicos de 1.049,95 kWp com uma geração média mensal de 133.000 kWh/mês. O sistema fotovoltaico é composto por:

- 7 inversores BYD-S 100 kW Trifásico 380 V com 10 MPPTs de entrada é um equipamento de alta inteligência para gestão de eficiência energética de usinas fotovoltaicas de alta potência, por seus baixos índices de falhas. Além de ser um produto que apresenta rendimentos excelentes, possui uma estética robusta, proteção AFCI, que

reduz proativamente o risco de incêndio.

- 1 inversor BYD-S 50 kW Trifásico 380 V com 5 MPPTs está linha de inversores trabalha com os mais altos padrões tecnológicos de conversão de energia fotovoltaica da atualidade. Este modelo é ideal para instalações de entrada trifásicas comerciais e industriais de médio e grande porte. Além disso contempla um sistema de resfriamento inteligente com ventiladores redundantes e maior confiabilidade.
- 1.826 módulos fotovoltaicos da BYD HARPIA BYDHRP72S de 575 Wp cada, o módulo fotovoltaico BYD HARPIA N-Type TopCon é produzido e desenvolvido pelo P&D da BYD no Brasil. Com múltiplos barramentos que conectam 144 células N-Type TopCon half-cell de alta eficiência traz uma eficiência de 22,25%, este é um produto *single glass* e com tecnologia *multi busbar*. É ideal para situações em que é necessário atingir maior potência num espaço físico limitado.

Todo o sistema fotovoltaico será composto de proteções CA e CC, contra descargas atmosféricas e variações de tensão e corrente da rede da concessionária de energia local, além disso os inversores escolhidos para atender a demanda energética do cliente possuem proteção AFCI para trazer mais segurança a toda instalação, além de possuírem proteção Anti-ilhamento, Conexão CC Invertida, Proteção contra Curto-Circuito CA, Proteção de Temperatura, Proteção Contra Surtos, Detecção de Falhas PV e Interruptor CC.

Apesar a rede local da concessionária de energia local, CEMIG, possuir uma rede trifásica 127/220 V e a saída dos inversores do sistema fotovoltaico do cliente ser 220/380 V não será necessário a utilização de transformador de acoplamento para o sistema fotovoltaico, pois o ponto de conexão do cliente com a rede da concessionária é realizado em média tensão, e a rede interna do cliente tem uma tensão 220/380 V, isso em virtude de todos os equipamentos e maquinários do cliente ter essa relação de tensão.

CAPÍTULO IV

4. ESTUDO DE PROTEÇÃO

4.1 TRANSFORMADOR

Neste estudo de caso, no projeto da subestação o transformador que será utilizado será um transformador a seco de 750kVA, para atender a demanda necessária para atender o armazém como calculado na tabela 2 no tópico 3.3.

O transformador por sua vez será selecionado de acordo com as normas de distribuições da CEMIG para uma conexão correta, de acordo com a ND.

Como citado anteriormente no tópico 2.4.3, o transformador que será utilizado na subestação está de acordo com as normas técnicas da concessionária CEMIG.

A figura 6, traz o transformador selecionado, onde se trata de um transformador a seco de 750kVA da WEG para a conexão do sistema com a rede onde teremos a conexão 380/13800V.

Figura 06 – Transformador a seco



Fonte: WEG

Tabela 4 – Características técnicas do Transformador a Seco

Características do Transformador a Seco		
Descrição	Valor	Grandeza
Tensão Nominal em AT	13,8	kV
Tensão Nominal em BT	0,38	kV
Grau de Proteção	IP-00	
Frequência	60	Hz
Impedância	6,0	%

Fonte: WEG

4.2 ELEMENTO DE INTERRUPÇÃO

Como abordado no tópico 2.4.2 a respeito dos elementos de interrupção, para o dimensionamento do disjuntor de proteção de média tensão que será instalado a montante do transformador.

Para realizarmos os cálculos das correntes do elemento de interrupção fez-se necessário o conhecimento das correntes do barramento onde será feita a conexão com a rede, a figura 07, fornecida pela CEMIG para à Ampère traz os dados necessários.

Figura 07: Dados de corrente de curto-circuito do barramento

Curto Circuito	(A)	Ângulo
Trifásico	865	-49,22
Fase/Fase	0	0,00
Fase/Terra Mín	159	0,00
Fase/Terra Máx	641	-42,80

Fonte: CEMIG

Segundo as equações de (1) a (3) abordadas no tópico 2.4.2, tem-se:

Corrente do Circuito:

$$I_c = \frac{750_{(kVA)}}{13,8_{(kV)} \times \sqrt{3}} = 31,37 \text{ A} \quad (8)$$

Corrente do Disjuntor:

$$I_p = 31,37 \times 1,25 = 39,22 \text{ A} \quad (9)$$

Corrente de Interrupção:

$$I_{SC} = 865 \times 1,25 = 1081,25 \text{ A} \quad (10)$$

As funções 49, 50/51, 50/51N e 86 são responsáveis pela proteção térmica, proteção contra sobrecorrente instantâneo e temporizado, proteção contra sobrecorrente no neutro instantâneo e temporizado e o bloqueio.

Com isso, o disjuntor que será utilizado na subestação será um disjuntor a vácuo que por sua vez reúne as questões de custo-benefício e de confiabilidade e proteção.

O disjuntor em questão é descrito na figura 8.

Figura 08: Tabela de dados do disjuntor a vácuo EXE172006K1B (Schneider Electric)

Principal	
Master range	Easy Series
Linha de produto	EasyPact
Nome do produto	EasyPact EXE
Tipo de produto ou componente	Disjuntor
Switching device	Circuit breaker
Breaking technology	Vacuum
Pole type	Open
Número de polos	3
Tipo de rede	CA
Tipo de instalação	Interior
Variante	Basic version
Normas	IEC 62271-100:2012
Tensão de teste dielétrica	17,5 kV
Rated short-duration power frequency withstand voltage (Ud) / Common value	28 kV
Rated lightning impulse withstand voltage (Up) / Common value	95 kV
Frequência da rede	50/60 Hz
[In] corrente nominal	630 A
Short-circuit current	20 kA
[Icw] corrente nominal de curta duração admissível	50 kA 50 Hz 52 kA 60 Hz
DC time constant (τ)	45 ms
Rated short-time withstand current (Ik)	20 kA
Rated duration of short-circuit (tk)	3 s
Rated first pole-to-clear factor (kpe1)	50 kA 50 Hz 52 kA 60 Hz
Rated first pole-to-clear factor (kpe1)	1,5

Fonte: Schneider Electric

4.3 ELEMENTO DE DESCONEXÃO

O elemento de desconexão é responsável por cortar a passagem do fluxo de corrente para o sistema, um dos mais utilizados é a chave seccionadora, onde para o seu correto dimensionamento se torna necessário saber as suas correntes e tensões nominais, e de curto-circuito.

Podemos classificar as chaves seccionadoras em dois principais tipos, as chaves seccionadoras unipolares e as chaves seccionadora tripolares, onde a unipolar é capaz de abrir ou fechar um único condutor enquanto o tripolar consegue interromper 3 simultaneamente.

A chave seccionadora que será instalada a montante do disjuntor será uma chave seccionadora tripolar, sendo que para o dimensionamento, a corrente nominal tem que ser próxima dos valores de corrente nominal comerciais, por isso:

$$I_{ch} = \frac{750 \text{ k}}{\sqrt{3} * 13,8\text{k}} = 31,377 \text{ A} \quad (11)$$

Com isso a chave seccionadora selecionada para o presente estudo de caso será a chave seccionadora tripolar 15kV 400A com base HH da American Fuse, como mostra a figura 09

Figura 09: Especificação chave seccionadora.

Marca	American Fuse
Modelo	NP9023
Polos	Tripolar
Amperagem	400A

Fonte: Eletrotrafo.

4.4 RELÉ DE PROTEÇÃO

Neste tópico será realizado o estudo de proteção para parametrização do relé de proteção. Com o auxílio da figura 07, tem-se os dados da corrente de curto-circuito fornecido para à empresa pela concessionária CEMIG, será realizado a parametrização dos elementos.

Para a correta parametrização dos relés é necessário determinar também o fator de assimetria. Para tanto, é utilizada a metodologia presente no padrão IEEE Std.551-2006, conforme descrito nas equações (12) a (16).

A partir do ângulo abordado na Figura 5, pode-se afirmar que a relação X/R, sendo:

$$\frac{X}{R} = tg(\theta) = tg(49,22) = 1,1563 \quad (12)$$

$$\tau = 0,49 - 0,1 e^{\frac{-X/R}{3}} \quad (13)$$

$$\tau = 0,49 - 0,1 e^{\frac{-1,1563}{3}} = 0,4219 \quad (14)$$

Tendo em mãos os valores de τ , se torna possível o cálculo do fator de assimetria:

$$Fator\ de\ assimetria = \left(1 + e^{-\frac{2\pi\tau}{\left(\frac{X}{R}\right)}} \right) \quad (15)$$

$$Fator\ de\ assimetria = \left(1 + e^{-\frac{2\pi * 0,4219}{(1,1563)}} \right) = 1,1010 \quad (16)$$

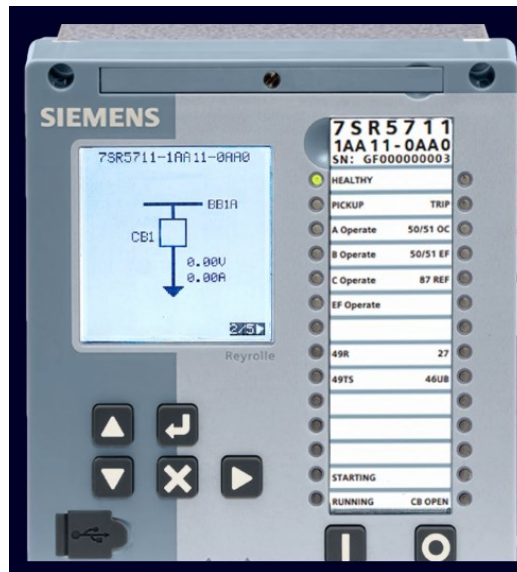
Além do fator de assimetria, para o correto estudo de proteção do relé faz-se necessário o cálculo do ponto ANSI que é o máximo valor de corrente que o transformador pode suportar sem que aconteça algum dano ao equipamento, pode-se ser calcular como mostra na equação (17).

$$I_{ANSI} = I_N \left(\frac{100}{Z_{\%}} \right) \quad (17)$$

$$I_{ANSI} = 31,377 \left(\frac{100}{6\%} \right) = 52,29\ kA \quad (18)$$

Como abordado no tópico 2.3.2, os relés de proteção são elementos importantes para a proteção de uma subestação, para detectar falhas no sistema e realizar a proteção aumentando a confiabilidade da proteção do sistema. Com isso, o relé que será abordado no estudo de caso será o relé digital Reyrolle 7SR5 da Siemens, representado na figura 10.

Figura 10: Relé de proteção Siemens



Fonte: Siemens.

4.4.1 Proteção de sub e sobretensão

Em relação a proteção de Sub e Sobretensão, se trata das funções de proteção 59 e 27, onde o relé digital em questão atua como elemento de proteção, passando uma maior confiabilidade para a subestação e para o sistema.

Para a parametrização do relé nas funções de sub e sobretensão recomenda-se analisar junto a concessionária de energia. Para que os parâmetros utilizados sigam a normativa dela. Com isso a concessionária de energia local CEMIG em sua ND 5.3.1 (2022) onde a concessionária aplica regras para Conexão de Acessantes Produtores de Energia Elétrica ao Sistema de Distribuição da Cemig, estabelece que os parâmetros de sub e sobretensão devem seguir conforme mostra a figura 11 na sequência.

Figura 11: Ajustes recomendados para proteção

Ajustes recomendados para as proteções			
Código ANSI	Descrição das funções	Ajustes	Tempo máximo de atuação (ref)
25	Verificação de sincronismo ou sincronização. Além disso deverá ser implementada lógica de Linha viva (lado Cemig) – Barra morta (lado do acessante)	Defasamento 10° Diferença de tensão 10% Diferença de frequência 0,3 Hz	N/A
27	Relé de Subtensão	0,8 p.u.	5 seg.
		0,7 p.u.	1,5 seg.
59	Relé de sobretensão	1,10 p.u.	5 seg.
		1,20 p.u.	0,5 seg.
81U	Relé de Subfrequência	58,5 Hz	0,2 seg
		59,0 Hz	2,0 seg
81O	Relé de Sobrefrequência	60,5 Hz	2,0 seg
		61,0 Hz	0,2 seg
32	Relé de potência reversa	105% da potência da carga	15 seg.
		105% da potência da geração (fonte incentivada)	15 seg.
		5% da potência da geração (fonte não incentivada)	15 seg.
46	Relé de Desequilíbrio de corrente	A ser definido caso a caso	A ser definido caso a caso
47	Relé de Desequilíbrio de tensão	A ser definido caso a caso	A ser definido caso a caso
67 (1 e2)	Relé de Direcional de Sobrecorrente de fase instantâneo	Conforme Anexo 6	Conforme Anexo 6
67N (1 e2)	Relé de Sobrecorrente de terra instantâneo	Conforme Anexo 6	Conforme Anexo 6
51V	Relé de Sobrecorrente com restrição por tensão	A ser definido caso a caso	A ser definido caso a caso

Fonte: CEMIG

Com base nisto os limites utilizados serão:

- Para subtensão:

$$V_n * 80\% = 13800 \times 80\% = 11040 \text{ V} \quad (19)$$

- E para sobretensão:

$$V_n * 120\% = 13800 \times 120\% = 16560 \text{ V} \quad (20)$$

Por fim, conforme a figura 9 e com os limites utilizados os tempos de atuação do relé devem ser:

- Subtensão – 5 segundos;
- Sobretensão – 0,5 segundos.

4.4.2 Proteção de sub e sobrefrequência

A proteção de sub e sobrefrequência como abordado no tópico 2.4.5 é feita pelo relé de proteção onde as suas funções de proteção são a ANSI 81 e ANSI81R.

De acordo com a ND 5.31(2022), a proteção de subfrequência como demonstrado na Figura 09 se encontra no range de ajuste entre 58,5 e 59 Hz, com os tempos de atuação entre 0,2 e 2 segundos e a proteção de sobrefrequência de 60,5 e 61 Hz, atuando entre 0,2 e 2 segundos.

4.4.3 Proteção Contra Desequilíbrios de Corrente e contra Desbalanço de Tensão

A proteção contra desequilíbrios de corrente e a proteção contra desbalanço de tensão, também conhecida como sequência negativa, como abordado no tópico 2.4.6 e 2.4.7, se encontra nas funções de proteção do relé digital selecionado e seu código é o ANSI 46.

De acordo com Mamede (2020), o tempo ajustado para atuação do disjuntor deverá ser de aproximadamente 10 s, a fim de evitar desligamentos indesejáveis do gerador. A corrente de sequência negativa pode ser ajustada no relé entre 10 a 30% do valor da corrente de sequência positiva.

Com isso, segundo equação (11), temos o valor da corrente de carga, então:

$$I_c * 10\% = 31,377 \times 10\% = 3,1377 A \quad (21)$$

E o tempo de atuação do relé deverá ser de 10 segundos.

4.4.4 Sobrecorrente direcional

Se tratando de sobrecorrente direcional, como abordado no tópico 2.4.8, o relé de proteção atua com a função ANSI 67.

Para se obter o dial de tempo primeiramente se faz necessário, o cálculo da corrente nominal no primário do transformador, que se denomina por:

De acordo com Oliveira, T.L (2021), o fator de sobrecorrente tem por padrão o valor de $F_S = 20$, e o valor de um transformador uma vez que não possua ventilação forçada pode-se assumir o fator de sobrecarga $K_p = 1,3$, sendo assim, com o valor do valor de F_S e com o valor da corrente de curto-circuito trifásica na Figura 11, torna-se possível calcular o valor de RTC, sendo:

$$I_{tc} > \frac{I_{cc3\phi}}{F_s} = \frac{865}{20} = 43,25 \text{ A} \quad (22)$$

Com a equação (22), determinasse que o RTC será 50-5 (10:1).

Calculando o RTP:

$$RTP = \frac{13800/\sqrt{3}}{115/\sqrt{3}} = 120 \quad (23)$$

Tendo em mãos os cálculos anteriores, torna-se possível calcular a corrente de curto assimétrica, sendo ela representada por:

$$I_{cca} = F_a \times I_{cc3\phi} = 1,1010 \times 865 = 952,365 \text{ A} \quad (24)$$

Com isso:

$$F < \frac{I_{cca}}{I_{at}^F} = \frac{I_{cca}}{RTC \times I_{tf}} \quad (25)$$

Calculando I_{tf} :

$$I_{tf} = \frac{K_f \times I_n}{RTC} = \frac{1,3 \times 31,377}{10} = 4,08 \text{ A} \quad (26)$$

Com o valor da corrente temporizada de fase é possível resolver a equação (27), onde:

$$F < \frac{952,365}{10 \times 4,08} = 23,34 \quad (27)$$

Como Mamede (2013), deve-se usar um fator de ajuste entre 60 e 90%, utilizando o menor entre eles, tem-se:

$$I_t^N = (F \times 60\%) \times 4,08 = 57,13 \text{ A} \quad (28)$$

Portanto, pode-se calcular a corrente instantânea:

$$I_{inst} = 57,13 \times 10 = 571,3 A \quad (29)$$

Então com a equação (29) se define a corrente instantânea que o relé irá atuar, além dela também teremos o ângulo de quadratura abordado na figura 7, que é igual a 49,2 graus onde o relé deverá atuar a partir do ângulo da corrente de curto.

4.4.5 Sobrecorrente com restrição de tensão

A proteção com o relé de proteção para a sobrecorrente com restrição de tensão, ou sobrecorrente temporizada com restrição de tensão, como abordado no tópico 2.4.9, é apresentada como a função ANSI 51V. Ela atua com a proteção quando a corrente que passa pelo elemento é maior que a corrente de ajuste, onde o relé deverá operar de acordo com a curva de temporização.

No presente estudo como não foi disponibilizado o tempo de coordenação do religador será utilizado 0,4s.

$$I_{tc} > \frac{I_{cc3\phi}}{F_S} = \frac{865}{20} = 43,25 A \quad (30)$$

Como já calculado anteriormente:

$$I_{tf} = \frac{K_f \times I_n}{RTC} = \frac{1,3 \times 31,377}{10} = 4,08 A \quad (31)$$

Com os valores da corrente temporizada de falta faz se possível o cálculo da corrente no enrolamento primário do TC:

$$I_{ta}^F = 4,08 \times 10 = 40,8 A \quad (32)$$

$$M = \frac{I_{cc3\phi}}{I_{ta}^F} = \frac{865}{40,8} = 21,2 \quad (33)$$

O dial de tempo para uma curva muito inversa e com o tempo de coordenação de 0,4s será:

$$TMS = 0,4 \left(\frac{21,2 - 1}{13,5} \right) = 0,59 s \quad (34)$$

CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho de conclusão de curso do estudo de proteção de uma subestação de 750kVA para conexão de um sistema fotovoltaico, foi abordado inicialmente sobre a energia fotovoltaica e trouxe também um pouco mais sobre o marco da geração distribuída.

Em consequência foi abordado sobre que é uma subestação de energia e sobre os tipos de subestações existentes, comentando um pouco mais sobre elas, logo em sequência sobre os elementos que compõem uma subestação e suas funções, trazendo explicações sobre cada elemento.

Foi apresentado o estudo de caso da subestação que seria realizado o aumento de carga desta subestação, levando em consideração o aumento da demanda do cliente, para implementação de uma subestação de maior potência que seria conectada ao sistema fotovoltaico que fora abordado no tópico 3.4.

Logo após, realizado o dimensionamento de acordo com normas vigentes dos elementos que farão parte da subestação, trazendo maiores informações sobre a parametrização do relé de proteção que fará parte da construção da subestação.

Por fim, pode-se concluir que os objetivos almejados com o estudo e projeto da subestação foram alcançados, abordando conceitos de proteção, conceitos de geração distribuída e pesquisas relacionadas ao estudo. Trazendo ainda a possibilidade de dar sequência ao presente trabalho em estudos de proteção de subestações de maiores potências a serem instaladas pela empresa.

Uma sugestão de trabalho futuro para dar sequência a esse estudo de proteção, seria a ampliação do estudo considerando a coordenação com a proteção do alimentador. Outra sugestão, seria a criação do coordenograma e o diagrama fasorial da função 67.

REFERÊNCIAS

- [1] OLIVEIRA, Thales Lima. Proteção de Sistemas Elétricos. Goiânia: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, 2021.;
- [2] TISSOTT, Aramis. Estudo do Uso de Battamentos Rígidos em Subestações. Porto Alegre, 2011. Projeto de Diplomação (Curso de Engenharia Elétrica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/33090>
- [3] TREVISOL, Fernanda Coelho. Sistema de Proteção contra Descargas Atmosféricas em Subestações de Média e Alta Tensão. Porto Alegre, 2018. Projeto de Diplomação (Curso de Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/179470/001069044.pdf?sequence=1>
- [4] E SILVA, Arnaldo Fleck. “ANÁLISE DO ATERRAMENTO DE SUBESTAÇÕES”. Projeto de diplomação. Porto Alegre, 2012. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/65428>. Acesso em 07 de maio 2023;
- [5] ND 5.3 DA CEMIG, DE DEZEMBRO DE 2022 – “Fornecimento de energia elétrica em média tensão – Rede de distribuição aérea ou subterrânea” – Acesso em 07 de janeiro de 2023 - <https://www.cemig.com.br/atendimento/normas-tecnicas/>;
- [6] KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. ” ATERRAMENTO ELÉTRICO”. 3ª edição. Porto Alegre: Sagra-DC Luzzatto Editores. 1995;
- [7] KINDERMANN, G. “PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA”. 2ª Edição. Florianópolis: Edição do Autor. 2;
- [8] MAMEDE FILHO, João; MAMEDE, Daniel Ribeiro. Proteção de sistema elétrico de potência. Rio de Janeiro: LTC, 2020;
- [9] MARDEGAN, Cláudio. Proteção e seletividade. Capítulo 3: Dispositivos de proteção - Parte III, 2010. Disponível em: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2010/05/Ed50_marco_protecao_seletividade_capIII.pdf . Acesso em: 07 de maio 2023;
- [10] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.;

- [11] ABNT NBR IEC 60947-2:2013 - Dispositivos de proteção contra sobrecorrente - Parte 2: Disjuntores. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=323199> . Acesso em: 01 de maio de 2023.
- [12] ABNT NBR 14209:2013 - Relés de proteção e dispositivos auxiliares associados para sistemas elétricos - Requisitos mínimos. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=110521> . Acesso em: 01 de maio de 2023.
- [13] ABNT NBR 6856:2017 - Transformadores de corrente. Disponível em: <https://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=376551> . Acesso em: 01 de maio de 2023
- [14] ABCDEnergia. Disponível em: <http://www.epe.gov.br/pt/ABCDEnergia>. Acesso em: 07 de maio de 2023.
- [15] PORTAL SOLAR. Geração distribuída de energia. Disponível em: <https://www.portalsolar.com.br/geracao-distribuida-de-energia.html>. Acesso em: 05 de maio de 2023.

ANEXO I



TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA USO DO NOME E INFORMAÇÕES DA EMPRESA

Diogo Paulino Carvalho, brasileiro, engenheiro eletricista, inscrito(a) no CPF sob o nº _____ e no RG nº _____, residente e domiciliado(a) à Avenida nove, 233 - Centro, autorizo por meio deste que Vinicius Silva de Almeida, brasileiro, estudante, inscrito(a) no CPF sob o nº _____ e no RG nº _____, residente e domiciliado(a) Rua Horácio Paula Siqueira, 115 – Setor Universitário, tenha autorização para utilizar o nome e as informações da empresa para realizar a construção do seu trabalho de conclusão de curso sobre a empresa Ampère Engenharia e Consultoria Elétrica - LTDA inscrito(a) no CNPJ sob o nº 27.901.968/0001-45.

Ituiutaba - MG, 30 de maio de 2023.

AMPÈRE ENG. E CONSULTORIA ELÉTRICA LTDA
AMPÈRE ENERGIAS
27.901.968/0001-45

Diogo Paulino Carvalho
Sócio Proprietário

ANEXO II

1. ELETRODUTO GALVANIZADO, IMERSÃO A QUENTE, Ø110mm
2. CABO DE COBRE ISOLADO, EPR/XLPE 90°, 25mm², 15KV
3. PARA-RAIO POLIMÉRICO V_n=12KV, 10kA, SISTEMA NEUTRO ATERRADO
4. SUPORTE PARA FIXAÇÃO DE MUFLAS
5. VERGALHÃO DE COBRE MACIÇO, Ø 3/8"
6. ISOLADOR DE PEDESTAL, 15KV
7. BUCHA DE PASSAGEM INTERNO/INTERNO, 15KV COM TIRANTE DE 5/8"
8. CHAPA SUPORTE PARA FIXAÇÃO DE BUCHA DE PASSAGEM
9. TRANSFORMADOR DE CORRENTE 15KV, A SER FORNECIDO PELA CONCESSIONÁRIA
10. TRANSFORMADOR DE POTENCIAL 15KV, A SER FORNECIDO PELA CONCESSIONÁRIA
11. SUPORTE PARA TRANSFORMADORES DE MEDIÇÃO
12. CHAVE SECCIONADORA TRIPOLAR, COMANDO SIMULTÂNEO, ABERTURA SOB CARGA, 400A, 15KV SEM BASE FUSÍVEL
13. CHAVE SECCIONADORA TRIPOLAR, COMANDO SIMULTÂNEO, ABERTURA SOB CARGA, 400A, 15KV COM BASE FUSÍVEL
14. TRANSFORMADOR DE POTENCIAL, 13,8√3/0,22-0,11, 2000VA, PARA SERVIÇOS AUXILIARES
15. PLACAS COM DIZERES "PERIGO DE MORTE - ALTA TENSÃO"
16. TRANSFORMADOR DE CORRENTE PARA PROTEÇÃO RELAÇÃO 30:5A, 10B100, 15KV
17. DISJUNTOR A VÁCUO, 15KV, 630A, CAPACIDADE DE INTERRUPTÇÃO DE 350MVA (MÍNIMO) MOTORIZADO, COM BOBINA DE ABERTURA E FECHAMENTO.
18. PUNHO DE ACIONAMENTO DA CHAVE SECCIONADORA
19. ILUMINAÇÃO INTERNA, LUMINÁRIA TIPO COMERCIAL, LÂMPADA FLUORESCENTE 2X40W, HERMÉTICA
20. SISTEMA DE ILUMINAÇÃO DE EMERGÊNCIA, LUMINÁRIA LED, 36W, HERMÉTICA COM AUTONOMIA MÍNIMA DE 4 HORAS
21. CAIXA PARA LUVA DE BORRACHA 15KV, COM PROTEÇÃO DE RASPAS
22. EXTINTOR TIPO PÓ ABC, CAPACIDADE MÍNIMA 6KG
23. TAPETE DE BORRACHA, CLASSE 15KV, 1000x1000mm
24. QUADRO PARA ALIMENTAÇÃO DAS CARGAS DOS SERVIÇOS AUXILIARES DA SUBESTAÇÃO
25. CAIXA DE PASSAGEM DE SAÍDA
26. JANELA DE VENTILAÇÃO, TIPO VENEZIANA, COM ARMAÇÃO DE CANTONEIRA E TELA DE ARAME GALVANIZADO 18BWG, COM MALHA DE 13mm
27. GRADE DE PROTEÇÃO
28. PLACA COM DIZERES "NÃO OPERE ESTA CHAVE SOB CARGA"
29. TERMINAL TERMOCONTRATIL PARA CABO 25mm², 15KV, USO EXTERNO
30. TERMINAL TERMOCONTRATIL PARA CABO 25mm², 15KV, USO INTERNO
31. TRANSFORMADOR A SECO, 300KVA, 13800/380-220V, PRIMÁRIO EM DELTA E SECUNDÁRIO EM ESTRELA, TIPO Dyn1
32. JANELA DE ILUMINAÇÃO NATURAL
33. PORTA TIPO VENEZIANA, 2100x1200mm
34. PORTA TIPO VENEZIANA, 2100x2400mm (DUAS FOLHAS)
35. CAIXA PADRÃO PARA INSTALAÇÃO DE MEDIDORES
36. CAIXA PARA CHAVE DA SUBESTAÇÃO DE USO EXCLUSIVO DA CONCESSIONÁRIA, SELADA
37. ELETRODUTO GALVANIZADO, 1 1/2"
38. HASTE DE TERRA TIPO COPPERWELD, RECOBERTA COM COBRE, ALTA CAMADA DE DEPOSIÇÃO, 254µm, DIÂMETRO 5/8" E COMPRIMENTO DE 3,0m.
39. CONEXÃO EM SOLDA EXOTÉRMICA
40. POSTE DE CONCRETO, CIRCULAR, 11m, 600daN
41. CAIXA DE PASSAGEM COM TAMPA DE FERRO FUNDIDO
42. ELETRODUTO GALVANIZADO 4"
43. CABO DE COBRE NÚ, 50mm² SOB O SOLO (ATERRAMENTO)
44. CABO DE COBRE NÚ, 50mm² SOBRE O SOLO (EQUIPOTENCIALIZAÇÃO DAS PARTES METÁLICAS)

45. MASSA DE CALAFETAR
46. PERFILADO 38X38
47. CABO DE COBRE NÚ 70mm²
48. KANAFLEX 110mm
49. CABO DE COBRE NÚ 50mm²
50. FIO DE COBRE ISOLADO 4mm² (MÍNIMO 8 VOLTAS)
51. CANALETA 500x300x1460 (AxLxP)
52. ELETROLEITO 500x100mm ABA EXTERNA
53. TOMADA AUXILIAR 2P+T PADRÃO BRASILEIRO 220V (H=1200mm)
54. INTERRUPTOR (H=1200mm)
55. EXAUSTOR PARA VENTILAÇÃO
56. ELETRODUTO GALVANIZADO 1"
57. TRANSFORMADOR DE POTENCIAL, 13,8/0,22, 1000VA, ALIMENTAÇÃO DO RELÉ
58. RELÉ DE PROTEÇÃO SECUNDÁRIA, COM NO-BREAK DE 1000VA E TRIP CAPACITIVO

