



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE
E AUTOMAÇÃO - CECAU**



ANDRÉ COSTA SILVA

**SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA E PROTEÇÃO DE LINHAS
DE TRANSMISSÃO**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2020

ANDRÉ COSTA SILVA

**SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA E PROTEÇÃO DE LINHAS
DE TRANSMISSÃO**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos para a obtenção do Grau de Engenheiro de Controle e Automação.

Orientadora: Profa. Regiane de Sousa e Silva Ramalho, M.Eng

**Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
2020**

SISBIN - SISTEMA DE BIBLIOTECAS E INFORMAÇÃO

S586s Silva, Andre Costa .
Sistemas elétricos de potência e proteção de linhas de transmissão .
[manuscrito] / Andre Costa Silva. - 2020.
53 f.: il.: color., gráf., tab., mapa.

Orientadora: Profa. Ma. Regiane de Sousa e Silva Ramalho.
Monografia (Bacharelado). Universidade Federal de Ouro Preto. Escola
de Minas. Graduação em Engenharia de Controle e Automação .

1. Energia elétrica. 2. Linhas de transmissão. 3. Sistema de energia
elétrica - Proteção . I. Ramalho, Regiane de Sousa e Silva. II. Universidade
Federal de Ouro Preto. III. Título.

CDU 621.3

Bibliotecário(a) Responsável: Angela Maria Raimundo - SIAPE: 1.644.803



FOLHA DE APROVAÇÃO

André Costa Silva

SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA E PROTEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO


Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação


Aprovada em 05 de novembro de 2020

Membros da banca

Mestre - Regiane de Sousa e Silva Ramalho - Orientadora Universidade Federal de Ouro Preto
Doutora - Adrielle de Carvalho Santana - Universidade Federal de Ouro Preto
Doutor - Paulo Marcos de Barros Monteiro - Universidade Federal de Ouro Preto

Regiane de Sousa e Silva Ramalho, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 16/03/2021

 Documento assinado eletronicamente por **Regiane de Sousa e Silva Ramalho, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 16/03/2021, às 15:08, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).

 A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0147380** e o código CRC **AADB3F72**.

*Dedico este trabalho primeiramente a Deus,
minha orientadora e, principalmente, à minha
família por ter me dado todo apoio necessário
para que eu chegasse aqui.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço ao Senhor Deus, que sempre esteve ao meu lado, abençoando, protegendo e me guiando nessa jornada.

Agradeço a minha querida família, mamãe Creuza, papai Geraldo e irmã Alinne por todo apoio, paciência, compreensão e incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

A todos meus amigos, que com certeza deixaram essa caminhada mais leve e divertida, em especial aos irmãos da República Ludus, à turma 14.2 e à minha namorada Amanda Luíza.

Agradeço a todos os professores, por terem transmitido seus conhecimentos e sempre estarem dispostos a ajudar e contribuir para um melhor aprendizado.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, muito obrigado.

Por fim, agradeço a cidade de Ouro Preto por ter proporcionado momentos mágicos e a UFOP pelo ensino gratuito de qualidade.

E viva a Escola de Minas!

“Não importa o que aconteça, continue a nadar.”
(Graham Walters; Procurando Nemo, 2003)

RESUMO

A demanda por energia elétrica vem aumentando expressivamente nas últimas décadas. O crescente número de interligações entre os sistemas elétricos existentes tornou o controle destes uma tarefa extremamente complexa e importante. Na operação dos sistemas elétricos de potência surgem, com certa frequência, falhas nos seus componentes, que resultam em interrupções no fornecimento de energia aos consumidores. As falhas mais comuns são curtos-circuitos, sobrecargas e as sub e sobretensões. Visto isso, as proteções dos circuitos elétricos tornam-se cada vez mais importantes, exercendo a função de diminuir ou evitar risco de vida e danos materiais, quando ocorrem situações anormais durante a sua operação. Ao longo do trabalho foram detalhados alguns elementos de proteção como: relé de sobrecorrente, relé diferencial, relé direcional, relé de distância e de tensão. As linhas de transmissão é a parte mais vulnerável a essas falhas, e, o estudo nessa área é importante para garantir o fornecimento contínuo de energia elétrica. Sobre as linhas de transmissão, o trabalho abordou seus principais componentes como: condutores, torres, esferas de sinalização, para-raios, sistema de aterramento e a aplicação dos reles nessa parte do sistema. As proteções elétricas necessitam de um projeto elaborado, devido a complexidade do sistema, avaliando quais dispositivos melhor atendem as demandas exigidas. Deste modo, este trabalho tem como objetivo apresentar aspectos gerais e as principais propriedades da proteção de sistemas elétricos de potência.

Palavras-chaves: Proteção elétrica, Falhas, Energia, Linhas de transmissão.

ABSTRACT

The demand for electrical energy has been increasing significantly in the past decades. The increasing number of interconnections between the existing electrical systems has made their control an extraordinarily complex and important task. In the operation of electric power systems, errors commonly appear in their components, resulting in interruptions in the power supply to consumers. The most common mistakes are short circuits, overloads and sub and overvoltages. Because of this, electrical circuit protections become more critical, to reduce or avoid the life risk and material damages when unusual situations occur during their operation. Throughout the work, some protection elements were detailed, such as: overcurrent relay, differential relay, directional relay, distance and voltage relay. The transmission lines are the most vulnerable part to these failures, and the study in this area is important to guarantee the continuous supply of electricity. On the transmission lines, the work addressed its main components such as: conductors, towers, signaling spheres, lightning arresters, grounding system and the application of relays in this part of the system. Electrical protections need an elaborate design, due to the complexity of the system, assessing which devices best meet the required demands. Thus, this work aims to present general aspects and the main properties of the protection of electrical power systems.

Key-words: Electrical Protection, Faults, Energy, Transmission lines.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Esquema do SEP	16
Figura 2 – Esquemático Usina Hidrelétrica	17
Figura 3 – Torre de Transmissão	18
Figura 4 – Sistema Interligado Nacional	19
Figura 5 – Subestação Elétrica	20
Figura 6 – Zoneamento da Proteção	22
Figura 7 – Critérios de Desempenho do Sistema de Proteção	23
Figura 8 – Relé de Indução	25
Figura 9 – Relé Estático	26
Figura 10 – Subsistemas do Relé Digital	27
Figura 11 – Curva de Tempo Inverso	29
Figura 12 – Curvas de ajuste do rele de sobrecorrente temporizado	30
Figura 13 – Esquema de Proteção Diferencial	31
Figura 14 – Indicação de Proteção Direcional	32
Figura 15 – Torre de transmissão	35
Figura 16 – Instalação com cabo de guarda e sem cabo de guarda	36
Figura 17 – Eletrodo vertical	37
Figura 18 – Instalação de eletrodos na horizontal	38
Figura 19 – Esfera de Sinalização	39
Figura 20 – Para-raio de silício (SiC)	40
Figura 21 – Para-raio de óxido de zinco (ZnO)	40
Figura 22 – Isoladores	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAAC	<i>All Aluminum Alloy Conductor</i>
AAC	<i>All Aluminum Conductor</i>
ACAR	<i>Aluminum Conductor, Aluminum Alloy-Reinforced</i>
ACSR	<i>Aluminum Conductor Steel-Reinforced</i>
A/D	Analogico/Digital
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
CAA	Composto por Camadas Concêntricas
EPROM	<i>Erasable Programmable Read-Only Memory</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Comitê</i>
LT	Linha de Transmissão
NA	Normalmente Aberto
RAM	<i>Random Access Memory</i>
ROM	<i>Read-Only Memory</i>
SEP	Sistemas Elétricos de Potência
SiC	Carboneto de Silício
SIN	Sistema Interligado Nacional
TC	Transformador de Corrente
TP	Transformador de Potencial
ZnO	Óxido de Zinco

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	Estado da arte	13
1.2	Objetivos	14
1.2.1	<i>Objetivo Geral</i>	14
1.2.2	<i>Objetivos Específicos</i>	14
1.3	Metodologia	14
1.4	Justificativa do trabalho	14
1.5	Estrutura do trabalho	15
2	PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA	16
2.1	Sistemas Elétricos de Potência	16
2.2	Fundamentos de proteção de sistemas elétricos	20
2.3	Análise Geral da Proteção e Equipamentos	20
2.4	Dispositivos de Proteção	23
2.4.1	<i>Desenvolvimento Histórico dos Relés</i>	23
2.4.2	<i>Relés Eletromecânicos</i>	24
2.4.3	<i>Relés Eletrônicos ou Estáticos</i>	25
2.4.4	<i>Relés Digitais</i>	26
2.4.5	<i>Funções de Proteção</i>	28
2.5	Classificação dos Relés	28
2.5.1	<i>Relés de Sobrecorrente [50,51]</i>	28
2.5.2	<i>Relés Diferenciais [87]</i>	30
2.5.3	<i>Relés Direcionais [67]</i>	31
2.5.4	<i>Relés de Distância [21]</i>	32
2.5.5	<i>Relés de Tensão [27/59]</i>	32
2.5.6	<i>Relé de Religamento [79]</i>	33
3	PROTEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO	34
3.1	Elementos de uma Linha de Transmissão	34
3.1.1	<i>Torres</i>	34
3.1.2	<i>Condutores</i>	35
3.1.3	<i>Cabos de Guarda</i>	36
3.1.4	<i>Sistemas de Aterramento</i>	36
3.1.5	<i>Esferas de Sinalização</i>	38
3.1.6	<i>Para-Raios</i>	39
3.1.7	<i>Isoladores</i>	40

3.2	Tipos de Proteção	41
4	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	45
	APÊNDICE A – TABELA ANSI	47
	APÊNDICE B – COMPLEMENTAÇÃO DA TABELA ANSI	51
	APÊNDICE C – PROTEÇÃO DIFERENCIAL - ANSI 87	52

1 INTRODUÇÃO

1.1 Estado da arte

Vivemos em tempos no qual a energia elétrica é imprescindível para a sobrevivência e desenvolvimento da sociedade (GOMES; VIEIRA, 2009). O funcionamento de indústrias, hospitais, bancos e escolas só se torna possível com a presença da energia elétrica. Portanto percebe-se que esta proporciona o conforto, segurança e lazer para a sociedade, tornando-se impossível imaginar a vida moderna sem a eletricidade.

Para suprir tamanha demanda, existem várias matrizes energéticas, principalmente as usinas hidrelétricas em nosso país. Essas matrizes geralmente se encontram longe dos centros consumidores, tornando-se necessário sistemas de transmissão de energia, que tem como objetivo interligar os centros de geração ao centro consumidor de energia.

A energia elétrica produzida percorre longas distâncias, desde a geração até o consumo, passando por sistemas complexos de transmissão e distribuição. Quando há interrupção no fornecimento de eletricidade, é notório o transtorno causado. Isso ocorre por já estarmos acostumados com o conforto do constante provimento de energia (JUNIOR; FURLANETO; PREARO, 2009). Para evitar essas perturbações, é de extrema importância estudos que objetivem o desenvolvimento das proteções de linhas de transmissão e de todo sistema elétrico de potência.

Kindermann (1999) mostra que as proteções das linhas de transmissão têm como objetivo manter o sistema de energia estável, protegendo-o de possíveis falhas, e também fornecendo informações aos seus operadores, facilitando a identificação de possíveis problemas.

As principais falhas em um Sistema Elétrico de Potência (SEP) são curtos-circuitos, sobrecargas, sub e sobretensão, sendo causadas, na maioria das vezes, por fenômenos naturais, falhas em materiais e equipamentos e falhas humanas. Na maioria das vezes, as interrupções têm origem nas linhas de transmissão, rede de distribuição, barramento de subestações, transformador de potência e gerador. Portanto, é de extrema importância que se tenha uma proteção bem projetada e dimensionada.

Autores como Filho e Mamede (2011) e Goes (2013) mostram que as principais características para um projeto de proteção são: seletividade, velocidade, sensibilidade, confiabilidade e precisão. Sendo essenciais para a detecção de falhas e para facilitar a tomada de decisão, e assim atender todas as exigências de segurança, mantendo o fornecimento constante de energia elétrica.

Para a construção de um sistema elétrico de potência completo, é necessário um alto investimento financeiro, uma vez que os equipamentos necessários possuem grandes valores. Além de necessitarem de grande investimento de capital, um SEP está sujeito a diversos eventos que possam comprometer a qualidade do sistema. Portanto, mais importante que buscar retorno

econômico, é necessário operar de maneira segura (ZANETTA, 2006).

Neste contexto, o presente trabalho irá abordar aspectos gerais do sistema elétrico de potência e apresentar os principais elementos que constituem as linhas de transmissão e seus métodos de proteção.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

Esse trabalho tem como objetivo geral abordar conceitos dos Sistemas Elétricos de Potência, mostrando um pouco da geração, transmissão e distribuição da energia elétrica brasileira e alguns de seus dispositivos de proteção.

Tem como propósito mostrar o estudo teórico dos critérios de proteções utilizadas nos SEP's, com foco nos ajustes, evolução, tipos e classificações dos relés, baseados nas normas brasileiras de instalações elétricas.

1.2.2 Objetivos Específicos

O trabalho busca detalhar todo o sistema de transmissão de energia elétrica, mostrando os elementos que o compõe, apresentando suas funções e modo de instalação.

Também serão apresentadas os tipos de proteção aplicadas nas linhas de transmissão, como, proteção de sobrecorrente, proteção direcional, de distância, diferencial de linha, de sobretensão e em falhas de disjuntor.

1.3 Metodologia

A metodologia adotada foi a pesquisa por meio de revisões bibliográficas, desenvolvida a partir de materiais já concluídos, composto por livros, revistas, artigos entre outros trabalhos acadêmicos.

As fontes foram selecionadas considerando a inclusão de bibliografias que abordassem a norma brasileira de instalações elétricas e temáticas relacionadas ao trabalho, incluindo proteções elétricas, controle, supervisão, geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Com os materiais coletadas, deu-se início a leitura objetiva, analisando se os trabalhos em questão apresentavam o conteúdo de interesse. Em seguida, fez-se uma leitura aprofundada, registrando as informações e dados a serem extraídos dos materiais consultados.

1.4 Justificativa do trabalho

Atualmente a energia elétrica é de extrema importância para a sobrevivência e desenvolvimento da sociedade. Portanto, torna-se necessário sistemas que consigam levar essa energia

dos pontos de geração até os pontos de consumo, da forma mais segura possível.

Por isso, esse trabalho tem como justificativa trazer informações e contribuir para os estudos na área dos sistemas elétricos de potência e seus métodos de proteção, fornecendo um material introdutório ao assunto.

Partindo de uma vasta revisão bibliográfica, esse trabalho reúne informações de grandes autores e importantes trabalhos podendo, assim, colaborar no ensino e pesquisas de outros estudantes que pretendem explorar essa temática, seja na intenção de proporcionar melhorias ou apenas pela curiosidade.

1.5 Estrutura do trabalho

O presente trabalho foi estruturado em quatro capítulos, sendo o primeiro a introdução, onde é falado brevemente sobre o tema e sua importância. Também são apresentados os objetivos do trabalho, a metodologia utilizada e sua justificativa.

O segundo capítulo apresenta uma vasta revisão bibliográfica, onde primeiramente é abordado o conceito de Sistemas Elétricos de Potência (SEP), falando um pouco sobre os sistemas de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Em seguida, são mostrados os fundamentos das proteções elétricas desses sistemas, tratando sobre sua importância. Também é feita uma análise geral sobre as proteções e seus dispositivos utilizados. A próxima seção apresenta os relés de proteção, explicando sobre seu desenvolvimento histórico e seus tipos construtivos. Seguindo a revisão bibliográfica, encontra-se as classificações de alguns relés mais importantes, fazendo uma análise geral sobre seu funcionamento e onde podem ser empregados.

O terceiro capítulo apresenta as linhas de transmissão, mostrando aspectos gerais, como as principais falhas ocorridas nesses sistemas e apresentando todos seus elementos: torres, condutores, cabos de guarda, sistema de aterramento, esferas de sinalização, para-raios e isoladores, que juntos formam o sistema de transmissão de energia elétrica. Também é abordado aplicação dos relés na proteção contra sobrecorrente, sobretensão, falha de disjuntor e demais falhas que possam prejudicar o fornecimento contínuo de energia elétrica.

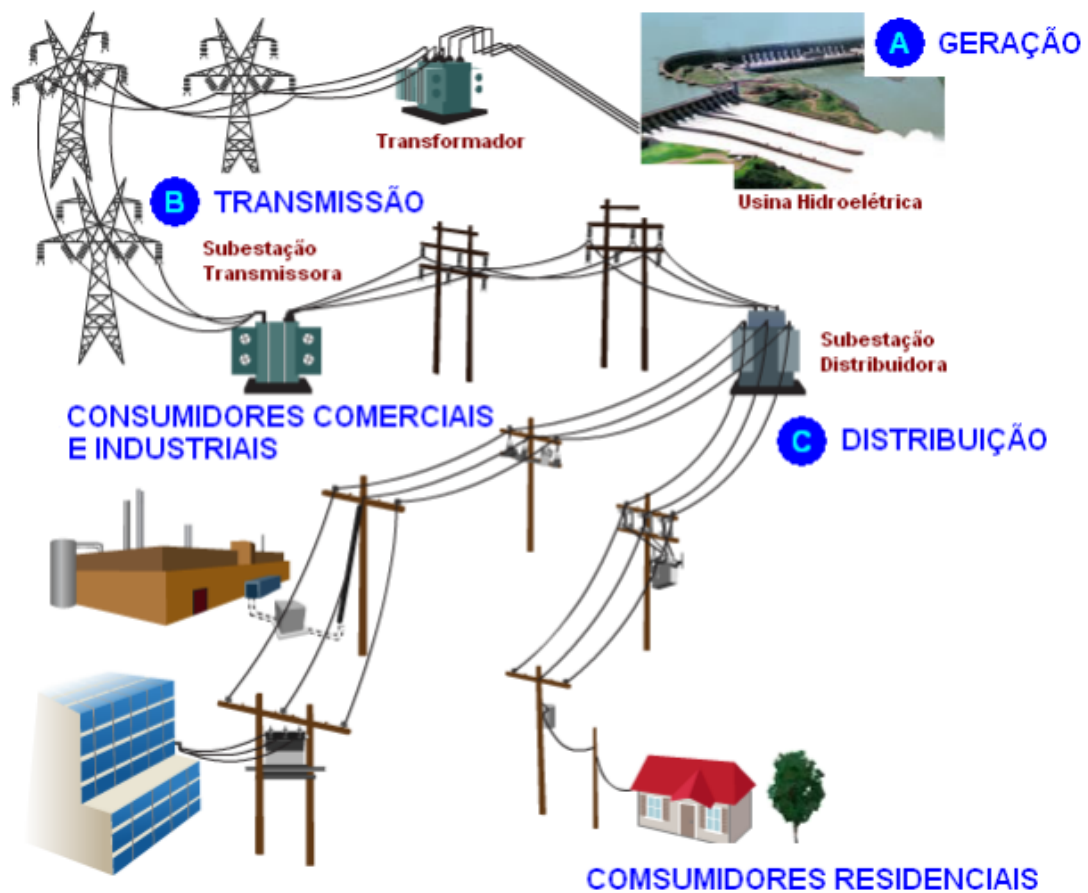
O quarto capítulo é composto pela conclusão, seguido das referências bibliográficas utilizadas para o desenvolvimento desse estudo.

2 PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA

2.1 Sistemas Elétricos de Potência

Sistemas Elétricos de Potência (SEP) são grandes sistemas de energia constituídos por usinas geradoras, linhas de transmissão e sistema de distribuição (ZANETTA, 2006). A figura 1 apresenta um esquema de funcionamento do SEP.

Figura 1 – Esquema do SEP

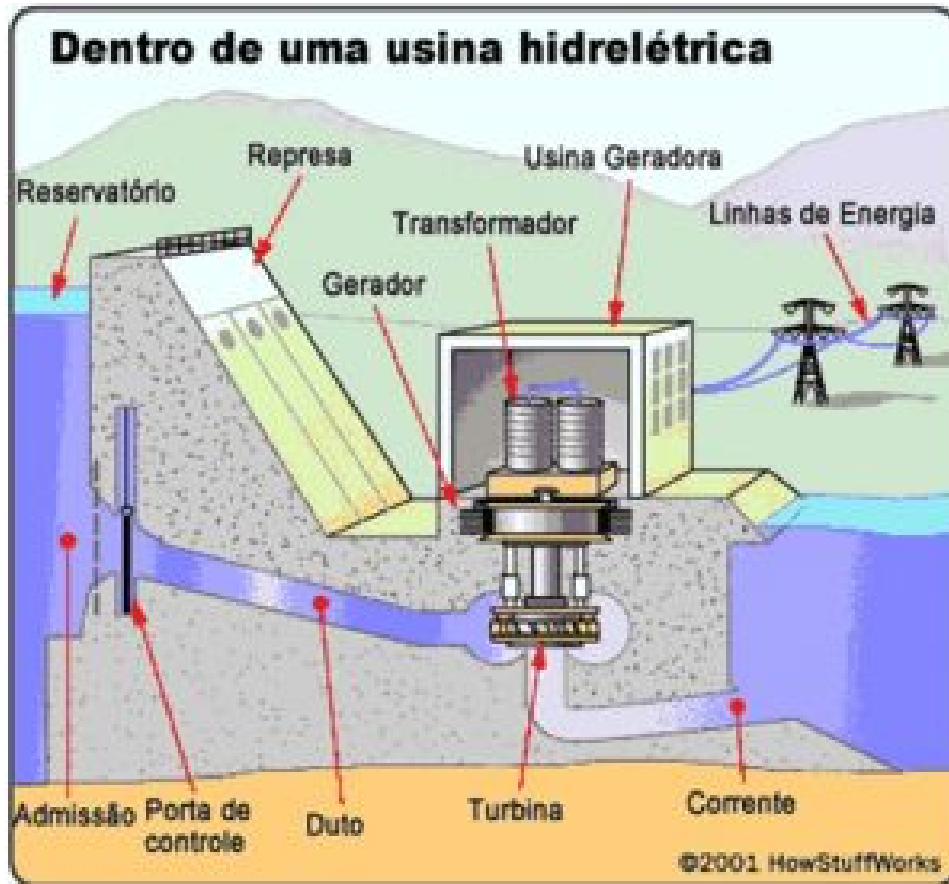


Fonte: (MATEUS, 2016)

A geração é a etapa de obtenção e transformação de energia oriunda de fonte primária (energia potencial hidráulica, gás natural, petróleo, carvão mineral, etc) em energia elétrica. Geralmente as usinas geradoras estão localizadas próximas dos recursos naturais e energéticos, como por exemplo as usinas hidrelétricas, que geralmente são encontradas em grandes rios e em pontos favoráveis para represar um alto volume de água e aproveitar o desnível para a queda d'água. A figura 2 ilustra o esquema de uma usina hidrelétrica. Do mesmo modo, as usinas térmicas são encontradas próximas das reservas de combustíveis fósseis, como o carvão e o gás natural.

Geralmente as responsáveis pela geração de energia elétrica são grandes empresas estatais ou privadas, devido ao grande subsídio financeiro necessário.

Figura 2 – Esquemático Usina Hidrelétrica



Fonte: (BONFIM, 2010)

A transmissão é o passo da condução de onde a energia foi gerada até os centros de distribuição. O transporte da eletricidade se dá através das linhas de transmissão de alta tensão por meio de cabos aéreos fixados em grandes torres de metal, como pode-se observar na figura 3. Transcorrido a travessia de longas distâncias, a eletricidade aproxima-se dos centros de consumo, onde encontram-se subestações para diminuir a tensão elétrica e assim iniciar a etapa da distribuição (ELÉTRICA, 2017).

Figura 3 – Torre de Transmissão



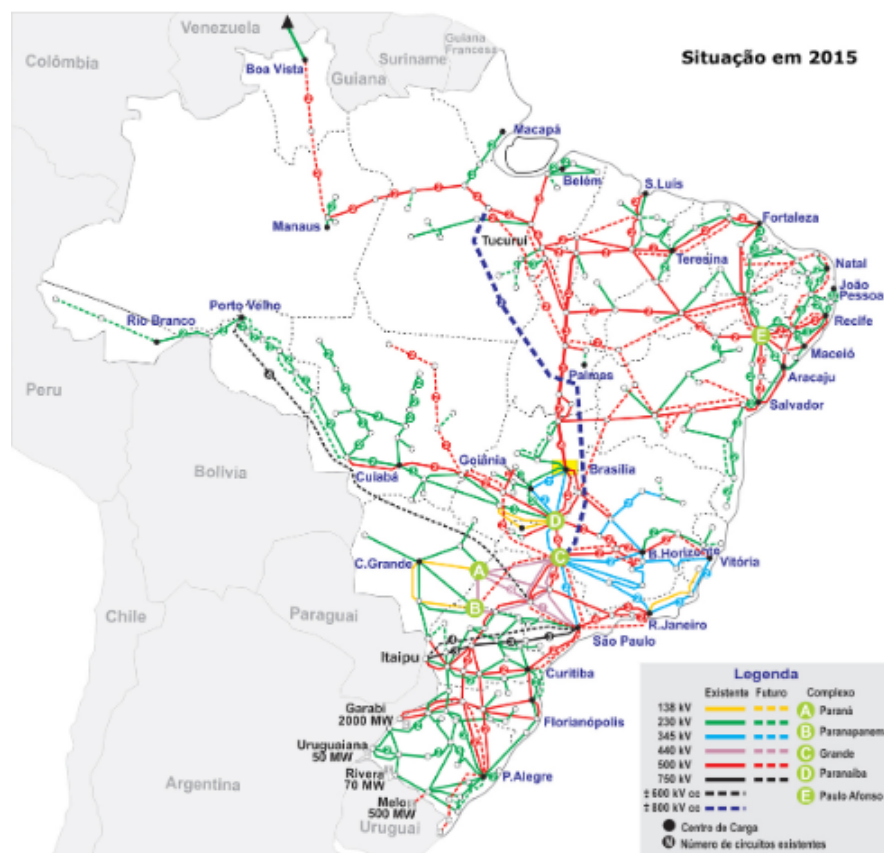
Fonte: (RST, 2015)

O procedimento de transmissão integra o Sistema Interligado Nacional (SIN) (figura 4), que emprega a malha de transmissão para transferir a energia entre os vários subsistemas.

Consideram linhas de transmissão aquelas cuja tensão são 230, 345, 500 kV e acima, e que compõem a rede básica do SIN, constituindo a maior relevância no setor elétrico brasileiro, devido aos altos investimentos e da alta demanda.

A transmissão da energia elétrica é feita em alta tensão para evitar perdas devido ao efeito Joule (dissipação da corrente elétrica em calor). Como os condutores não são ideais, oferecem uma resistência a corrente elétrica, então para evitar perdas por dissipação de calor eleva-se a tensão e diminui a corrente.

Figura 4 – Sistema Interligado Nacional



Fonte: (SCT, 2015)

A distribuição elétrica é o passo final no fornecimento de energia elétrica. É a etapa que tem como finalidade o rebaixamento da tensão oriundo do sistema de transmissão. A energia elétrica chega em subestações rebaixadoras de tensão, apresentada na figura 5. Essas são as interfaces entre a transmissão e a distribuição elétrica.

A rede de distribuição é composta por equipamentos que operam em níveis de alta tensão (superior a 69 kV e inferior a 230 kV), média tensão (superior a 1 kV e inferior a 69 kV) e baixa tensão (igual ou inferior a 1 kV) (SRD, 2015)

O sistema de distribuição é bem mais extenso e ramificado que o sistema de transmissão, pois seu grande objetivo é entregar a energia ao consumidor final, sendo ele empresas ou residências.

A rede de distribuição primária transporta alta e média tensão, atendendo grandes empresas e indústrias. Já a rede de distribuição secundária, após a rede primária passar por transformadores localizados em postes da rede elétrica, transportam baixa tensão, para atender residências, pequenos comércios e iluminação pública.

Figura 5 – Subestação Elétrica



Fonte: (ALUGAGERA, 2019)

2.2 Fundamentos de proteção de sistemas elétricos

Os estudos, projetos e instalações das técnicas de proteção são de extrema importância para os sistemas elétricos, pois este tem como função assegurar a continuidade do fornecimento de energia elétrica da melhor forma possível, além de resguardar os equipamentos de distribuição, que possuem um alto custo nas instalações elétricas (CAMINHA, 1977).

De acordo com Cotosck (2007), dois grandes objetivos de atuação da proteção são:

- Impossibilitar que falhas como curto-circuito afetem o sistema, danificando equipamentos e materiais;
- Buscar o rápido reestabelecimento da energia, para evitar danos aos consumidores e entregar uma energia de qualidade aos usuários.

O curto circuito é a falha mais habitual em um sistema elétrico. Quando ocorre um curto circuito, uma elevada corrente elétrica é produzida, podendo prejudicar o desempenho dos elementos e gerar distúrbios de tensão ao longo da linha. Além deste problema, outras anormalidades como sobrecarga, sub e sobre tensão, eventos naturais, entre outros, podem trazer consequência não menos piores para o sistema elétrico.

2.3 Análise Geral da Proteção e Equipamentos

Os tipos de proteções encontradas em um sistema são: proteção contra incêndio, proteção pelos relés e por fusível, proteção contra descargas atmosféricas e surtos de manobra (FERRARO; ARTICO; BIANCO, 2013).

As principais considerações levadas em conta em um estudo sobre proteção são:

- Elétricas: correspondem aos atributos do sistema de potência (condições de operações, natureza das faltas, sensibilidade, etc);
- Econômicas: importância operacional do equipamento (valor do mecanismo principal versus valor do sistema de proteção);
- Físicas: simplificar manutenções, acomodação, distância entre relés.

O estudo sobre as proteções tem como objetivo diminuir os custos de reparos, reduzir tempo de inatividade, perda de renda devido ao mecanismo fora de serviço.

Tudo isso corresponde a um custo de 2 a 5% dos equipamentos que estão sendo protegidos. Este é um custo relativamente barato levando em conta o tempo usual para depreciação dos equipamentos(CAMINHA, 1977).

De modo geral, os equipamentos utilizados nos sistemas de proteção devem obedecer a dois fundamentos gerais, sendo eles:

- Se não há nenhuma falha na zona de controle, a proteção não deve dar ordens alguma;
- Caso exista alguma falha, as ordens da proteção devem corresponder ao que se espera, apontando a forma, intensidade e localização do defeito.

Como resultado desses fundamentos, a proteção por relés tem as seguintes funções:

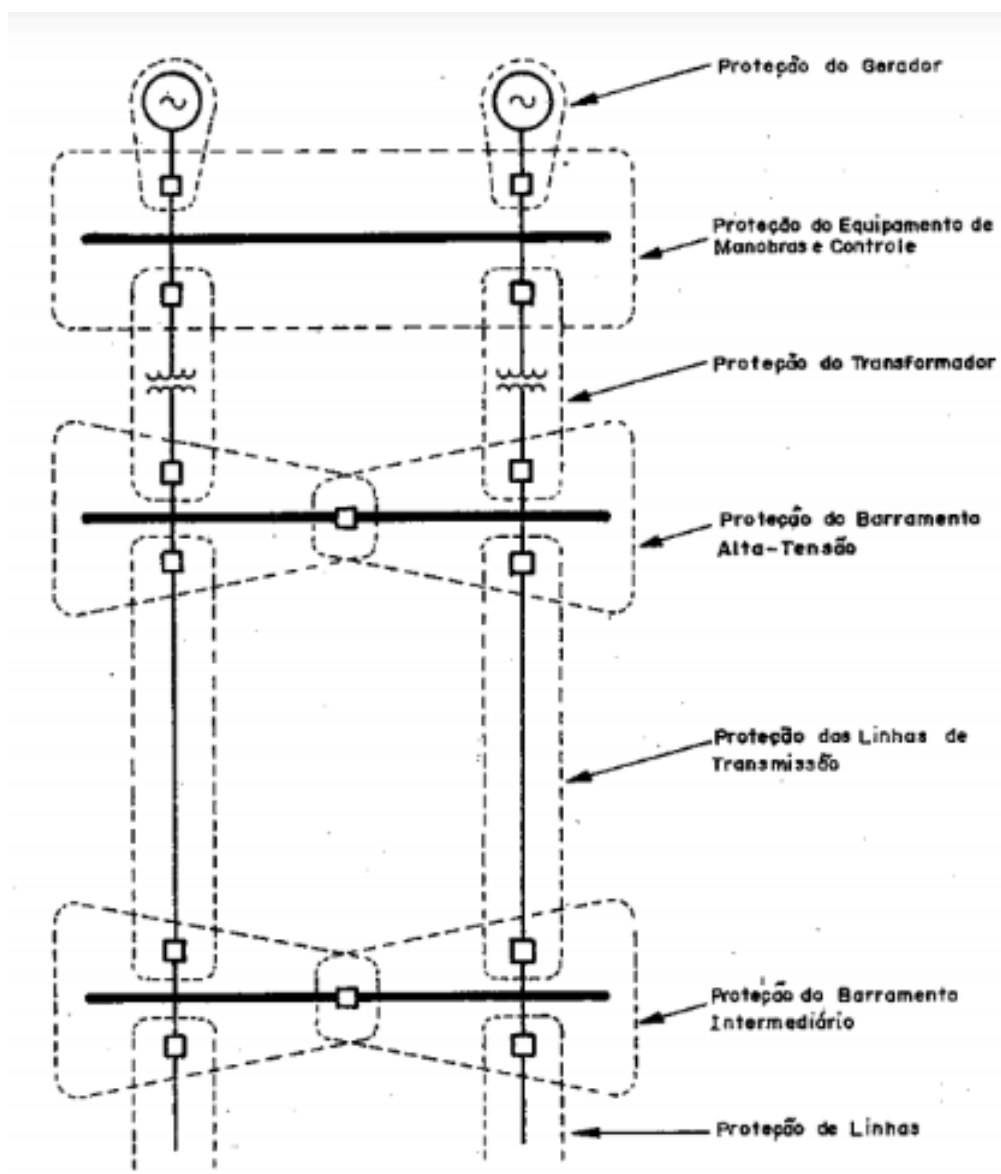
- Função principal: proporcionar veloz retirada de serviço de um elemento do sistema, quando encontrar alguma anormalidade;
- Função secundária: indicar o tipo e a localização do defeito, para que este possa ser reparado o mais rápido possível.

De acordo com o autor Caminha (1977), esses fundamentos compreendem:

- Proteção principal ou de primeira linha: ao redor de cada elemento do sistema é definido uma zona de proteção, a qual será a primeira a atuar, se houver alguma falha dentro da zona estabelecida;
- Proteção retaguarda: atua na falha da proteção principal;
- Proteção auxiliar: é um multiplicador de contatos, utilizados como temporizador e alarmes, auxiliando a proteção principal e retaguarda.

Na figura 6 pode-se observar as zonas de proteção.

Figura 6 – Zoneamento da Proteção



Fonte: (CAMINHA, 1977)

Vista essa análise geral, pode-se dizer que para um sistema de proteção atuar de forma rápida e certa, deve-se atender às seguintes características, conforme mostrado na figura 7:

Figura 7 – Critérios de Desempenho do Sistema de Proteção



Fonte: Própria

- Sensibilidade: operar na menor margem de tolerância nas situações anormais;
- Velocidade: tempo de atuação do sistema após uma falta;
- Confiabilidade: perspectiva do sistema atuar apenas em condições para o qual foi projetado;
- Segurança: atuação apenas na zona em que foi projetado;
- Seletividade: desligar apenas a zona em que ocorreu a falta, assegurando que a menor parte possível do sistema será desligada.

2.4 Dispositivos de Proteção

Para proteção de sistemas elétricos de qualquer natureza, os dispositivos básicos utilizados são os relés e os fusíveis.

Os fusíveis são fabricados com características específicas de tempo x corrente. Sendo assim, quando ocorre uma sobrecorrente, seu material metálico funde-se, interrompendo a passagem de corrente. Já os relés, são formados por uma série de dispositivos que oferecem proteções de várias formas: sobrecarga, curto-circuito, sobretensão, entre outras faltas (FILHO; MAMEDE, 2011).

2.4.1 Desenvolvimento Histórico dos Relés

Os relés eletromecânicos de indução foram os primeiros a serem criados. Em 1901 surgiu o primeiro relé de sobrecorrente do tipo indução, em 1908 foi criado o fundamento da proteção

diferencial de corrente, acompanhado, em 1910, pelo desenvolvimento da proteção direcional. A proteção a distância só veio aparecer por volta de 1930 (FILHO; MAMEDE, 2011).

Os relés eletrônicos ou estáticos começaram a surgir em 1930, mas com uma difícil introdução ao mercado, devido a forte presença do relé eletromecânico, que apresentava uma alta qualidade e robustez, sendo assim muito confiável e competitivo.

Já em 1980, com uma grande evolução da microeletrônica, começaram a surgir os primeiros relés digitais, que de começo não tiveram uma boa absorção no mercado, devido ao fracasso das proteções eletrônicas e suas falhas. Com o receio das concessionárias, os relés digitais começaram a ser usados juntamente com os relés eletromecânicos, servindo como uma proteção retaguarda (CAMINHA, 1977).

Com o tempo, os relés digitais começaram a ganhar espaço no mercado, apesar de não serem tão robustos quanto os eletromecânicos, eles ofereciam uma alta confiabilidade e um preço competitivo. A chegada dos relés digitais também trouxe uma grande mudança em alguns conceitos dos sistemas de proteção. Um exemplo é a vida útil do equipamento. Os relés eletromecânicos tinham uma duração entre 20 a 30 anos, já a vida útil dos relés digitais não é baseada no tempo de desgaste dos seus componentes e sim pela obsolescência dos softwares implementado nos sistemas.

Outra mudança trazida com os relés digitais foi em relação a capacitação dos profissionais da área. O tempo de treinamento para aprender sobre a manutenção e ajustes em um relé eletromecânico de um determinado fabricante era cerca de 10 horas. Se mudasse o fabricante, cerca de 3 horas adicionais seriam necessárias para o entendimento do equipamento. Isso se deve a construção do equipamento, que independente do fabricante, costumavam ser bem semelhantes. Já para os relés digitais o treinamento pode demorar semanas

2.4.2 Relés Eletromecânicos

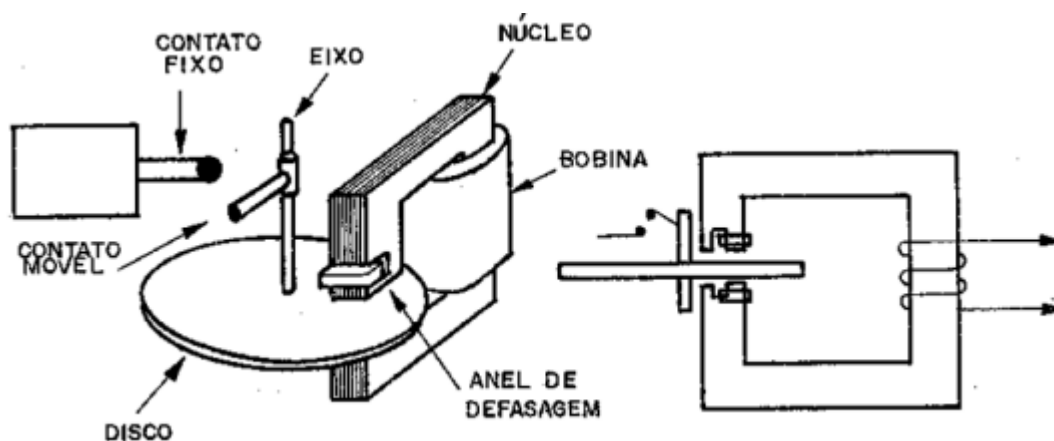
Os primeiros relés utilizados nos sistemas de proteção são compostos por bobinas, disco de indução, molas, contatos fixos e móveis. Seu princípio básico de atuação é por meio da indução ou atração eletromagnética, o mesmo princípio de um eletroímã.

O funcionamento desses relés é instantâneo. Em uma situação ideal, quando uma corrente maior do que a do ajuste do relé atinge sua bobina, a força da mola é vencida pela força magnética. Com isso, um contato normalmente aberto (NA) ligado ao relé ativa o circuito de disparo do disjuntor. Mas nem sempre isso acontece na prática, em consequência de atrito nos mancais dos eixos, imperfeição elástica das molas de retenção, efeitos causados pela temperatura e pressão, desgastes e envelhecimento dos componentes (GOES, 2013).

Existem diversos tipos de relés eletromecânicos, mas todos apresentam o mesmo princípio de funcionamento, que consiste basicamente em gerar uma defasagem no fluxo magnético pela passagem de uma corrente maior que a corrente de ajuste na bobina do equipamento. Essa

defasagem na componente do fluxo magnético atravessa o vão do relé, gerando uma corrente induzida no disco, fazendo o mesmo girar fechando o contato NA ligado ao circuito de disparo do disjuntor. Na figura 8 observa-se a estrutura de um relé de indução.

Figura 8 – Relé de Indução



Fonte: (CAMINHA, 1977)

Nos dias atuais, esse tipo de relé não é mais fabricado, mas ainda é muito encontrado em diversos lugares como prédios comerciais, fábricas e subestações, devido a sua longa vida útil. Estes são substituídos apenas quando acontece alguma reforma no sistema de proteção, a fim de se obter um melhor desempenho operacional.

2.4.3 Relés Eletrônicos ou Estáticos

Estes equipamentos de proteção possuem menores dimensões em relação ao relé de indução, possibilitando menores painéis de controle e comando. São constituídos por dispositivos eletrônicos, com circuitos integrados destinados a cada tarefa desempenhada.

Como todos seus comandos são feitos por componentes eletrônicos, esse relé não possui parte móvel, o que se torna uma vantagem em relação aos relés eletromecânicos, apresentando maior sensibilidade, velocidade de operação e menor necessidade de manutenção.

Devido à alta sensibilidade dos componentes eletrônicos, os primeiros relés ocasionavam várias atuações indevidas, pequenos harmônicos ou transitórios que são comuns em operações do sistema eram o suficiente para ativar o equipamento de proteção (COTOSCK, 2007).

Na figura 9 pode-se observar alguns exemplos de relé estático.

Figura 9 – Relé Estático



Fonte: (GOES, 2013)

2.4.4 Relés Digitais

Com o crescimento da tecnologia digital e computacional, tornou-se possível a criação dos relés digitais, equipamentos que de certa forma revolucionaram o cenário das proteções elétricas.

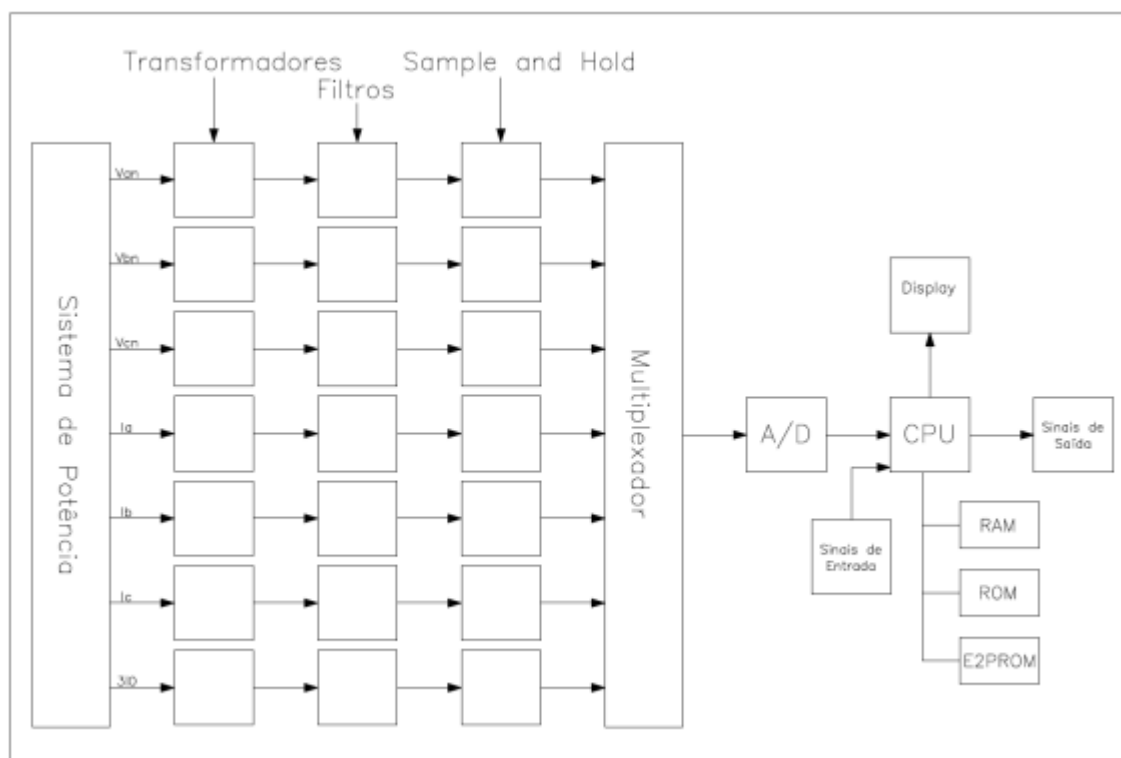
Dominando praticamente todo o mercado, esses relés utilizam microprocessadores como base e são controlados por *software*. O uso desses microprocessadores foi a solução para entraves dos equipamentos analógicos.

Esses dispositivos de proteção apresentam muitas vantagens devido a flexibilidade dos microprocessadores, que permitem um mesmo relé executar várias funções, como: comunicação remota interna, controle, maior faixa de ajuste de parâmetros, medidas elétricas e proteções auxiliares.

São constituídos por subsistemas que desempenham atividades específicas e bem definidas, tais como: armazenar e processar dados, filtragem e conversões (PHADKE; THORP, 1988).

A figura 10 apresenta os subsistemas dos relés digitais.

Figura 10 – Subsistemas do Relé Digital



Fonte: (GOES, 2013)

O principal subsistema deste equipamento é o seu processador, responsável por controlar todo o funcionamento do relé, comunicando os equipamentos periféricos e coordenando diversas funções presentes no relé.

Os dados amostrais das operações intermediárias do algoritmo são armazenadas na memória RAM (*Random Access Memory* ou Memória de Acesso Aleatório). A memória ROM (*Read-Only Memory* ou Memória Somente de Leitura) é utilizada para armazenar todo programa lógico presente no relé. Se a leitura desse programa demandar um tempo pequeno, ele é executado na própria ROM, caso contrário, deve ser copiado para a memória RAM e assim ser executado. Os ajustes dos parâmetros são armazenados na EPROM (*Erasable Programmable Read-Only Memory*) "ou, traduzido do inglês, memória programável apagável somente de leitura".

Os filtros são utilizados no módulo de interface, com o objetivo de filtrar ruídos no processamento digital dos sinais.

Sample and hold retêm os sinais das entradas analógicas e liberam esses sinais para o multiplexador.

O multiplexador possibilita que para várias entradas analógicas seja usado apenas um conversor analógico/digital (A/D).

O conversor A/D tem a função de converter grandezas analógicas em grandezas digitais, em intervalos definidos. Esses sinais serão trabalhados no processador.

Os sinais de entrada enviam ao processador informações sobre as condições atuais do sistema, como estado de disjuntores, atuação de outras proteções e alarmes. Já os sinais de saída são responsáveis pela atuação de disjuntores e alarmes.

2.4.5 Funções de Proteção

Existem relés que foram fabricados para atuarem apenas em um determinado evento, chamados de monofunção. No entanto, existem relés fabricados para atuarem em vários tipos de eventos simultaneamente, chamados de multifunção.

A fim de padronizar tais funções, a *American National Standards Institute* (ANSI) elaborou uma tabela a qual contém o código numérico e a descrição das funções de proteção. Também foi elaborado uma tabela a fim de complementar a nomenclatura. No Brasil e em grande parte do mundo, esse código é aplicado em qualquer projeto de proteção, isso facilita a compreensão desses projetos. As tabelas podem ser visualizadas nos anexos A, B e C.

2.5 Classificação dos Relés

Independente do seu tipo construtivo (eletromecânico, estático ou digital), os relés utilizados nos sistemas elétricos de potência podem ser classificados de acordo com as funções da tabela ANSI.

2.5.1 Relés de Sobrecorrente [50,51]

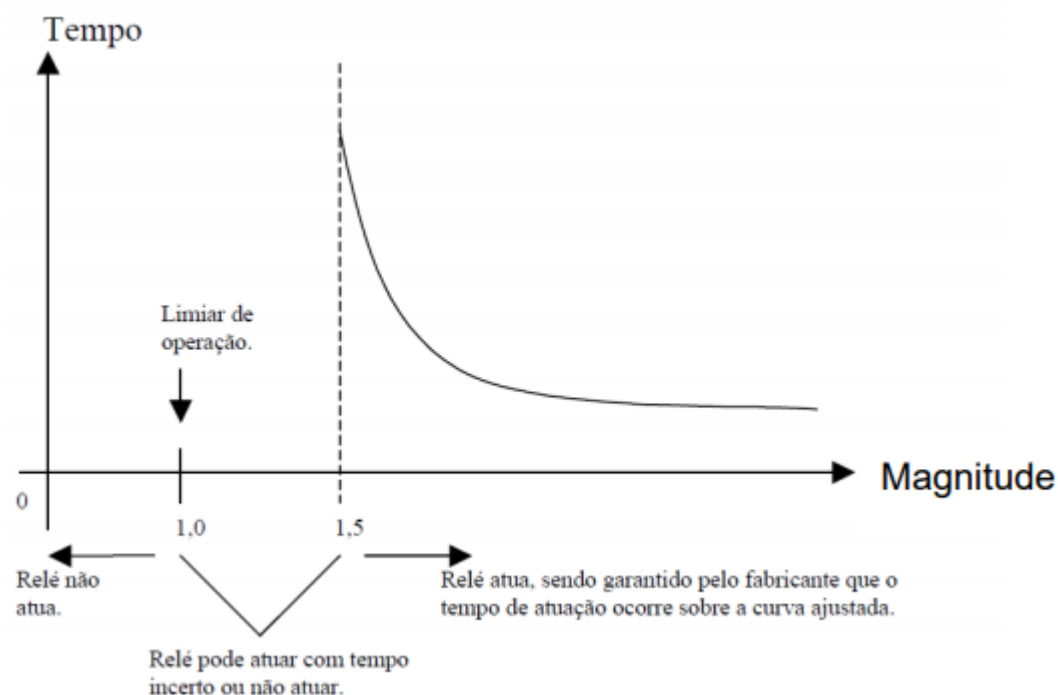
Existem os relés de sobrecorrente instantâneos e os temporizados, são interligados ao sistema por meio de transformadores de corrente (TC), que indicam as correntes reais em escalas menores. São os relés mais utilizados, empregados tanto para proteção primária quanto para retaguarda e auxiliar. Eles têm capacidade de proteger quase todos os elementos do sistema elétrico de potência, como máquinas rotativas (motor, gerador), transformadores e linhas de transmissão (FERRARO; ARTICO; BIANCO, 2013).

A codificação ANSI dada aos relés de sobrecorrente instantâneos é 50 e para os temporizados 51. Adiciona-se a letra "N" após o número para mostrar que o equipamento será aplicado ao neutro do sistema e "G" quando aplicado no terra do sistema.

Os relés de sobrecorrente instantâneos atuam imediatamente para qualquer corrente superior ao seu ajuste, dependendo apenas do seu mecanismo de operação. Já o relé de sobrecorrente temporizado, tem o tempo de atuação inversamente proporcional a magnitude da corrente, ou seja, quanto maior o nível de corrente, menor o tempo de atuação do equipamento.

Para o ajuste desses relés, não é designado tempo de atuação e sim uma curva, como mostrado na figura 11.

Figura 11 – Curva de Tempo Inverso

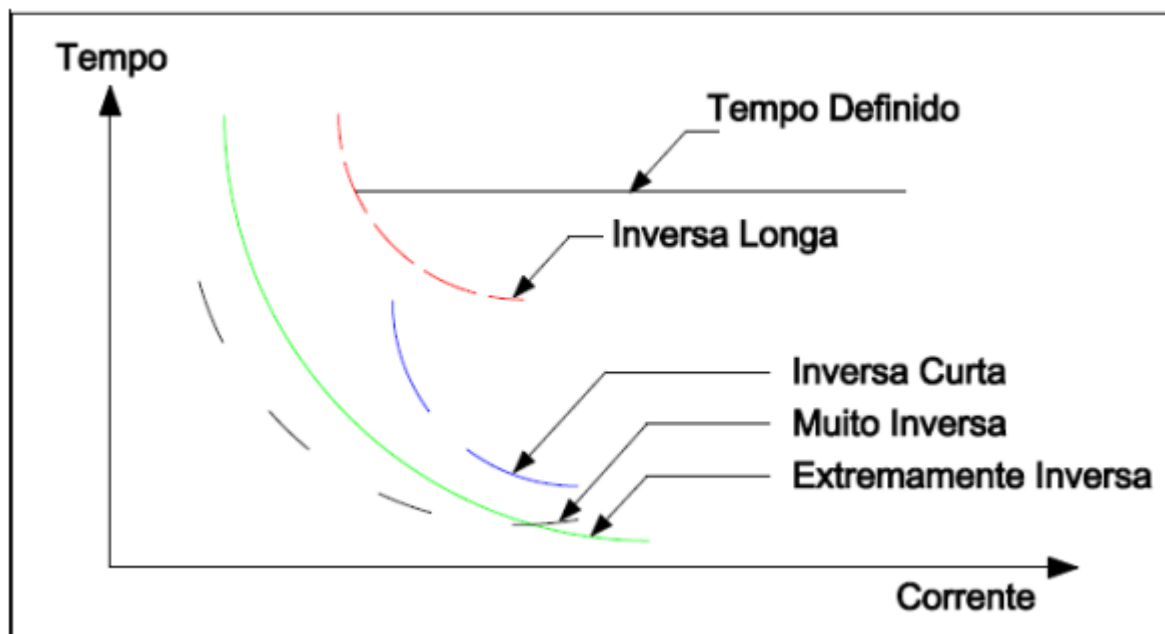


Fonte: (GOES, 2013)

Conforme a norma IEC 60255-3 (*International Electrotechnical Comite*) são definidas quatro curvas de ajuste para os relés de sobrecorrente temporizados, sendo inversa longa, inversa curta, muito inversa e extremamente inversa. A figura 12 mostra essas curvas de ajuste.

O ajuste do relé deve ser optado pela faixa mais inversa da curva, de modo que aconteça a maior variação do tempo em relação a corrente, pois nas partes mais planas praticamente não existe variação de tempo de atuação. Esse tipo de relé sem direcionalidade é utilizado onde o fluxo de corrente é conhecido. Com isso, eles devem ser arranjados com outros dispositivos como religadores, fusíveis e outros tipos de relés.

Figura 12 – Curvas de ajuste do rele de sobrecorrente temporizado



Fonte: (KINDERMANN, 1999)

2.5.2 Relés Diferenciais [87]

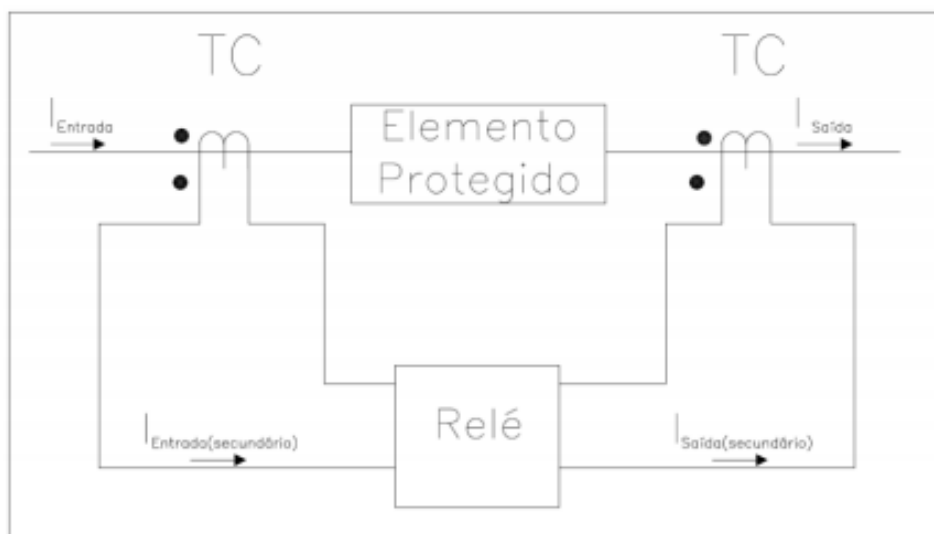
O relé diferencial tem como princípio de funcionamento a comparação entre grandezas elétricas semelhantes, que circulam entre os dois terminais de um equipamento ou de um sistema que se deseja proteger. Quando a diferença dessas grandezas excede um valor pré definido, ocorre a atuação do dispositivo. Geralmente essa grandeza a ser comparada é a corrente elétrica, analisando a corrente de entrada em relação a corrente de saída (FILHO; MAMEDE, 2011).

Sua codificação de acordo com a tabela ANSI é o número 87 (Anexo A), tendo uma tabela complementar (Anexo C) para as diversas variações que eles podem adotar.

Pode ser aplicado em vários equipamentos e zonas, como por exemplo: proteção de transformadores de potência, cabos subterrâneos, máquinas síncronas, proteção de barras e linhas de transmissão curtas.

A figura 13 mostra um esquema básico da proteção diferencial.

Figura 13 – Esquema de Proteção Diferencial



Fonte: (SILVA, 2015)

2.5.3 Relés Direcionais [67]

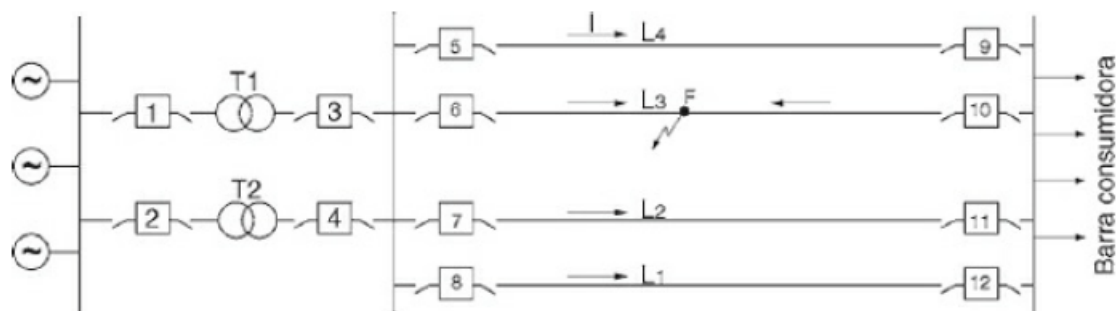
Normalmente os sistemas elétricos de distribuição e linhas de transmissão radiais são protegidos por relés de sobrecorrente temporizados. Entretanto, quando a configuração desses sistemas não são radiais, ou seja, configuração em anel ou alimentado pelas duas extremidades, existe a necessidade de implementar o relé direcional junto ao relé de sobrecorrente, pois o relé direcional não é capaz de realizar a proteção apropriada sozinho.

Esses dispositivos recebem a codificação 67 e tem como finalidade identificar em uma determinada área qual o sentido da corrente ou potência. Se a potência ou a corrente estiverem fluindo no sentido contrário ao normal, o dispositivo deve enviar sinais de disparo ao disjuntor, permitindo uma proteção seletiva.

A figura 14 ilustra um sistema com quatro linhas de transmissão, uma fonte formada por três geradores conectados a uma barra de carga e nos disjuntores 9, 10, 11 e 12 existe a presença de relés direcionais. Nesse esquema mostrado a seguir, a corrente parte no sentido fonte-carga, mas na linha L3 tem a presença de corrente inversa, ocasionando uma falta no ponto F. Com isso, o relé direcional, junto ao disjuntor 10, recebe um sinal no momento da inversão da corrente, desarmando tal disjuntor para a proteção da linha. Nas demais linhas, a corrente continua fluindo normalmente, portanto não há atuação dos demais relés presentes nos disjuntores 9, 11 e 12.

Como nos disjuntores 9, 10, 11 e 12 existe a presença de relés direcionais, nos disjuntores 5, 6, 7 e 8 não existe a necessidade de implementar tal dispositivo, basta a presença de relés de sobrecorrente [50,51]. Já os relés dos disjuntores 3 e 4, devem ser operados por relés de sobrecorrente direcionais devido ao paralelo das fontes de geração.

Figura 14 – Indicação de Proteção Direcional



Fonte: (FILHO; MAMEDE, 2011)

2.5.4 Relés de Distância [21]

O relé de distância é representado pelo número 21, existindo vários tipos, como o de admitância, reatância e impedância, sendo este último o mais comum. Esses dispositivos são muito usados para proteção de linhas de transmissão, pois estas apresentam longas distâncias e configurações de sistema bastante complexas, tornando outros dispositivos, como os relés de sobrecorrente, sofríveis para cumprir uma proteção adequada.

Os relés de distância do tipo impedância têm o tempo de atuação proporcional à distância entre o local de instalação do dispositivo e o local do defeito. Geralmente são instalados no início da linha e alimentados por tensão e corrente do próprio circuito protegido. Esses relés processam a tensão aplicada em seus terminais, ligados por meio dos transformadores de potencial (TPs), ao sistema de potência e à corrente de defeito que circula no mesmo ponto, resultando na expressão V/I , de onde originou-se o nome do dispositivo, uma vez que tal grandeza determina a distância de um trecho do alimentador a partir da impedância do condutor. Caso a impedância medida for menor que o valor de ajuste do relé, ele deve atuar (FILHO; MAMEDE, 2011).

Mudanças na rede elétrica, como variação na geração de energia ao longo do tempo, ou na configuração do sistema, não afetam a impedância vista pelo relé, pois as variações de tensão acompanham as variações de corrente no ponto onde está o relé.

2.5.5 Relés de Tensão [27/59]

Os relés de tensão são compostos pelos elementos de sub e sobretensão, sendo o relé de subtensão codificado pelo número 27 e o relé de sobretensão codificado pelo número 59.

Os dispositivos de subtensão são destinados a proteção de sistemas submetidos a níveis de tensão inferiores aos valores mínimos necessários aos equipamentos em operação. Para os relés de subtensão temporizados, o valor de ajuste adotado é de 90% do valor nominal e para os relés instantâneos esse valor é de 80% do valor nominal. Esses dispositivos podem ser empregados para proteção monofásica, bem como proteção trifásica.

Já os relés de sobretensão, são designados a proteção de sistemas submetidos a níveis de tensão superior aos valores máximos necessários para os equipamentos em operação. Para os relés de sobretensão temporizados, o valor de ajuste é de 115% do valor nominal e para os relés instantâneos o valor é de 120% do valor nominal. Esses dispositivos também podem ser empregados para proteção monofásica, assim como proteção trifásica.

2.5.6 Relé de Religamento [79]

Relé de religamento, como o seu próprio nome já diz, esses dispositivos são empregados para o religamento do sistema quando as condições normais do circuito foram reestabelecidas. Codificado com o número 79, esse relé trabalha associado a um religador. Assim, o relé envia um sinal para o fechamento automático do religador que desconectou o sistema.

Esse dispositivo deve ser aplicado em circuitos radiais, instalados nas subestações de potência, para proteção do alimentador de distribuição ou em linhas de transmissão. A quantidade de defeitos nesses sistemas são bem altas, como por exemplo o toque de árvores nos condutores. Com o dispositivo de religamento, não torna-se necessário o deslocamento de equipe de manutenção para um acidente constante e comum ([FILHO; MAMEDE, 2011](#)).

Quando ocorre algum pico de corrente, como por exemplo algum surto de manobra, o relé de religamento poderia atuar, mas ele é equipado com um sistema de bloqueio que é ligado a uma unidade de atuação instantânea de um relé de sobrecorrente. Caso o defeito seja permanente, a proteção temporizada do relé de sobrecorrente fará o desligamento do religador.

3 PROTEÇÃO DE LINHAS DE TRANSMISSÃO

As linhas de transmissão têm como objetivo transportar a energia elétrica produzida nas fontes geradoras, até as subestações abaixadoras, próximas aos centros consumidores (CAMINHA, 1977). Como no Brasil a maior fonte geradora são as usinas hidrelétricas e normalmente ficam afastadas dos centros de carga, necessita-se de uma longa linha de transmissão e, devido ao grande comprimento, essas linhas estão susceptíveis a defeitos causados por vandalismos, descargas atmosféricas, defeitos que motivam curtos circuitos, queimadas e fortes ondas de ventos.

Juntamento com os relés, são utilizados outros dispositivos de segurança, como cabos guarda instalados na parte superior das torres, para-raios de sobretensão contra ondas vindas de descargas atmosféricas ou surtos de manobras e disjuntores associados a relés de proteção (FILHO; MAMEDE, 2011).

Estatisticamente é mostrado que a maior parte das falhas nos sistemas elétrico de potência acontecem nas linhas de transmissão, cerca de 60% motivados pelos problemas citados acima, principalmente pelos curtos circuitos e sobrecarga. Portanto, a proteção desse sistema deve agir de forma extremamente rápida e seletiva, atuando apenas nos trechos de falta.

3.1 Elementos de uma Linha de Transmissão

3.1.1 Torres

As torres são os elementos mais visíveis de um sistema de transmissão de energia elétrica. Essas grandes estruturas tem como função a sustentação do circuito e o distanciamento dos condutores entre si.

Existe uma grande variedade de torres. Normalmente são de aço galvanizado e podem ser classificadas como autoportantes, que são sustentadas pela própria estrutura, ou estaiadas, que são sustentadas por cabos de aço tensionados no solo. A figura 15 mostra torres de transmissão.

Figura 15 – Torre de transmissão



Fonte: (RST, 2015)

3.1.2 Condutores

Os condutores devem apresentar uma boa resistência mecânica, alta condutividade elétrica, baixo peso específico, elevada resistência à oxidação e baixo custo. Eles são dimensionados para suportarem potência compatível com sua capacidade térmica. Esses cabos podem ser de alumínio, liga alumínio-aço, e alumínio com alma de aço. A escolha do alumínio se deve ao preço.

Os cabos utilizados com maior frequência nos projetos de transmissão são os seguintes:

- AAC (“*all aluminum conductor*”): esse tipo de cabo é composto por vários fios de alumínio encordoados
- AAAC (“*all aluminum alloy conductor*”): mesmo princípio dos cabos AAC, porém neste caso são utilizadas ligas de alumínio de alta resistência. É o cabo com menor relação peso/carga de ruptura e menores flechas, mas é o de maior resistência elétrica entre os citados.
- ACSR (“*aluminum conductor steel-reinforced*”): é também denominado de cabos CAA. Composto por camadas concêntricas de fios de alumínio encordoados sobre uma alma de aço, que pode ser um único fio ou vários fios encordoados.
- ACAR (“*aluminum conductor, aluminum alloy-reinforced*”): é composto de maneira idêntica aos cabos do tipo ACSR, porém ao invés de se utilizar alma com cabos de aço,

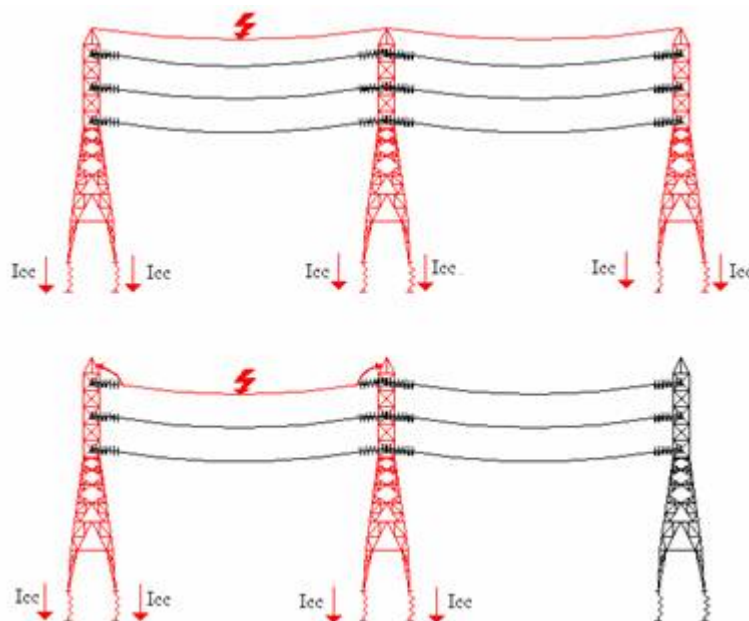
utiliza-se alma com fios de alumínio de alta resistência mecânica. Assim, a sua relação peso/carga de ruptura fica ligeiramente maior do que a do cabo ACSR.

3.1.3 Cabos de Guarda

Os cabos de guarda são instalados no topo das torres, acima dos condutores, e tem como função promover a blindagem dos condutores contra descargas atmosféricas. Normalmente são cabos de aço revestidos de alumínio, também podem conter em seu núcleo um conjunto de fibras óticas.

As descargas atmosféricas causam sérias perturbações nas redes de transmissão, induzindo surtos de tensão que chegam a centenas de kV, podendo provocar danos materiais nas estruturas atingidas por ela e colocando a vida de pessoas e animais em risco. A figura 16, mostra que, na ausência desses cabos, a corrente das descargas tem de escoar por apenas dois caminhos, já com a presença dos cabos, haverá mais caminhos para o escoamento da corrente.

Figura 16 – Instalação com cabo de guarda e sem cabo de guarda



Fonte: (ATLANTIC, 2011)

3.1.4 Sistemas de Aterramento

O aterramento é de extrema importância para qualquer instalação que envolva eletricidade. Esse sistema é constituído por hastes ou cabos ligados propositalmente ao solo. Esses elementos, geralmente, são feitos de aço galvanizado ou aço banhado a cobre.

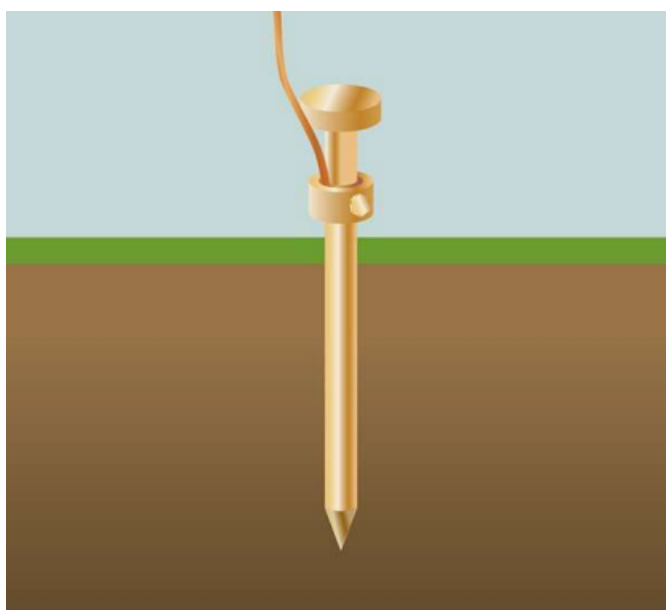
O sistema de aterramento é responsável pelo escoamento de correntes anormais, que ocorrem sobre linhas de transmissão. É adotado o solo para o escoamento das correntes de surto,

devido ao potencial nulo, isto é, ausência de tensão, que contribui para um caminho que oferece menores obstáculos à passagem da corrente.

Segundo [Visacro \(2002\)](#) a premissa básica para o desenvolvimento de um projeto de aterramento de linhas de transmissão é o conhecimento da resistividade do solo. O condutor aterrado deve ser capaz de suportar, por um certo tempo, as correntes originárias de descargas atmosféricas, como também a corrente de curto circuito dimensionada da linha de transmissão.

Existem dois métodos de aterramento comumente utilizados, o primeiro é o uso de eletrodos localizados perpendicularmente em relação a face do solo, conhecido como hastes de aterramento ou eletrodos dispostos na vertical, mostrado na figura 17. O segundo e mais utilizado em aterramento de linha de transmissão, é conhecido como método em contrapeso. Os eletrodos são colocados horizontalmente sob o solo, como ilustra a figura 18. De acordo com a NBR 5422/1985 fica a critério da proprietária da linha a escolha do método de aterramento utilizado. Visa-se sempre aliar um ajuste técnico/econômico entre os variados fatores envolvidos ([ABNT, 1985](#)).

Figura 17 – Eletrodo vertical



Fonte: ([FLUKER, 2011](#))

Figura 18 – Instalação de eletrodos na horizontal



Fonte: (FAW-7, 2015)

Os objetivos do sistema de aterramento são:

- segurança de atuação da proteção;
- proteção das instalações contra descargas atmosféricas;
- proteção do indivíduo contra contatos com partes metálicas da instalação energizada acidentalmente;
- uniformização do potencial em toda a área do projeto, prevenindo contra lesões perigosas que possam surgir durante uma falta fase-terra.

3.1.5 Esferas de Sinalização

As esferas têm como objetivo sinalizar a presença de cabos aéreos, para evitar acidentes com aeronaves ou outros equipamentos aéreos. Geralmente são na coloração alaranjada e feitas de resinas e fibra de vidro. São colocadas com espaçamentos pré-definidos em estruturas com altura superior a 150 metros, conforme estabelece a norma NBR 15237 (ABNT, 2005).

Essas esferas não requerem manutenção, não se deslocam, não giram, não ocorre atrito com o cabo, nem causam eletrólise ou ressonância harmônica na vibração. A figura 19, mostra uma esfera de sinalização.

Figura 19 – Esfera de Sinalização



Fonte: (FERRARO; ARTICO; BIANCO, 2013)

3.1.6 Para-Raios

Os para-raios são instalados em paralelo com a cadeia de isoladores e possuem propriedades não lineares, que fornecem um caminho de baixa impedância para as correntes de falta e limitam os níveis de sobretensão transitórias que se estabelecem nos terminais das cadeias dos isoladores (GIAROLA, 2016). Com a ausência dos para-raios, as sobretensões que eventualmente atinjam os equipamentos elétricos, podem causar o rompimento dielétrico e trazer danos às instalações, além de danos pessoais e ao meio ambiente.

A aplicação de para-raios em linhas de transmissão tem como objetivo principal atenuar o número de desligamentos indesejáveis, tendo como causa as descargas atmosféricas, seja descargas diretas quanto indiretas (sobretensões induzidas).

O para-raio, conduzirá a corrente de surto cuja amplitude depende da amplitude e da forma da corrente de descarga, da impedância transitória do sistema de aterramento e da impedância dos cabos de guarda, retornando às condições normais de operação após a passagem do surto, cuja duração máxima é da ordem de centenas de micro segundos.

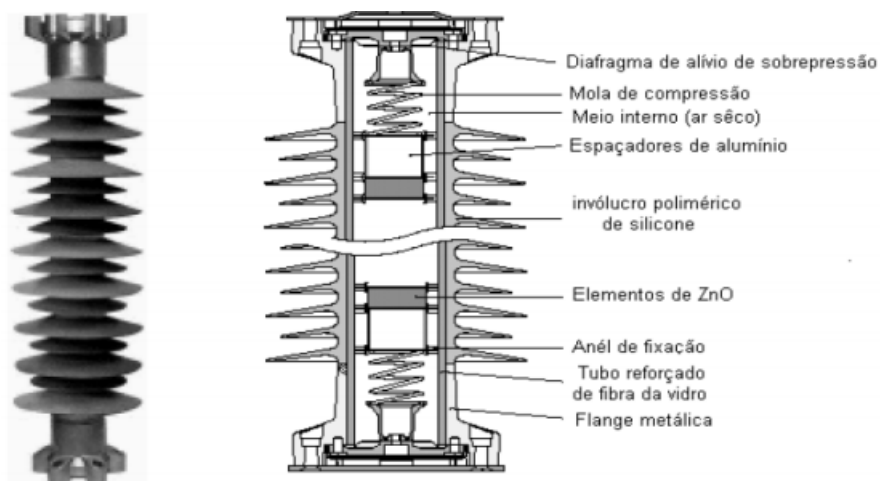
Habitualmente são utilizados dois tipos de para-raios, o de carboneto de silício (SiC), que atualmente não é mais produzido, mas ainda é encontrado em várias instalações e o de óxido de zinco (ZnO). Nas figuras 20 e 21 pode-se observar o modelo construtivo desses dois tipos de para-raios.

Figura 20 – Para-raio de silício (SiC)



Fonte: (FERRARO; ARTICO; BIANCO, 2013)

Figura 21 – Para-raio de óxido de zinco (ZnO)



Fonte: (FERRARO; ARTICO; BIANCO, 2013)

3.1.7 Isoladores

Os isoladores servem para fixar os condutores às estruturas, mantendo o isolamento necessário entre eles, evitando a dissipação de energia através da estrutura da torre. Normalmente, esses equipamentos são discos feitos de vidro, porcelana ou polímeros, devem garantir a rigidez dielétrica e suportar o peso dos cabos. A figura 22 apresenta uma cadeia de isoladores instalados em uma linha de transmissão.

Figura 22 – Isoladores



Fonte: (MARQUES, 2010)

3.2 Tipos de Proteção

- Proteção de sobrecorrente: para ocorrer a proteção básica da linha de transmissão, é utilizada a chamada proteção de sobrecorrente. Sendo considerada a mais simples e barata, sua implantação requer uma considerável rapidez de substituição ou reajustes, de acordo com a modificação do sistema. Deve-se utilizar relés de sobrecorrente, funções [50/51], os quais podem ser usados para proteger qualquer elemento do sistema, e respondem de acordo com a amplitude de sua corrente. É aplicada em grande parte dos níveis de tensão, podendo ser empregadas sozinhas – como ocorre em linhas de distribuição radiais – ou associadas a outros tipos de proteção de primeira linha (proteção de distância, proteção direcional e proteção diferencial).
- Proteção direcional de sobrecorrente: os relés direcionais de sobrecorrente devem ser utilizados sempre que ocorrer o fluxo de corrente, em pelo menos dois sentidos de uma linha de transmissão. Isso ocorre, por exemplo, quando duas subestações são conectadas de maneira em que são instaladas duas ou mais fontes de geração (cada uma partindo de uma subestação), possibilitando, assim, que o fluxo de corrente ocorra em mais de um sentido. Para definir com maior precisão, as linhas de transmissão podem ser também protegidas

por relés direcionais de sobrecorrente, função [67], e na sua aplicação, devem-se observar os seguintes critérios:

- Proteção instantânea: ocorre quando a corrente inversa é superior a 80% da corrente que deve fluir no sentido normal;
 - Proteção temporizada: quando a corrente inversa é superior a 25% da corrente que flui em sentido normal.
- Proteção de distância: a utilização da proteção de distância tornou-se comum para as redes de alta e muito alta tensão, assim como, para as redes de média tensão e com alimentação multilateral. Nas ocasiões onde há defeitos no trecho protegido, é garantido o curto tempo de desligamento e da proteção das barras e linhas vizinhas usando as demais zonas de ajustes disponíveis. Além disso possui independência de fios pilotos entre as extremidades. Assim, pode-se dizer que é uma proteção temporizada, na qual o escalonamento é também função da impedância, ao invés da corrente apenas. O sistema de proteção compara a corrente local com a tensão local na fase correspondente ou suas componentes convenientes. É necessário dar prioridade na utilização de relés de distância quando o relé de sobrecorrente estiver lento ou não seletivo. Além disso, tais relés são menos afetados pela magnitude da corrente de defeito e pela variação da capacidade geradora e configuração do sistema.

Através de mudanças na unidade de operação e restrição, obtêm-se quatro tipos básicos de relés de distância, com características peculiares, que os tornam adequados a aplicações definidas em linhas de transmissão. Segundo [Filho e Mamede \(2011\)](#) esses relés são:

- Relés de reatância: são relés indicados para aplicação em linhas de transmissão consideradas curtas, em que a resistência de arco pode atingir um valor significativo, quando comparado com a impedância da linha de transmissão.
- Relés de admitância: são indicados para aplicação em linhas de transmissão consideradas longas, já que sua característica operacional ocupa um espaço, o que os torna menos sensíveis às oscilações indesejáveis de potência. Mesmo para resistência de arco elevada, que não se acomode adequadamente na característica desse relé, não há restrição quanto à sua aplicação em linhas de transmissão longas, pois sua impedância é muito superior à resistência de arco.
- Relés de impedância: são relés mais indicados para aplicação em linhas de transmissão consideradas médias, devido à sua característica operacional ser mais afetada pela resistência de arco do que o relé de admitância.

A fim de aumentar a confiabilidade e obter a seletividade da proteção de distância, são adotados esquemas de teleproteção. Esse tipo de projeto utiliza comunicação entre relés das barras adjacentes de uma linha de transmissão (LT).

É um sistema de proteção onde um dado terminal é informado pelo terminal remoto da existência de falta na zona de interesse, utilizando-se de um sistema de transmissão via fio piloto com um receptor e transmissor em cada um dos terminais.

- Proteção diferencial de linha: para desempenhar essa função, utiliza-se o relé função 87L, que são colocados nas duas extremidades das linhas de transmissão, utilizando meios de comunicação como fio piloto, transmissão a rádio ou fibra ótica. Esses dispositivos comparam as correntes local e remota de fase e de sequência para permitir o funcionamento no tempo esperado. Podem atuar em faltas desequilibradas, com fluxo de corrente inferior ao valor da corrente de carga da linha de transmissão.

- Proteção de sobretensão: as linhas de transmissão estão sujeitas a elevados níveis de sobretensão, geralmente resultante de eventos naturais ou pelo rompimento do equilíbrio energético entre a quantidade de energia que está sendo gerada e injetada na barra de geração e a quantidade de energia que está sendo consumida nas barras de consumo.

Para a proteção contra sobretensões, deve ser utilizado o relé de sobretensão instantâneo e temporizado (função 59). Para estabelecer o ajuste desses relés, é indispensável desenvolver estudos elétricos em regime dinâmico, com simulações de abertura de linhas, e observar os níveis de tensão em suas diferentes barras.

- Falha de disjuntor: são equipamentos constituídos de muitas peças mecânicas fixas e móveis, além de fios, bornes, relés auxiliares, etc. Com isso, estão sempre sujeitos a diversos tipos de falhas que, segundo [Caminha \(1977\)](#), podem ser classificadas como:

- Falhas mecânicas: podem surgir por desgastes prematuros ou naturais dos componentes, causados por falhas de manutenção ou dimensionamento inadequado. As falhas mecânicas mais recorrentes são: quebra da alavanca de manobra, ruptura das molas de abertura e fechamento, ruptura de pinos, parafusos etc, colagem dos contatos principais e auxiliares ou falha de vedação das câmaras de extinção de arco.

- Falhas elétricas: esse tipo de falha pode aparecer devido ao desgaste natural ou prematuro dos componentes eletromecânicos, ocasionando: baixa da rigidez dielétrica do óleo isolante na câmara de extinção de arco, baixa pressão na câmara de SF₆, perda de pressão negativa da câmara de vácuo, ruptura da bobina de abertura do disjuntor, ruptura de contatos elétricos.

Com isso, pode-se observar que existem variados tipos de falhas no disjuntor e esse elemento é fundamental na confiabilidade de um sistema de proteção. Portanto, é necessário adotar esquemas adequados para proteger o sistema, quando essas falhas ocorrerem, de forma a transferir a abertura do trecho da rede elétrica danificada para os disjuntores instalados mais próximos. A proteção de falhas no disjuntor é dada pela combinação dos relés de sobrecorrente e temporizado.

4 CONCLUSÃO

O objetivo do trabalho foi alcançado, visto que foi possível fazer uma análise geral sobre a importância dos sistemas elétricos de potência e alguns métodos para sua proteção. Para isso, foi realizado um estudo sobre os principais dispositivos utilizados para assegurar a continuidade da transmissão de energia elétrica da melhor forma possível.

Foi possível compreender os elementos elétricos, que juntos formam o chamado Sistema Elétrico de Potência, apresentando sua complexidade, desde a geração da energia elétrica, assim como os sistemas de transmissão, que formam o Sistema Interligado Nacional (SIN). Por fim tratou-se também da distribuição elétrica, que ao passar pelas subestações abaixadoras de tensão são levadas aos consumidores.

Ao longo do trabalho também foi mostrado a evolução dos relés de proteção, que com o passar do tempo e o surgimento de tecnologias, foram ganhando novos conceitos e se tornando cada vez mais confiáveis. Atualmente os relés eletromecânicos foram substituídos pelos relés digitais, trazendo muito mais praticidade, confiabilidade e segurança aos SEP's.

Sobre as linhas de transmissão, considerando que esta é a parte do sistema elétrico de potência mais vulnerável às falhas elétricas, pôde ser exposto ao longo do trabalho a importância do estudo nessa área, apresentando seus componentes e a relevância de cada um deles na estruturação e proteção, para que se tenha um fornecimento contínuo de energia elétrica. O objetivo de mostrar como funcionam e como são instalados, assim como, os parâmetros de proteção dos elementos que a compõem, foram atingidos.

Por fim, entende-se que as proteções elétricas necessitam de um projeto muito bem elaborado, devido a complexidade dos sistemas, avaliando sempre a necessidade de cada elemento do sistema e quais dispositivos atendem melhor as demandas exigidas. As proteções elétricas são de extrema importância para um fornecimento seguro da energia elétrica. Sem essas ferramentas, seria praticamente impossível o fornecimento e crescimento da indústria energética.

Para trabalhos futuros, podem ser sugeridas várias propostas, como exemplo, uma abordagem mais detalhada sobre a modernização dos dispositivos utilizados para proteção elétrica. Também pode ser elaborado um trabalho aprofundando mais na proteção de um determinado setor do sistema elétrico de potência (geração e distribuição), ou até mesmo abordar a proteção elétrica industrial. Outra proposta pode ser um estudo aprofundado em um determinado dispositivo de segurança, mostrando seu funcionamento e aplicação de forma detalhada.

REFERÊNCIAS

- ALUGAGERA. *O que são Subestações Elétricas?* 2019. ALUGAGERA. Disponível em: <<https://alugagera.com.br/noticias/o-que-e-subestacao-eletrica>>. Acesso em: 27 abr. 2020. Citado na página 20.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Projetos de linhas aéreas de transmissão de energia elétrica*: Nbr 5422/1985. Rio de Janeiro, 1985. 19 p. Citado na página 37.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Esfera de sinalização diurna para linhas aéreas de transmissão de energia elétrica - Especificação*: Nbr 15237/2005. Rio de Janeiro, 2005. 5 p. Citado na página 38.
- ATLANTIC. *Componentes de uma Linha de Transmissão*. 2011. Atlantic. Disponível em: <<http://www.atlanticenergias.com.br/como-funciona-a-linha-de-transmissao/>>. Acesso em: 27 abr. 2020. Citado na página 36.
- BONFIM, E. *Componentes de uma Usina Hidrelétrica*. 2010. Eletrônica Pro. Disponível em: <<http://eletronicapro.blogspot.com/2010/11/componentes-de-uma-usina-hidreletrica.html>>. Acesso em: 26 mar. 2020. Citado na página 17.
- CAMINHA, A. C. *Introdução à Proteção dos Sistemas Elétricos*. São Paulo: Edgard Blucher, 1977. Citado 7 vezes nas páginas 20, 21, 22, 24, 25, 34 e 43.
- COTOSCK, K. R. *Proteção de Sistemas Elétricos: Uma Abordagem Técnico-Pedagógica*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 25.
- ELÉTRICA, A. N. de E. *Plano de Dados Abertos 2016-2017*. 2017. ANEEL. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/documents/656835/15191813/DD_IG_2_1.pdf/b7e5ff1d-0d29-8570-682d-e06d337ae945>. Acesso em: 23 mar. 2020. Citado na página 17.
- FAW-7. *Aterramento de linha de transmissão – cabo contrapeso*. 2015. Faw-7. Disponível em: <<http://www.faw7.com.br/artigos-tecnicos/aterramento-de-linha-de-transmissao-cabo-contrapeso/>>. Acesso em: 27 abr. 2020. Citado na página 38.
- FERRARO, A. G.; ARTICO, M.; BIANCO, B. A. *PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA COM ÊNFASE EM LINHAS DE TRANSMISSÃO*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade São Francisco, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 20, 28, 39 e 40.
- FILHO, J. M.; MAMEDE, D. R. *Proteção de Sistema Elétricos de Potência*. Rio de Janeiro: LTC, 2011. Citado 8 vezes nas páginas 13, 23, 24, 30, 32, 33, 34 e 42.
- FLUKER. *Aterramentos*. 2011. Fluker. Disponível em: <<<http://www.fluke.com/fluke/brpt-/solutions/earthground>>>. Acesso em: 27 abr. 2020. Citado na página 37.
- GIAROLA, B. N. *ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE PARA-RAIOS NAS SOBRETENSÕES ATMOSFÉRICAS POR DESCARGA DIRETA EM LINHAS DE TRANSMISSÃO CONSIDERANDO A VARIAÇÃO DOS PARÂMETROS DO SOLO COM A FREQUÊNCIA*. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal de São João Del Rei, 2016. Citado na página 39.

GOES, A. R. G. *MODERNIZAÇÃO DA PROTEÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA*. 2013. Universidade Federal do Rio de Janeiro. Disponível em: <<http://monografias-poli.ufrj.br/monografias/monopoli10006073.pdf>>. Acesso em: 23 mar. 2020. Citado 5 vezes nas páginas 13, 24, 26, 27 e 29.

GOMES, J. P. P.; VIEIRA, M. M. F. O campo da energia elétrica no Brasil de 1880 a 2002. *Revista de Administração Pública*, 2009. v. 43, n. 2, 2009. Citado na página 13.

JUNIOR, C. M.; FURLANETO, C. J.; PREARO, L. C. A energia elétrica e as fontes alternativas de energia na gestão das empresas. *EnANPAD*, 2009. n. 2, 2009. Citado na página 13.

KINDERMANN, G. *Proteção de Sistemas Elétricos de Potência*. 2. ed. [S.l.]: Editora UFSC, 1999. Citado 2 vezes nas páginas 13 e 30.

MARQUES, D. *Transmissão de energia elétrica*. 2010. Brasil Escola. Disponível em: <<https://brasilescola.uol.com.br/fisica/transmissao-energia-eletrica.htm>>. Acesso em: 26 mar. 2020. Citado na página 41.

MATEUS. *Proteção de Sistemas Elétricos*. 2016. Universidade Federal do Paraná. Disponível em: <http://www.eletr.ufpr.br/p/_media/professores:mateus:te_131_-_capitulo_1.pdf>. Acesso em: 27 abr. 2020. Citado na página 16.

PHADKE, A. G.; THORP, J. S. Computer relaying for power systems. *Research Studies Press*, 1988. 1988. Citado na página 26.

RST. *Qualidade do serviço público de transmissão de energia elétrica*. 2015. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/transmissao3>>. Acesso em: 27 abr. 2020. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 35.

SCT. *Serviço Público de Transmissão de Energia Elétrica*. 2015. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<https://www.aneel.gov.br/transmissao5>>. Acesso em: 27 abr. 2020. Citado na página 19.

SILVA, N. H. G. *Avaliação da Operação da Proteção Diferencial em Transformadores de Potência*. 2015. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais – CEFET-MG. Acesso em: 23 abr. 2020. Citado na página 31.

SRD. *Regulação dos Serviços de Distribuição*. 2015. Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <https://www.aneel.gov.br/regulacao-da-distribuicao/--/asset_publisher/nHNpDfkNeRpN/content/regulacao-dos-servicos-de-distribuicao-/656827?inheritRedirect=false&redirect=https>. Acesso em: 27 abr. 2020. Citado na página 19.

VISACRO, S. *Aterramentos Elétricos*. São Paulo: Artilber Editora, 2002. Citado na página 37.

ZANETTA, L. C. *Fundamentos de Sistemas Elétricos de Potência*. 1. ed. São Paulo: Livraria da Física, 2006. Citado 2 vezes nas páginas 14 e 16.

ANEXO A – TABELA ANSI

Nr	Denominação
1	Elemento Principal
2	Relé de partida/ fechamento temporizado
3	Relé de verificação ou intertravamento
4	Contator principal
5	Dispositivo de desligamento
6	Disjuntor de partida
7	Relé de taxa de variação
8	Dispositivo de desconexão de controle de energia
9	Dispositivo de reversão
10	Chave de sequência unitária
11	Dispositivo multifunção
12	Dispositivo de sobrevelocidade
13	Dispositivo de rotação síncrona
14	Dispositivo de subvelocidade
15	Dispositivo de ajuste ou comparação de velocidade ou frequência
16	Reservado para futura aplicação
17	Chave de derivação ou descarga
18	Dispositivo de aceleração ou desaceleração
19	Contator de transição partida-marcha
20	Válvula operada eletricamente
21	Relé de distância
22	Disjuntor equalizador
23	Dispositivo de controle de temperatura
24	Relé de sobre excitação ou V/ Hz
25	Relé de verificação de Sincronismo ou Sincronização
26	Dispositivo térmico do equipamento
27	Relé de subtensão
28	Detetor de chama
29	Contator de isolamento

30	Relé anunciador
31	Dispositivo de excitação
32	Relé direcional de potência
33	Chave de posicionamento
34	Dispositivo master de sequência
35	Dispositivo para operação das escovas ou curto-circuitar anéis coletores
36	Dispositivo de polaridade de tensão
37	Relé de subcorrente ou subpotência
38	Dispositivo de proteção de mancal
39	Monitor de condições mecânicas
40	Relé de perda de excitação ou relé de perda de campo
41	Disjuntor ou chave de campo
42	Disjuntor/ chave de operação normal
43	Dispositivo de transferência ou seleção manual
44	Relé de sequência de partida
45	Monitor de condições atmosféricas
46	Relé de reversão ou desbalanceamento de corrente
47	Relé de reversão ou desbalanceamento de tensão
48	Relé de sequência incompleta/ partida longa
49	Relé térmico
50	Relé de sobrecorrente instantâneo
51	Relé de sobrecorrente temporizado
52	Disjuntor de corrente alternada
53	Relé para excitatriz ou gerador CC
54	Dispositivo de acoplamento
55	Relé de fator de potência
56	Relé de aplicação de campo
57	Dispositivo de aterramento ou curto-circuito
58	Relé de falha de retificação
59	Relé de sobretensão
60	Relé de balanço de corrente ou tensão
61	Sensor de densidade

62	Relé temporizador
63	Relé de pressão de gás (Buchholz)
64	Relé detetor de terra
65	Regulador
66	Relé de supervisão do número de partidas
67	Relé direcional de sobrecorrente
68	Relé de bloqueio por oscilação de potência
69	Dispositivo de controle permissivo
70	Reostato
71	Dispositivo de detecção de nível
72	Disjuntor de corrente contínua
73	Contator de resistência de carga
74	Relé de alarme
75	Mecanismo de mudança de posição
76	Relé de sobrecorrente CC
77	Dispositivo de telemedição
78	Relé de medição de ângulo de fase/ proteção contra falta de sincronismo
79	Relé de religamento
80	Chave de fluxo
81	Relé de frequência (sub ou sobre)
82	Relé de religamento de carga de CC
83	Relé de seleção/ transferência automática
84	Mecanismo de operação
85	Relé receptor de sinal de telecomunicação (teleproteção)
86	Relé auxiliar de bloqueio
87	Relé de proteção diferencial
88	Motor auxiliar ou motor gerador
89	Chave seccionadora
90	Dispositivo de regulação (regulador de tensão)
91	Relé direcional de tensão
92	Relé direcional de tensão e potência
93	Contator de variação de campo

94	Relé de desligamento
95 à 99	Usado para aplicações específicas

ANEXO B – COMPLEMENTAÇÃO DA TABELA ANSI

- 50N - sobrecorrente instantâneo de neutro
- 51N - sobrecorrente temporizado de neutro (tempo definido ou curvas inversas)
- 50G - sobrecorrente instantâneo de terra (comumente chamado 50GS)
- 51G - sobrecorrente temporizado de terra (comumente chamado 51GS e com tempo definido ou curvas inversas)
- 50BF - relé de proteção contra falha de disjuntor (também chamado de 50/62 BF)
- 51Q - relé de sobrecorrente temporizado de sequência negativa com tempo definido ou curvas inversas
- 51V - relé de sobrecorrente com restrição de tensão
- 51C - relé de sobrecorrente com controle de torque
- 50PAF - sobrecorrente de fase instantânea de alta velocidade para detecção de arco voltaico
- 50PAF - sobrecorrente de neutro instantânea de alta velocidade para detecção de arco voltaico
- 59Q - relé de sobretensão de sequência negativa
- 59N - relé de sobretensão residual ou sobretensão de neutro (também chamado de 64G)
- 64 - relé de proteção de terra pode ser por corrente ou por tensão. Os diagramas unifilares devem indicar se este elemento é alimentado por TC ou por TP, para que se possa definir corretamente. Se for alimentado por TC, também pode ser utilizado como uma unidade 51 ou 61. Se for alimentado por TP, pode-se utilizar uma unidade 59N ou 64G. A função 64 também pode ser encontrada como proteção de carcaça, massa-cuba ou tanque, sendo aplicada em transformadores de força até 5 MVA.
- 67N - relé de sobrecorrente direcional de neutro (instantâneo ou temporizado)
- 67G - relé de sobrecorrente direcional de terra (instantâneo ou temporizado)
- 67Q - relé de sobrecorrente direcional de sequência negativa
- 78 - Salto vetorial (Vector Shift)

ANEXO C – PROTEÇÃO DIFERENCIAL - ANSI 87

O relé diferencial 87 pode ser de diversas maneiras:

87T - diferencial de transformador (pode ter 2 ou 3 enrolamentos)

87T - diferencial de transformador (pode ter 2 ou 3 enrolamentos)

87N - diferencial de neutro

87Q - diferencial de sequência negativa (aplicado para detecção de faltas entre espiras em transformadores)

87G - diferencial de geradores

87GT - proteção diferencial do grupo gerador-transformador

87SP - proteção diferencial de fase dividida de geradores

87V – Diferencial de tensão de fase

87VN – Diferencial de tensão de neutro

87B - diferencial de barras. Pode ser de alta, média ou baixa impedância. Pode-se encontrar em circuitos industriais elementos de sobrecorrente ligados num esquema diferencial, onde os TCs de fases são somados e ligados ao relé de sobrecorrente. Também encontra-se um esquema de seletividade lógica para realizar a função diferencial de barras. Pode-se encontrar em algumas documentações o relé 68 sendo referido à função de seletividade lógica.

87M - diferencial de motores - Neste caso pode ser do tipo percentual ou do tipo autobalanceado.

O percentual utiliza um circuito diferencial através de 3 TCs de fases e 3 TCs no neutro do motor.

O tipo autobalanceado utiliza um jogo de 3 TCs nos terminais do motor, conectados de forma a obter a somatória das correntes de cada fase e neutro. Na realidade, trata-se de um elemento de sobrecorrente, onde o esquema é diferencial e não o relé.