



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
CENTRO DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

**DAVI FREIRE SILVINO**

**OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS EM  
SUBESTAÇÕES DISTRIBUIDORAS**

**FORTALEZA**

**2018**

DAVI FREIRE SILVINO

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS EM  
SUBESTAÇÕES DISTRIBUIDORAS

Trabalho Final apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientador: Prof. Dr. Francisco Kleber de Araújo Lima

Coorientador: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho

FORTALEZA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Universidade Federal do Ceará  
Biblioteca Universitária

Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

---

- S594o Silvano, Davi Freire.  
Operação e manutenção de equipamentos elétricos em subestações distribuidoras / Davi Freire Silvano. –  
2018.  
70 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia,  
Curso de Engenharia Elétrica, Fortaleza, 2018.  
Orientação: Prof. Dr. Francisco Kleber de Araújo Lima.  
Coorientação: Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho .
1. Operação de equipamentos elétricos. 2. Manutenção de equipamentos elétricos. 3. Subestações  
distribuidoras. I. Título.

CDD 621.3

---

DAVI FREIRE SILVINO

OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS EM  
SUBESTAÇÕES DISTRIBUIDORAS

Trabalho Final apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Aprovada em: \_\_\_/\_\_\_/\_\_\_\_ .

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Francisco Kleber de Araújo Lima (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Prof. Dr. Paulo Cesar Marques de Carvalho (Coorientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Eng. Eletricista Gláubio de Castro Leite  
Enel Distribuição Ceará

*A Deus.*

*Aos meus pais, Maria Vilanir e Ailton.*

*Aos meus familiares e amigos.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus, que em todos os momentos me deu força e coragem para descansar e continuar.

Aos meus pais que a tudo devo, aos meus estudos, minha educação e a estrutura familiar.

Ao meu Tio Tadeu, minha Tia Teresa e minha Tia Liduína, que em todos os momentos estiveram ao meu lado e sempre me deram apoio e me estenderam a mão.

A toda minha família, em especial meu primo Adriel, um irmão que está ao meu lado desde o dia que nasci.

A minha namorada Daniele, uma jovem maravilhosa que tive o imenso prazer de conhecer na UFC e levo para o restante dos meus dias como minha companheira.

Aos meus amigos Jeová, Basílio e Alex Sander companheiros que contribuíram para o meu progresso acadêmico e profissional.

Aos professores Hermínio Borges Neto, Francisco Kleber e Paulo Carvalho por terem sido amigos e orientadores dentro da universidade.

*“Construí amigos, enfrentei derrotas, venci obstáculos, bati na porta da vida e disse-lhe: Não tenho medo de vivê-la.”*

*Augusto Cury*

## RESUMO

Este trabalho apresenta a operação dos principais equipamentos instalados em subestações distribuidoras e como as concessionárias de distribuição de energia trabalham para manter esses equipamentos no sistema elétrico fornecendo a manutenção necessária para evitar falhas. Os equipamentos para seguir em operação, continuamente, precisam ser mantidos em condições de funcionamento definidas pelo fabricante, porém em detrimento de ações do tempo, desgastes funcionais, os equipamentos necessitam ser assistidos passando por procedimentos de manutenção, a fim de evitar defeitos que os retirem do sistema elétrico. Em contrapartida o estudo e a coleta de informação sobre esses equipamentos desenvolveram no trabalho os aspectos mais importantes realizados pelos departamentos de manutenção das concessionárias distribuidoras. No trabalho é feita uma abordagem qualitativa de como acontecem as inspeções termográficas, visuais e ultrassônicas a fim de aproximar o trabalho à vivência prática da manutenção de subestações. Em seguida, foi realizado um agrupamento dos ensaios realizados para averiguar o funcionamento dos equipamentos, testes que seguem a periodicidade mínima do plano de manutenção fornecido e orientado pela ANEEL.

**Palavras-chave:** Equipamentos elétricos. Subestações. Operação. Manutenção.

## ABSTRACT

This work presents the operation of the main equipments installed in distributing substations and how the concessionaires of distribution of energy work to maintain these equipments in the electrical system providing the necessary maintenance to avoid failures. The equipment to be in continuous operation must be kept in operating conditions defined by the manufacturer, but to the detriment of time actions, functional wear and tear, the equipment needs to be assisted under maintenance procedures in order to avoid defects that remove it of the electrical system. On the other hand, the study and the collection of information about these equipments developed in the work the most important aspects realized by the maintenance departments of the distribution concessionaires. In the work, a qualitative approach is taken on how inspections thermographic, visual and ultrasonic take place in order to bring the work closer to the practical experience of substation maintenance. Then, a grouping of the tests carried out to verify the operation of the equipment was carried out, tests that follow the minimum periodicity of the maintenance plan provided and directed by ANEEL.

**Keywords:** Electrical equipment. Substations. Operation. Maintenance.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Interconexão entre os sistemas de geração, transmissão e distribuição .....	17
Figura 2 – Estrutura interna do Transformador de Força .....	21
Figura 3 – Refrigeração natural e forçada por uso de ventiladores .....	23
Figura 4 – Tanque de Expansão .....	24
Figura 5 – Secador de Ar .....	25
Figura 6 – Criticidade e percentual de absorção da sílica gel .....	25
Figura 7 – Termômetro do óleo .....	26
Figura 8 – Termômetro de imagem térmica .....	26
Figura 9 – Relé de gás .....	27
Figura 10 – Válvula de alívio .....	27
Figura 11 – Indicador do nível de.....	28
Figura 12 – Caixa do comutador automático de tapes.....	29
Figura 13 – TC tipo bucha em corte .....	30
Figura 14 – TC no transformador .....	30
Figura 15 – TC tipo pedestal .....	30
Figura 16 – TC tipo pedestal em estrutura de concreto .....	31
Figura 17 – Terminais e estrutura de um TP .....	33
Figura 18 – TP Grupo 1 e Grupo 2.....	34
Figura 19 – Testes de fases no pulo do TP .....	35
Figura 20 – Estrutura fundamental do disjuntor .....	36
Figura 21 – Disjuntor danificado em operação .....	36
Figura 22 – Unidade de interrupção .....	36
Figura 23 – Disjuntor GVO .....	38
Figura 24 – Tanque de óleo e revestimento isolante .....	39
Figura 25 – Disjuntor PVO.....	40
Figura 26 – Câmara de vácuo .....	41
Figura 27 – Contatos fixo e móvel e unidade de acionamento e interrupção.....	42
Figura 28 – Coluna polar e disjuntor SF <sub>6</sub> .....	43
Figura 29 – Densímetro .....	44
Figura 30 – Limpeza dos mecanismos de abertura e fechamento. ....	44
Figura 31 – Banco de Capacitor e células capacitivas.....	46
Figura 32 – TC de desequilíbrio.....	47
Figura 33 – Elo fusível tensionado por mola.....	47
Figura 34 – Reator a seco com núcleo de ar.....	48

Figura 35 – Banco oxidado e células, poluídas e danificadas. ....	51
Figura 36 – Defeitos em chave seccionadora .....	52
Figura 37 – Estrutura do disjuntor oxidada .....	53
Figura 38 – Equipamentos poluídos de poeira .....	54
Figura 39 – Transformador de força oxidado .....	55
Figura 40 – Lavagem de isoladores .....	56
Figura 41 – Equipamentos e conexões apresentando maior emissividade .....	59
Figura 42 – Teste de rigidez dielétrica no óleo isolante .....	60
Figura 43 – Filtragem de óleo em máquina termovácuo .....	61
Figura 44 – Equipamento desenergizado, seccionado e aterrado para manutenção.....	65
Figura 45 – Ordem de trabalho.....	68

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Composição do código por meio de resfriamento .....	22
Tabela 2 – Componentes do Disjuntor GVO.....	38
Tabela 3 – Periodicidade mínima permitida pela ANEEL.....	66
Tabela 4 – Relatório de ensaio do equipamento.....	67

**LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
SEP	Sistema Elétrico de Potência
NBR	Norma Brasileira Regulamentar
EE	Energia Elétrica
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
SE	Subestação
TP	Transformador de Potencial
TC	Transformador de Corrente
GVO	Grande volume de óleo
PVO	Pequeno volume de óleo
SF <sub>6</sub>	Hexafluoreto de enxofre
AT	Alta Tensão
MT	Média Tensão

## SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS .....	10
LISTA DE TABELAS.....	12
LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS .....	13
<b>CAPÍTULO 1: INTRODUÇÃO .....</b>	<b>16</b>
1.1 Objetivos.....	19
1.2 Estrutura do trabalho .....	19
 <b>CAPÍTULO 2: OPERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS .....</b>	 <b>20</b>
2.1 Transformador de Potência.....	20
2.1.1 Refrigeração do Transformador.....	21
2.1.2 Tanque de Expansão.....	23
2.1.3 Secador de ar .....	24
2.1.4 Sílica Gel .....	25
2.1.5 Termômetro do óleo .....	25
2.1.6 Termômetro de imagem térmica.....	26
2.1.7 Relé de Gás.....	26
2.1.8 Dispositivo de Alívio de Pressão.....	27
2.1.9 Indicador de nível do óleo .....	27
2.1.10 Comutador de derivação em carga .....	28
2.2 Transformador de Corrente .....	29
2.2.1 TC tipo Bucha.....	29
2.2.2 TC tipo Pedestal.....	30
2.2.3 Saturação de um TC .....	31
2.3 Transformador de Potencial.....	32
2.3.1 Tipos construtivos dos TPs.....	33
2.3.2 Sequência de fases .....	34
2.4 Equipamentos de interrupção .....	35
2.4.1 Características do meio de extinção .....	36
2.4.2 Disjuntor GVO .....	37
2.4.3 Disjuntor PVO .....	39
2.4.4 Disjuntor a vácuo.....	40
2.4.5 Disjunto a SF <sub>6</sub> .....	42
2.4.6 Manutenção em mecanismo de abertura e fechamento .....	44

2.5 Banco de Capacitores .....	45
2.5.1 Funcionamento da proteção.....	46
2.5.2 Reatores de amortecimento .....	47

**CAPÍTULO 3: INSPEÇÕES E ANÁLISE DE ÓLEO NOS EQUIPAMENTOS DAS SUBESTAÇÕES DISTRIBUIDORAS .....** 49

3.1 Inspeção Minuciosa .....	49
3.2 Inspeção Expedida.....	49
3.3 Inspeção Ultrassom.....	50
3.4 Inspeção Visual.....	50
3.5 Inspeção Termográfica .....	56
3.5.1 Pontos quentes .....	57
3.6 Coleta de óleo isolante.....	59
3.6.1 Ensaio de rigidez dielétrica .....	60
3.6.2 Tratamento de óleo termovácuo .....	60

**CAPÍTULO 4: PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS .....** 61

4.1 Ensaio de isolamento em equipamento de interrupção .....	61
4.2 Ensaio de resistência de contato em equipamentos de interrupção .....	62
4.3 Ensaio de medição de teor de umidade em gás SF <sub>6</sub> .....	62
4.4 Ensaio de Fator de potência.....	62
4.5 Ensaio de tempo.....	62
4.6 Manutenção em equipamentos de interrupção .....	63
4.7 Manutenção em TC e TP .....	63
4.8 Manutenção em banco de capacitores .....	64
4.9 Manutenção transformador de força.....	65
4.10 Plano de Manutenção.....	66
4.11 Registro das intervenções .....	67

**CONCLUSÃO.....** 69

**REFERÊNCIAS.....** 70

## 1. INTRODUÇÃO

O sistema elétrico de potência (SEP) aborda três grandes segmentos: geração, linhas de transmissão e distribuição de energia. A operação e manutenção de equipamentos do SEP (geradores, transformadores, subestações, linhas de transmissão, rede de distribuição, proteção e telecontrole) permitem a utilização de energia elétrica (EE) de forma segura e confiável.

A geração é o processo de produção de energia elétrica, por princípios de conversão de energia potencial hidráulica, cinética, térmica, solar, química entre outras. Essa energia é disponibilizada no sistema elétrico em função do atendimento da demanda, evidenciando que a energia gerada não pode ser armazenada, criando no SEP uma relação simultânea de geração e consumo. As linhas de transmissão transportam grandes blocos de cargas, elevando a tensão gerada para alta tensão através de subestações, transportando EE dos centros de geração para os centros dos grandes e pequenos clientes. As redes de transmissão e distribuição são formadas por linhas de alta, média e baixa tensão. As linhas de transmissão apresentam nível de tensão acima de 138 kV, a subtransmissão entre 69kV e 34,5kV e distribuição primária abaixo de 34,5 kV. A distribuição de energia padroniza níveis de tensão adequados para o uso, conectando o cliente a rede elétrica. O cliente pode ser atendido conforme critérios de projeto em alta, média ou baixa tensão.

O consumo e a utilização de energia elétrica devem seguir requisitos da qualidade de energia. “O sistema de distribuição brasileiro é regulado por um conjunto de regras dispostas em Resolução da ANEEL e no documento intitulado Procedimentos de Distribuição – PRODIST com vistas a subsidiar os acessantes do sistema de distribuição, a saber, consumidores e produtores de energia, distribuidoras de energia, disciplinando formas, condições, responsabilidades e penalidades relativas à conexão planejamento da expansão, operação e medição da energia elétrica e estabelecendo critérios e indicadores de qualidade.” (Leão, 2011).

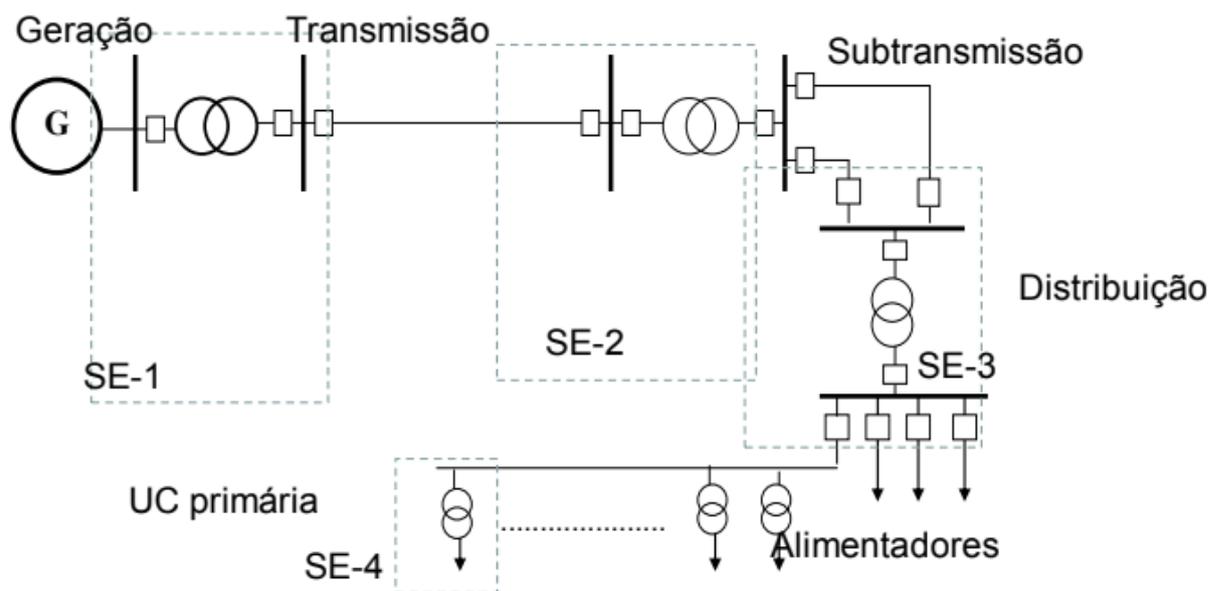
A eficácia de um sistema elétrico deve atender alguns requisitos.

- Segurança: O fornecimento de energia elétrica não deve causar riscos de acidentes.
- Continuidade: Disponibilizar energia elétrica de forma contínua.
- Conformidade: Fornecer energia seguindo padrões pré-estabelecidos pelas agências reguladoras.
- Flexibilidade: adaptação as mudanças contínuas de topologia.

- Confiabilidade: capacidade de responder sempre convenientemente quando solicitado, dentro de um programa preestabelecido.
- Sensibilidade: capacidade de detectar pequenas grandezas de defeito ou anormalidade.

A Figura 1 mostra os pontos de interconexão de subestações: instalações elétricas que agrupam equipamentos e condutores designados para a proteção, medição, manobra e transformação de grandezas elétricas.

Figura 1 - Interconexão entre os sistemas de geração, transmissão e distribuição.



Fonte: adaptado de (Castro, 2017)

As subestações são estrategicamente localizadas nas proximidades da geração, centros de carga e locais de fácil acesso para as linhas e alimentadores existentes ou de um projeto futuro. Os pontos de convergência, entrada e saída da SE, podem sofrer expansão de acordo com o aumento da demanda de energia elétrica, assim a geografia local tem que possibilitar espaço para expandir a rede de distribuição.

Principais tipos e funções das subestações:

- SE Elevadora: Os níveis de tensão são elevados para as linhas de transmissão transportarem maiores quantidades de energia, são utilizadas na saída dos centros de geração.
- SE Abaixadora: A tensão de entrada da subestação é diminuída para um nível de tensão menor.

- SE Seccionadora: Permite o seccionamento e interligação de circuitos com o mesmo nível de tensão.
- SE Distribuição: São instalações pertencentes a concessionária, a potência de entrada vem das linhas de transmissão ou de outras subestações, são utilizadas para distribuir energia.

Os equipamentos elétricos têm funções específicas com atuações particulares e ao mesmo instante atuam com funcionamento integrado entre os mesmos. Os vãos, tecnicamente denominado *bays*, são um conjunto de equipamentos agrupados a instalação que usualmente são estruturados através da entrada da linha (Barramento de alta tensão), vão de transformação (Transformador de força), vão de regulação de tensão (Banco de capacitor) e saída de alimentadores. Cada *bay* possui equipamentos de proteção (relés e disjuntores), os transformadores de instrumentação (TPs e TCs) reduzem os níveis de tensão e corrente compatíveis para o controle do relé que tem a finalidade de atuar os equipamentos de disjunção. Os disjuntores são equipamentos que seccionam e protegem a área afetada por uma ocorrência, são componentes passivos da lógica de atuação dos relés.

Segundo a NBR 5462/1994 – Confiabilidade e manutenibilidade manutenção é a “Combinação de todas as ações técnicas e administrativas, incluindo as de supervisão, destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida”. A manutenção eficaz do Sistema elétrico instalado, proporcionando disponibilidade de energia com qualidade, continuidade e baixo custo, fatores vitais para o bom desempenho da economia brasileira. É necessário buscar a melhor estratégia para manter os equipamentos em operação e reduzir as falhas de operação. O planejamento estratégico inclui a *Manutenção Preventiva*, que determina intervenções programadas e periódicas para a substituição ou reparo de componentes específicos em função de parâmetros como vida útil nominal e experiência anterior, além de dados históricos e estudos estatísticos, mas não a real condição de funcionamento dos equipamentos. Embora para o Sistema Elétrico possa ser melhor que uma *Manutenção Corretiva*, na qual o componente só é substituído ou reparado quando ocorre a falha, a *Manutenção Preventiva* frequentemente deixa sem manutenção componentes que deveriam ser reparados ou substituídos, ou são reparados ou substituídos componentes em bom estado de operação. Outra abordagem para manter os equipamentos é a *Manutenção Preditiva*, que ao invés de realizar a manutenção em um intervalo regular, ela só é efetuada se a condição do equipamento requerer esta atividade. Na *Manutenção Preditiva*, falhas podem ser encontradas e corrigidas em seus estágios iniciais, antes que se tornem falhas potenciais capazes de provocar a interrupção no fornecimento da energia elétrica. Com ela é possível reduzir custos e o tempo de intervenção

através do conhecimento prévio dos defeitos a serem corrigidos, aumentar a disponibilidade dos equipamentos para o fornecimento de energia, minimizando os riscos de acidentes e interrupções inesperadas. (Santos, 2006)

### **1.1 Objetivos**

O propósito do seguinte trabalho é apresentar a operação dos equipamentos elétricos em subestações distribuidoras e abordar os procedimentos de manutenção utilizados nas subestações para efetivar o funcionamento adequado dos equipamentos no sistema elétrico.

As técnicas de inspeção, ensaios e testes periódicos são abordados para esclarecer como uma equipe de manutenção deve se planejar para reduzir falhas, reparar defeitos e garantir maior vida útil dos equipamentos.

### **1.2 Estrutura do trabalho**

O trabalho se divide em cinco capítulos, o primeiro capítulo apresenta a estrutura geral do sistema elétrico de potência e como acontece a interligação por meio das subestações as etapas de geração, transmissão e distribuição de energia, explicando a classificação das diferentes subestações. Posteriormente, é realizada uma descrição sobre as maneiras de realizar manutenção nos equipamentos das subestações distribuidoras. O segundo capítulo define a operação e o funcionamento dos componentes dos equipamentos elétricos, sendo eles: Transformador de força, TP, TC, disjuntores e banco de capacitor.

O capítulo três aborda as formas de realizar inspeções e como acontece o diagnóstico do óleo isolante nos equipamentos. O capítulo quatro é uma extensão do terceiro, o terceiro é como o inspetor de campo busca os defeitos, o quarto são procedimentos utilizados para ensaiar e testar os equipamentos. O trabalho finaliza explicando quais os documentos utilizados para registrar a manutenção realizada e a periodicidade mínima para manter os equipamentos em bom estado.

## **2. OPERAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS**

Esta seção está dedicada a definir a operação dos equipamentos elétricos em subestações distribuidoras, a abordagem tem por fim descrever as características técnicas e a infraestrutura elétrica geral das subestações, os equipamentos serão abordados quanto ao seu funcionamento e a descrição construtiva quanto à isolamento das estruturas, refrigeração interna, proteção e transformação de grandezas elétricas. Será abordado como os disjuntores atuam dentro da tecnologia de extinção do arco elétrico, o mantimento da boa atuação dos comandos eletromecânicos e o funcionamento devido dos equipamentos: Transformador de força, TP, TC e banco de capacitores.

### **2.1 Transformador de Potência**

Transformador é um equipamento de operação estática que por meio de indução eletromagnética transfere energia do circuito primário para um circuito secundário, mantendo a mesma frequência, porém ajusta a tensão de entrada ou saída em conformidade se for abaixador ou elevador. O princípio básico de funcionamento de um transformador é o fenômeno conhecido como indução eletromagnética, quando uma corrente alternada é aplicada ao primário produz um campo magnético proporcional à intensidade dessa corrente e ao número de espiras do enrolamento (número de voltas do fio em torno do braço metálico). Através do metal, o fluxo magnético quase não encontra resistência e, assim, concentra-se no núcleo, em grande parte, e chega ao enrolamento secundário com um mínimo de perdas. Ocorre, então, a indução eletromagnética: no secundário que faz surgir uma corrente elétrica, a mesma varia de acordo com a corrente do primário e com a razão entre os números de espiras dos dois enrolamentos. (Mamede, 2005)

Figura 2 – Estrutura interna do Transformador de Força.



Fonte: (WEG, 2017).

A estrutura interna de um transformador de potência é um núcleo de lâminas de aço empacotadas, com colunas envolvidas por um conjunto de bobinas, normalmente de fios de cobre, que formam os enrolamentos primários e secundários, iniciando uma estrutura rígida com a aplicação de barrotes de madeira ou vigas de aço, devidamente fixadas de modo que prendam o conjunto laminado, conforme a Figura 2. Esse conjunto é colocado dentro de um tanque e imerso com óleo isolante. O acesso aos terminais das bobinas é feito através de um conjunto de buchas de tensões apropriadas às características elétricas do transformador.

### 2.1.1 Refrigeração do Transformador

A elevação excessiva de temperatura é a principal causa de falha de transformadores. O calor gerado na operação do transformador provoca um aumento da temperatura nas estruturas internas tornando necessário a dissipação do calor e o resfriamento do equipamento. Para transformadores imersos em óleo isolante a classificação é designada por um código de quatro letras mostrado na tabela a seguir:

Tabela 1 – Composição do código por meio de resfriamento.

LETRA CÓDIGO	NATUREZA DO RESFRIAMENTO	1ª Letra	2ª Letra	3ª Letra	4ª Letra
O	Óleo	Natureza do meio de resfriamento	Natureza da circulação	Natureza do meio de resfriamento	Natureza da circulação
L	Líquido isolante sintético não inflamável				
G	Gás				
W	Água				
A	Ar	Indicativo do meio de resfriamento em contato com os enrolamentos		Indicativo do meio de resfriamento em contato com o sistema de resfriamento externo	
LETRA CÓDIGO	NATUREZA DA CIRCULAÇÃO				
N	NATURAL				
F	FORÇADA (FLUXO NÃO DIRIGIDO)				
D	FORÇADA (FLUXO DE ÓLEO DIRIGIDO)				

Fonte: Próprio autor.

### **Refrigeração ONAN (Óleo, Natural, Ar, Natural)**

Na convecção natural a massa de óleo atinge a parte superior do transformador e inicia ao caminho de retorno através dos radiadores cedendo calor ao meio exterior chegando à sua parte inferior já bastante resfriado.

### **Refrigeração ONAN/ONAF (Óleo, Natural, Ar, Forçado)**

São transformadores imersos em óleo com sistema de refrigeração constituído por radiadores e moto-ventiladores, por convecção natural até uma determinada temperatura T1. Quando se atinge essa temperatura entra-se o estágio por ventilação forçada até temperatura T2.

### **Refrigeração OFAF (Óleo, Forçado, Ar Forçado)**

Aumenta-se a capacidade de resfriamento aumentando a velocidade do óleo por meio de bombas alocadas na parte inferior dos radiadores.

Figura 3 – Refrigeração natural e forçada por uso de ventiladores.



Fonte: Próprio autor.

### 2.1.2 Tanque de Expansão

O conservador ou tanque de expansão, como o próprio nome diz, serve para conservar o nível do óleo suficiente para a sua variação de volume no trabalho de expansão e contração pela variação de temperatura sem comprometer o funcionamento normal do equipamento. Nele, em conjunto com o desumidificador, ocorre uma verdadeira respiração, fazendo a retirada da umidade da parte interior para a parte exterior.

Figura 4 – Tanque de Expansão.



Fonte: Próprio autor.

### 2.1.3 Secador de ar

O secador de ar é composto de um recipiente metálico, no qual está contido o agente secador (Sílica Gel), e uma câmara para óleo, colocada na parte inferior, isolando-o da atmosfera. Durante o funcionamento normal do transformador, o óleo aquece e dilata, expulsando o ar do conservador através do secador. Havendo diminuição da carga do transformador ou da temperatura ambiente, também haverá baixa da temperatura do óleo, acompanhada da respectiva redução do volume. Forma-se, então, uma depressão de ar no conservador e o ar ambiente é aspirado através da câmara e do agente secador, o qual absorve a umidade contida no ar impedindo que entre em contato com o óleo.

Figura 5 – Secador de Ar.

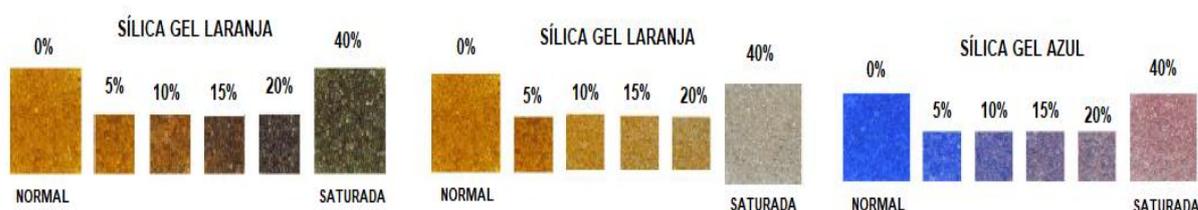


Fonte: Próprio autor.

#### 2.1.4 Sílica Gel

Sílica-gel é o agente secador e tem por finalidade secar o ar aspirado pelos transformadores resfriados a óleo, quando a carga e a temperatura caem, causando a contração do óleo. A sílica-gel é vítreo e duro, quimicamente quase neutro e altamente higroscópico. Trata-se de um silício impregnado com cloreto de cobalto, tendo, quando no estado ativo, a cor azul celeste ou no tom laranja, de aspecto cristalino. É capaz de absorver água até 40% do seu próprio peso. A sílica na cor laranja poderá mudar para cor verde ou incolor dependendo do tipo de indicador utilizado na fabricação. Para a sílica azul mudará para cor rosa, devendo então ser substituído ou regenerado.

Figura 6 – Criticidade e percentual de absorção da sílica gel.



Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

#### 2.1.5 Termômetro do óleo

O termômetro de óleo é um acessório acoplado na parte externa do tanque do transformador de força que tem a função de medir e indicar a temperatura do óleo isolante do

transformador, através de um bulbo localizado na sua extremidade e colocado no ponto mais quente dentro do tanque, que corresponde a parte logo abaixo da tampa. Além da medição e indicação da temperatura do óleo, o termômetro pode acionar através de contatos auxiliares, a entrada ou saída da ventilação forçada, a sonorização de alarme ou mesmo promover o *trip* no disjuntor do transformador quando a temperatura do óleo ultrapassar os limites pré-estabelecidos.

Figura 7 –Termômetro do óleo.



Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

### 2.1.6 Termômetro de imagem térmica

O termômetro de imagem térmica, também conhecida como termômetro de enrolamento tem a função de medir a temperatura do enrolamento do transformador. Ela é denominada imagem térmica por reproduzir indiretamente a temperatura do enrolamento. A temperatura do enrolamento, que é a parte mais quente do transformador, nada mais é do que a temperatura do óleo acrescida da sobre elevação da temperatura do enrolamento em relação ao óleo.

Figura 8 –Termômetro de imagem térmica.



Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

### 2.1.7 Relé de Gás (Tipo Buchholz)

O relé de gás tipo Buchholz tem por finalidade detectar formação de gases no interior do transformador. Podendo haver atuação de alarme pela formação de uma pequena

quantidade de gás e na formação de grande quantidade haverá o desligamento do transformador.

Figura 9 – Relé de gás.



Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

### 2.1.8 Dispositivo de Alívio de Pressão (Válvula de Alívio)

O dispositivo de alívio de pressão (Válvula de alívio) tem a finalidade de proteger os transformadores contra possíveis deformações ou ruptura do tanque, em casos de defeito interno, com aparecimento de pressão elevada. O princípio de funcionamento baseia-se em uma válvula com mola, provida de um sistema de amplificação instantânea da força de atuação. Fecha-se automaticamente após a cessar a sobre pressão interna do equipamento, impedindo, assim, a entrada de qualquer agente externo no interior do transformador.

Figura 10 – Válvula de alívio.



Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

### 2.1.9 Indicador de nível de óleo

Os indicadores magnéticos de nível de óleo têm por finalidade indicar com precisão o nível do líquido isolante e, ainda, quando provido de contatos para alarme ou desligamento, servirem como aparelhos de proteção do transformador. Os indicadores magnéticos do nível de óleo possuem a sua carcaça em alumínio fundido, sendo que a indicação de nível é feita por ponteiro acoplado a um ímã permanente de grande sensibilidade, fato esse que o torna bastante preciso. O mostrador dos indicadores magnéticos de nível possui três indicações, ou

sejam: mínimo, que corresponde ao nível mínimo, 25°C, que corresponde a temperatura ambiente, e máximo, que corresponde ao nível máximo.

Figura 11 – Indicador do nível de óleo.



Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

### **2.1.10 Comutador de derivação em carga (CDC)**

O comutador de derivações tem a função de efetuar as mudanças de derivações nos enrolamentos de AT, estando o transformador sob carga, de forma a possibilitar uma regulação de tensão quase que contínua para qualquer situação de carga, mesmo que a tensão primária decresça ou incremente de valores, o equipamento efetua a comutação de tapes de maneira que o secundário seja sempre atendido em 13,8 KV.

As mudanças são proporcionadas por um mecanismo motorizado onde um circuito de comando efetua o controle do motor para inserção ou retirada de tapes. O controle é eletrônico ou é utilizado um relé regulador.

Figura 12 – Caixa do comutador automático de tapes.



Fonte: Próprio autor.

## 2.2 Transformador de Corrente

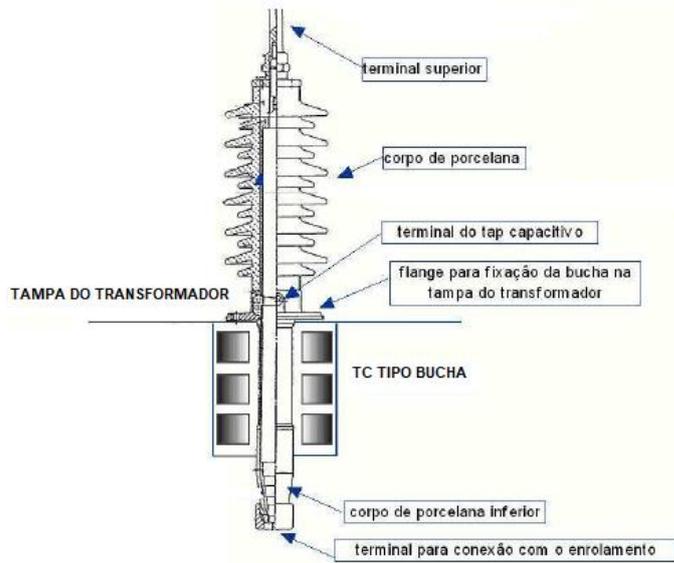
São equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuírem correntes nominais, de acordo, com a corrente de carga do circuito ao qual estão ligados. Na sua forma mais simples eles possuem um primário, geralmente de poucas espiras, e um secundário, no qual a corrente nominal transformada é igual ou menor a 5 A. Os instrumentos de medição e proteção são dimensionados em tamanhos reduzidos com as bobinas de fios de pouca quantidade de cobre. (Mamede, 2005)

O enrolamento primário é ligado em série no circuito elétrico e o enrolamento secundário tem a função de alimentar bobinas de corrente de instrumentos elétricos de medição, controle ou proteção. Os TCs transformam através do fenômeno de conversão eletromagnética, correntes de elevados valores, que circulam no primário, em correntes de pequenos valores no secundário, segundo uma relação de transformação. (Castro, 2017)

### 2.2.1 TC Tipo Bucha

Consiste de um núcleo em forma de anel (toróide) com enrolamentos secundários. Normalmente esse tipo de TC é instalado dentro de equipamentos como disjuntores, transformadores, religadores, entre outros, ficando o núcleo em torno da bucha isolante do equipamento, através do qual passa um condutor, que corresponde ao primário.

Figura 13 – TC tipo bucha em corte.



Fonte: Adaptado de (Lorencine Brasil).

Figura 14 – TC no transformador.

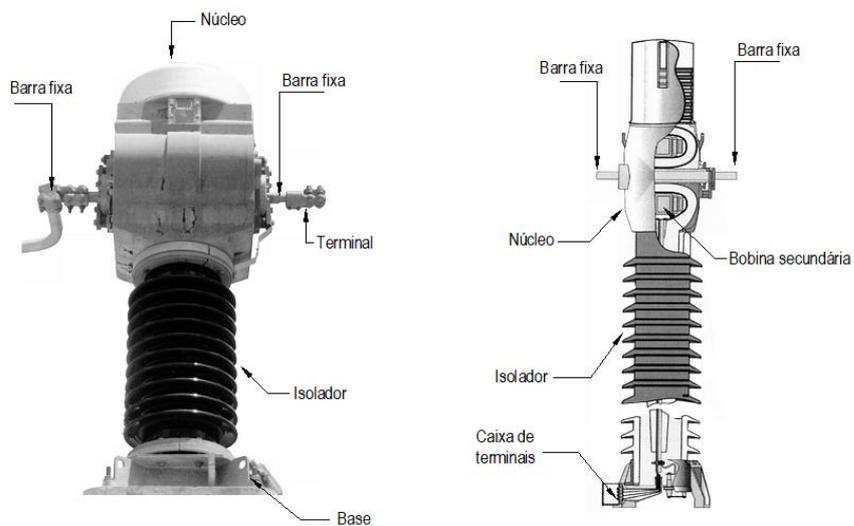


Fonte: Próprio autor.

### 2.2.2 TC Tipo Pedestal

Os transformadores de corrente do tipo pedestal são os mais utilizados em subestações de alta tensão. Esse tipo de TC serve de suporte para o condutor primário e normalmente este tipo de TC possui outra característica construtiva associada (pilar de concreto armado).

Figura 15 – TC tipo pedestal.



Fonte: Adaptado de (Mamede, 2005).

### 2.2.3 Saturação de um TC:

É um fenômeno que provoca erro e distorções na forma de onda secundária, prejudicando conseqüentemente, o funcionamento do equipamento a ele interligado, deixando de apresentar a precisão da sua classe de exatidão. A saturação é também resultante das componentes contínua e alternada da corrente de defeito. Os TCs aplicados para serviços de proteção atingem o início da saturação a 20 vezes a corrente nominal, enquanto os TCs para serviços de medição normalmente atingem o início da saturação a 5 vezes a corrente nominal. Os TCs utilizados para serviços de medição possuem uma elevada permeabilidade magnética, já quem neste tipo de serviço o importante é a exatidão (pequeno erro) enquanto os TCs para proteção possuem uma baixa permeabilidade magnética e que garante captar elevadas correntes de defeito sem saturação do núcleo. O TC vai saturar quando a densidade de fluxo magnético real ultrapassar o limite permissível de densidade de fluxo no núcleo do equipamento. Métodos para reduzir a saturação do TC:

- Reduzir o valor da carga secundária.
- Aumentar a relação do TC sem alterar a carga secundária.
- Aumentar a seção do ferro e melhorar a qualidade do ferro do núcleo.

Figura 16 – TC tipo pedestal em estrutura de concreto.



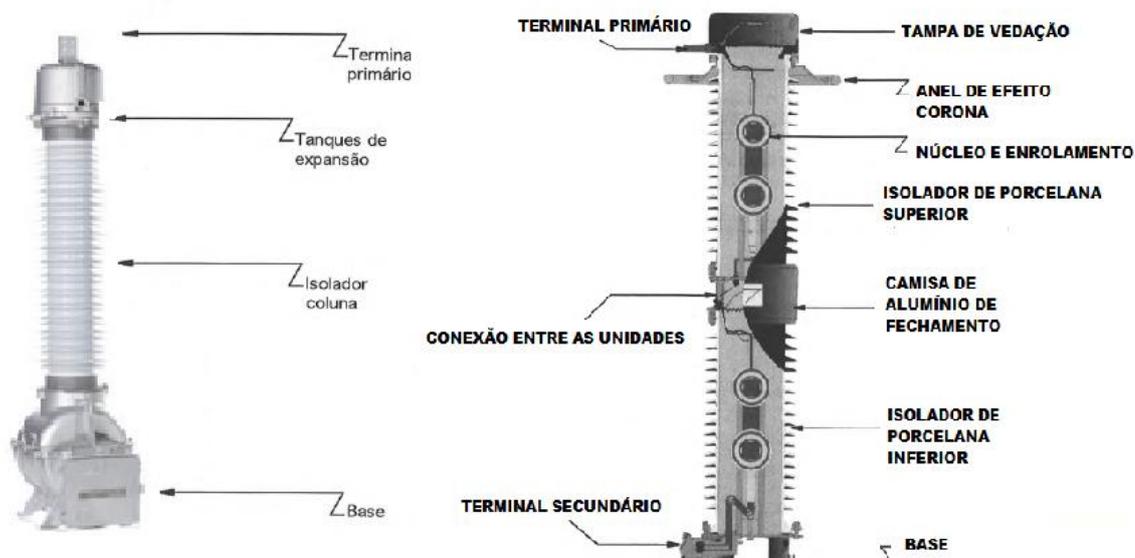
Fonte: Próprio autor.

**Observação sobre enrolamento secundário em aberto:** O TC nunca pode trabalhar com o secundário aberto, pois caso isso ocorra, teremos o surgimento de uma *fem* induzida  $E_2$  no secundário de valor elevado, pois neste caso não existirá o contra fluxo neste enrolamento, o que comprometerá a isolação do TC, com iminente perigo para o operador. Aquecimento excessivo causando a destruição do isolamento, podendo provocar contato do circuito primário com o secundário e com a terra, mesmo que o TC não se danifique haverá alteração nas suas características de funcionamento e precisão, deixando o equipamento comprometido. Por estes motivos nunca deve ser instalado fusível no secundário dos TCs. No caso dos TCs de vários núcleos, quando for utilizado somente 1 ou 2 núcleos, para medição e, ou, proteção, os demais enrolamentos dos outros núcleos devem ser curto-circuitados.

### 2.3 Transformadores de Potencial

Os transformadores de potencial ou de tensão são utilizados para rebaixar as altas tensões do sistema elétrico, com fins de medição, alimentação de bobinas de relés e instrumentos de medida. O TP é um equipamento capaz de reduzir a tensão do circuito para níveis compatíveis com a máxima tensão suportável pelos aparelhos de medidas, padronizado no secundário em 115V para ligações fase-fase e  $115/\sqrt{3}$  para ligações fase-terra. São utilizados para suprir aparelhos que apresentam elevada impedância, tais como voltímetros, relés de tensão de medidores de energia. São empregados indistintamente no sistema de proteção e medição de energia elétrica, em geral são instalados junto aos transformadores de corrente, transformadores para instrumentos (TP e TC) devem fornecer corrente e, ou, tensão aos instrumentos conectados nos seus enrolamentos secundários de forma a atender às seguintes prescrições: o circuito secundário deve ser galvanicamente separado e isolado do primário a fim de proporcionar segurança aos operadores dos instrumentos ligados ao TP. A medida da grandeza elétrica deve ser adequadamente aos instrumentos que serão utilizados, tais como relés medidores de energia e medidores de tensão. (Mamede, 2005)

Figura 17 – Terminais e estrutura de um TP.



Fonte: Adaptado de (Mamede, 2005).

### 2.3.1 Tipos construtivos dos TPs

Os TPs utilizam basicamente dois tipos construtivos: TPs indutivos (eletromagnético), pelo princípio eletromagnético entre os enrolamentos primários e secundários, utiliza dois enrolamentos acoplados por um núcleo de ferro, são equipamentos construídos para utilização até 138kV, pois apresentam um custo de produção mais atraente do que o tipo capacitivo. TPs capacitivos utilizam-se de divisores de tensão de dois ou mais capacitores ligados de fase a terra, com um tape entre eles. São fabricados normalmente para tensões iguais ou superior a 138kV. Em subestações distribuidoras de 69 kV são utilizados apenas transformadores de potencial indutivos.

Grupos dos TPS:

TPs do grupo 1 - São TPs constituídos com 2 (duas) buchas no lado primário, alimentados através de fase-fase e normalmente pertencem a classe de tensão até 34,5kV.

TPs do grupo 2 - São TPs constituídos de 1 (uma) bucha no lado primário alimentado por uma fase e o outro terminal da bobina é solidamente aterrado (neuro eficazmente aterrado). Normalmente são TPs de alta tensão e são alimentados através da tensão fase-neuro. Ex.  $69/\sqrt{3}$  kV.

Figura 18 – TP Grupo 1 e Grupo 2.



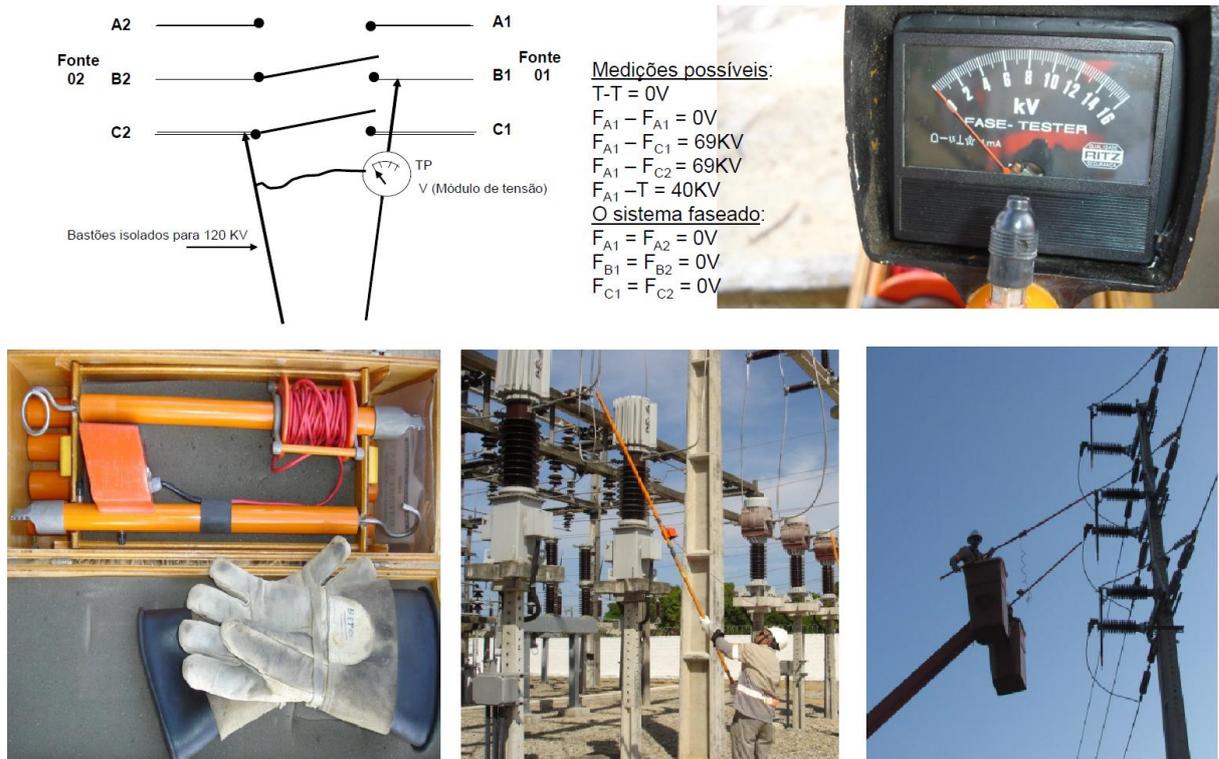
Fonte: Próprio autor.

**Observação sobre enrolamento secundário em curto circuito:** Diferentemente do TC, não poderá de maneira alguma os terminais do secundário do TP estar em curto circuito. Havendo necessidade de retirar o instrumento do secundário, este enrolamento deve ficar aberto. O fechamento do secundário com um condutor de baixa impedância provocará um curto-circuito, ou seja, uma corrente demasiadamente elevada, e conseqüentemente, provocando a danificação do TP. (Castro, 2017)

### 2.3.2 Sequência de fases

Ao energizar o barramento de uma subestação é necessário ter a certeza que o barramento está sequenciado e faseado, a verificação é feita com a utilização de um fasímetro na sequência de fases referente a entrada de linha que alimenta a SE, de forma que o transformador de força e as cargas de média tensão também fiquem faseadas e sequenciadas corretamente. O teste de faseamento é realizado no *pulo* do TP com um fasímetro, o *pulo* é o ponto mais baixo e de melhor acesso para a operação.

Figura 19 – Testes de fases no pulo do TP.



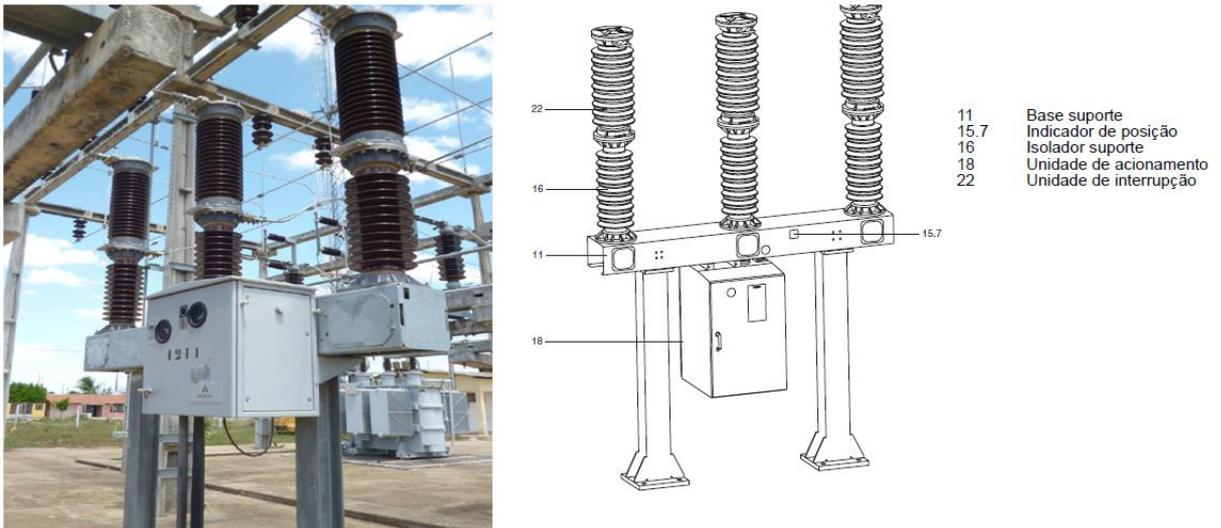
Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

## 2.4 Equipamentos de interrupção

Os disjuntores são equipamentos eletromecânicos de proteção e manobra que operam interrompendo ou estabelecendo circuitos em condições normais de carga, assim como em condições anormais de operação ou defeito, casos como sobrecargas ou curto-circuito. A principal funcionalidade do disjuntor é interromper correntes de defeitos no menor tempo. O processo de abertura dos contatos do disjuntor provoca o surgimento de um arco elétrico, fenômeno que ocorre quando os contatos móveis do disjuntor se separam e a corrente continua ionizando o meio, rompendo o dielétrico entre os contatos durante o processo de abertura.

O disjuntor opera para interromper a continuidade do circuito separando os contatos móveis, essa forma de interrupção faz surgir um arco elétrico que deve ser prontamente extinguido para não afetar o sistema e nem danificar o equipamento. A extinção do arco elétrico de maneira artificial se faz por redução de temperatura e substituição do meio ionizado entre os contatos por um meio isolado. A isolação do disjuntor é consequência de sua característica construtiva podendo ser um meio isolante a óleo, ar ou gás.

Figura 20 – Estrutura fundamental do disjuntor.



Fonte: Adaptado de (Siemens, 2006).

Figura 21 – Disjuntor danificado em operação.



Fonte: Próprio autor

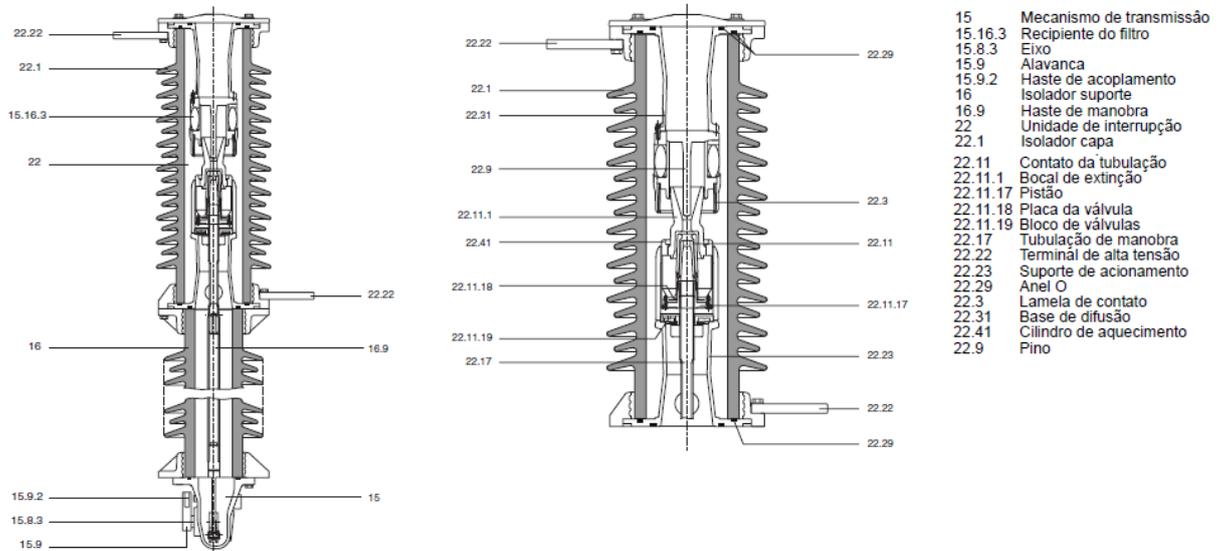
#### 2.4.1 Características do meio de extinção

Para que não haja a ionização do meio e a consequente extinção do arco, o interior de uma câmara deve conter principalmente as seguintes características:

- Boa condutividade térmica para a retirada de calor da região do arco.
- Pressão adequada do meio, que resultará em alta densidade de dielétrico, sendo este um

fator inibidor da existência de ionização do meio.

Figura 22 – Unidade de interrupção.



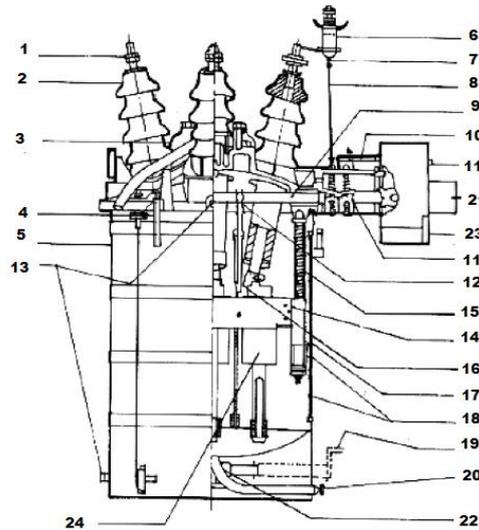
Fonte: (Siemens, 2006)

#### 2.4.2 Disjuntor GVO – Grande volume de óleo

Os disjuntores GVO tem como meio de extinção de arco elétrico o óleo mineral isolante, os contatos móveis são imersos dentro de um grande tanque de óleo onde tanque é constituído de aço espesso e vedado com borracha para evitar vazamentos, internamente há um material isolante revestindo o interior do tanque, material mais comum papel verniz. Os contatos móveis são montados em um elemento igualmente móvel que faz a ligação entre as duas câmaras de interrupção. Caso necessário, o equipamento pode ser dotado ainda de transformadores de corrente, que são instalados na parte inferior das buchas para controle de atuação do disjuntor. A grande desvantagem deste tipo de disjuntor é a necessária manutenção constante. Devido à carbonização do óleo nas operações de interrupção de corrente, o equipamento requer a filtragem do óleo frequentemente. (Sampaio, 2012)

Os disjuntores GVO apresentam uma capacidade de interrupção eficiente e atendendo ao tempo de extinção de arco elétrico regulamentando na norma NBR 07118 (Norma Brasileira de disjuntores de Alta Tensão). Porém, tendem a sair do mercado e serem substituídos por equipamentos menores e mais compactos, como disjuntores PVO (Pequeno volume de óleo), a gás SF<sub>6</sub> e a vácuo.

Figura 23 – Disjuntor GVO.



Fonte: Adaptado de (Sampaio, 2012)



Fonte: Próprio autor

Tabela 2 – Componentes do Disjuntor GVO.

1-Porcas de borne	7-Borne condutor	13-Tampa de aço pintado e reforçado	19-Manivela removível
2-Isolador passante	8-Haste isolante	14-Travessa equipagem	20-Desarme manual
3-Válvula de descarga de gás	9-Tampa auxiliar	15-Amortecedores hidráulicos	21-Ogiva da caixa de comando
4-Fixação do tanque	10-Eixo de comando dos relés	16-Bielas de movimentação	22-Mecanismo de movimentação
5-Parafuso de terra	11-Molas de impulso	17-Haste guia	23-Tampão de dreno
6-Relés de máxima corrente	12-Alavanca de alimentação	18-Revestimento isolante	24- Câmara de ruptura

Fonte: Próprio autor

Figura 24 – Tanque de óleo e revestimento isolante.



Fonte: Próprio autor

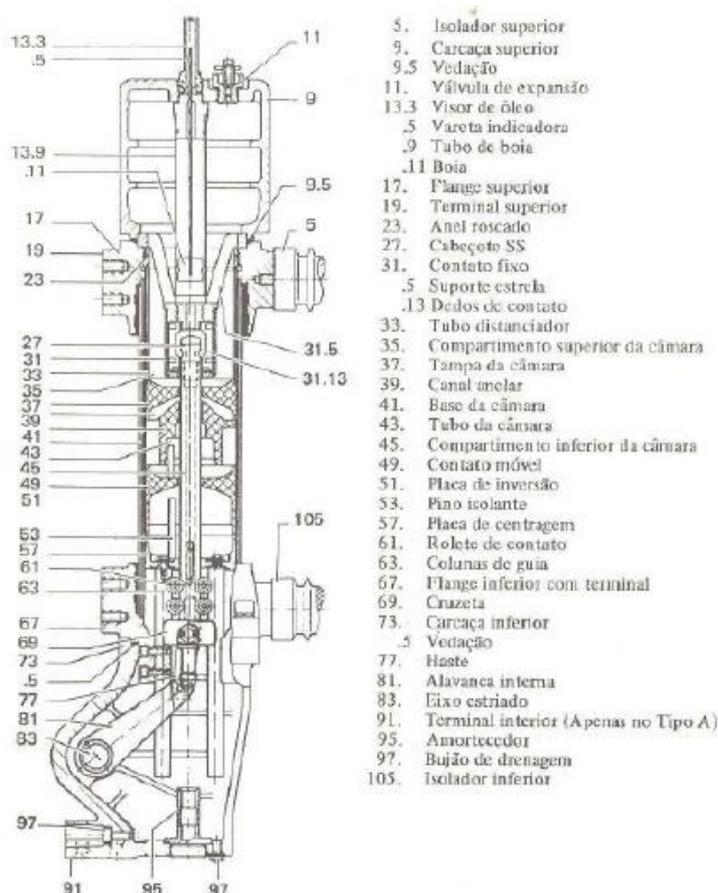
Principais características Disjuntor GVO:

- Alta potência de interrupção.
- Utilização em nível de tensão de até 230 kV.
- Constante necessidade de manutenção.
- Transformador de corrente associado na bucha do disjuntor.
- Tempo de interrupção: 3 a 5 ciclos.
- Volume: 700 litros por tanque.
- Função do óleo: isolamento, extinção do arco e resfriamento.

### 2.4.3 Disjuntor PVO – Pequeno volume de óleo

O fluxo de óleo dentro da câmara de extinção passou por um processo de mudança e evolução dos antigos disjuntores GVO, aumentando a eficácia da isolação do óleo, o resfriamento e a extinção do arco voltaico, com isso foi possível diminuir o espaço e tamanho do disjuntor e reduzir o volume de óleo contido no tanque de aço. A principal vantagem dos disjuntores PVO em relação ao GVO é a quantidade de óleo utilizado em operação, sendo de 10% a 20% do total utilizado em um GVO. O óleo isolante ao invés de ocupar todo o espaço interno do disjuntor, se concentra apenas dentro dos polos do disjuntor.

Figura 25 – Disjuntor PVO.



Fonte: Adaptado de (Sampaio, 2012)

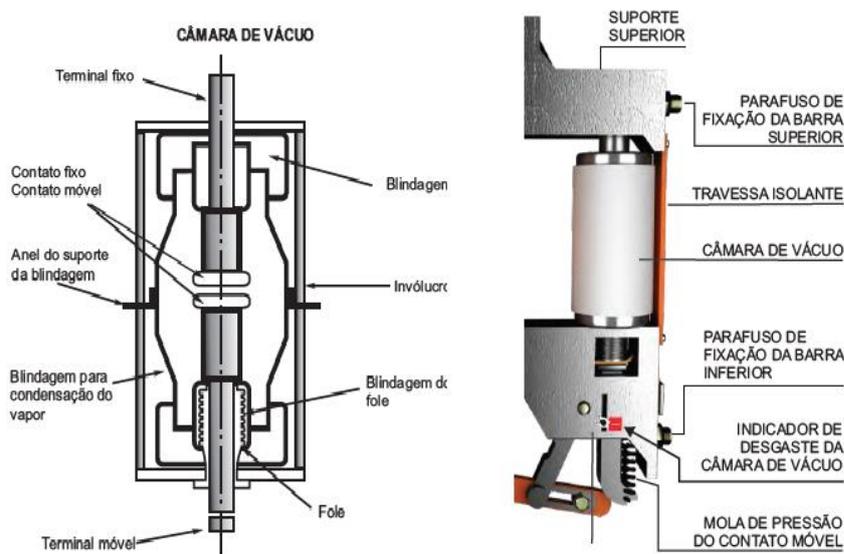
#### Principais características Disjuntor PVO:

- Potência de interrupção: 22.000 MVA com 20.000 A em 120 kV;
- Utilização em nível de tensão de até 420 kV;
- Necessidade de manutenção frequente;
- Volume: de 40 a 200 litros;
- Função do óleo: extinção do arco e resfriamento.

#### 2.4.4 Disjuntor a vácuo

A extinção do arco entre os contatos fixo e móvel nos disjuntores a vácuo é realizada no interior das câmaras de vácuo que, substancialmente, tem o aspecto da figura abaixo. É constituída por um invólucro cerâmico que abriga os contatos fixo e móvel (contato principal e contato corta arco ao mesmo tempo). O vácuo interno é garantido pela presença de um fole que permite o movimento do contato móvel. (Beghim, 2014)

Figura 26 – Câmara de vácuo.



Fonte: Adaptado de (Beghim, 2014).

### Observação sobre comando de mola e manobras:

Os disjuntores a vácuo possuem o mesmo comando de molas pré-carregadas, que são utilizados nos disjuntores a pequeno volume de óleo, e, portanto, com a mesma eficiência comprovada. É recomendável proceder um controle geral, seja a cada cinco anos ou quando o equipamento atingir 10.000 manobras, ou, ainda, o que ocorrer primeiro, providenciando-se limpeza geral e lubrificação. O disjuntor a vácuo apresenta um diferencial em relação a outros disjuntores, pois não há líquido ou gás para cessar o arco elétrico, o mesmo pode operar múltiplas vezes e fazer religamentos automáticos com mais segurança por não emitir chamas e não necessitar de reabastecimento de óleo ou gás. São utilizados em instalações elétricas onde a quantidade de operações do disjuntor e a frequência de manobras acontece de forma acentuada.

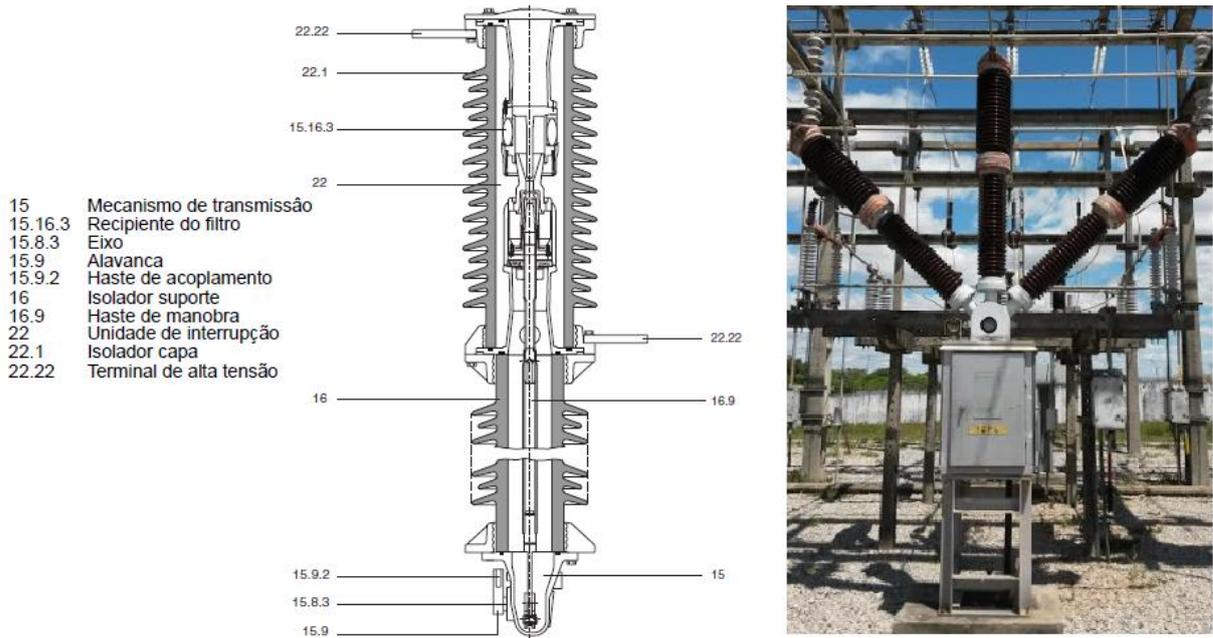
Figura 27 – Contatos fixo e móvel e unidade de acionamento e interrupção.



Fonte: Próprio autor.

#### 2.4.5 Disjuntor a SF<sub>6</sub>

Os polos do disjuntor possuem uma carga de gás SF<sub>6</sub> utilizado como meio extintor e isolante. Os três polos são conectados por tubulações ao compartimento de gás, a densidade do gás SF<sub>6</sub> é controlada por um densímetro e a pressão indicada por um manômetro, o disjuntor é acionado por mola que se encontra na unidade de comando fixada na base suporte. (Manual Siemens, 2006)

Figura 28 – Coluna polar e disjuntor SF<sub>6</sub>.

Fonte: Adaptado de (Siemens, 2006).

Fonte: Próprio autor.

### Supervisão do gás

O compartimento de gás a ser monitorado, do disjuntor de potência, compreende as colunas polares, um monitor de densidade B4, um manômetro MA, uma conexão de enchimento e para teste W1 ou W2 e ainda tubulações para ligar os componentes. O densímetro compara a densidade do gás SF<sub>6</sub>, a ser monitorado dentro da câmara de gás, com a de um gás de referência, armazenado dentro do mesmo. Ambos os gases estão expostos às mesmas temperaturas ambientes. Desta forma, substitui-se comparação das densidades por uma comparação das pressões (câmara de gás – câmara de referência)

Figura 29 –Densímetro.



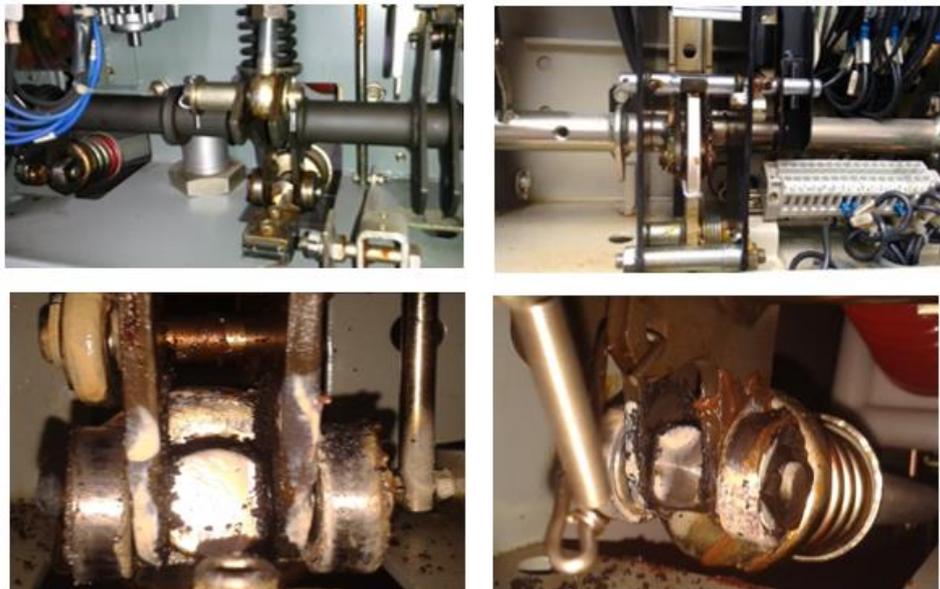
B4 Densímetro  
 MA Manômetro  
 W1 Conexão de enchimento  
 W2 Conexão de controle (monitor de densidade de SF<sub>6</sub>)  
 Conexão de enchimento e conexão de teste (W1 e W2)

Fonte: Adaptado de (Siemens, 2006).

#### 2.4.6 Manutenção em mecanismo de abertura e fechamento

O disjuntor é acionado por mola, que se encontra na unidade de comando, fixada na base suporte. A energia necessária para a operação está armazenada em uma mola de fechamento e em abertura comum aos três polos. Durante a manutenção deve ser feito a limpeza de todo o mecanismo e após ser aplicado a graxa *Molycote*.

Figura 30 – Limpeza dos mecanismos de abertura e fechamento.



Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

## 2.5 Banco de Capacitores

É um conjunto de unidades capacitivas montadas em uma estrutura apropriada, em cantoneira de ferro galvanizado, ou em cruzetas de concreto beco, para instalação em poste, ou tipo rack, formado por perfis de chapas metálicas, e seus equipamentos auxiliares de manobra, proteção e controle, para montagem na rede de distribuição e em subestação. Na Concessionária local (Enel Distribuição Ceará) a potência padrão, para cada célula, é de 100kvar, para banco de 1,8 ou 3,6 Mvar e 200kvar para banco de 7,2 Mvar, a finalidade é reduzir o número de itens de estoque e reduzir os custos. (Castro, 2017)

### **Aplicação do Banco de Capacitores em Subestações Distribuidoras:**

- Melhora o fator de potência da instalação.
- Melhora a regulação de tensão do sistema, quando adequadamente conectados.
- Reduzem a componente atrasada da corrente do circuito.
- Diminuem a carga em kVA na fonte supridora e circuitos, liberando capacidade para ligação de cargas adicionais.
- Fornece potência reativa perto da carga.
- Suprem o sistema dos requisitos reativos necessários, por ocasião da ligação de novas cargas ao circuito existente.
- Ajudam a manter estável a tensão no sistema, durante as eventuais quedas ocasionais por emergências e situações anormais.
- Aumenta a capacidade do sistema de transmissão e distribuição para conduzir o bloco de potência ativa.
- Aumenta a capacidade de geração com intuito de atender mais consumidores.
- Diminui os custos de geração.

Figura 31 – Banco de Capacitor e células capacitivas.

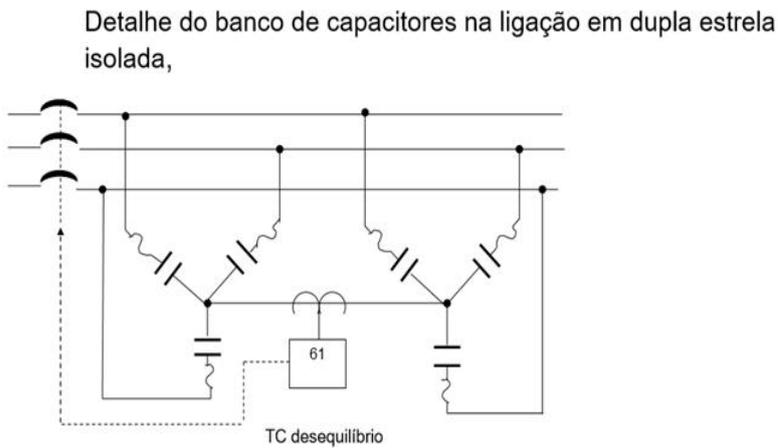


Fonte: Próprio autor.

### 2.5.1 Funcionamento da proteção

Analisando agora o esquema do banco em subestação, dupla Y isolada, quando as estrelas estão equilibradas não circula corrente pelo TC de desequilíbrio, porém quando uma das estrelas desequilibra, através do rompimento de um ou mais elos fusíveis, passa a circular esta corrente de desequilíbrio, fazendo atuar o relé 61, e este, por sua vez, manda sinal de *trip* (abertura) para o disjuntor de banco (11H1) ou para a chave à óleo (51H1), retirando-o de operação. (Castro, 2017)

Figura 32 – TC de desequilíbrio.



Fonte: Próprio autor.

### Proteção individual de cada célula capacitiva

Cada célula capacitiva de 100 kVAR é protegida por um elo fusível de (15 A de ação rápida), acondicionado dentro de um tubo de fenolite para extinção do arco elétrico e tensionado por uma mola, cuja função é arrastar o rabicho do elo danificado, seccionando a alimentação do capacitor e sinalizando para o operador quando o elo fusível está rompido. Pela filosofia de proteção adotada, é necessário romper 2 (dois) elos fusíveis numa mesma fase de uma mesma estrela, para que haja atuação do relé de desequilíbrio.

Figura 33 – Elo fusível tensionado por mola.



Fonte: Próprio autor

### 2.5.2 Reatores de amortecimento

Os bancos de capacitores instalados em subestações distribuidoras devem ser interligados ao barramento de 15kV através de reatores de amortecimento de forma a limitar

os efeitos dos transitórios e da corrente de ligação do banco. Quando um banco de capacitores é conectado ao barramento de MT, no instante do chaveamento a baixa impedância do banco faz com que apareça uma corrente de ligação (corrente de *inrush*), com uma frequência de valor significativo que dependem do valor total da capacitância e indutância do circuito, bem como do valor da tensão aplicada. Experiências apontam que a corrente de ligação de um banco isolado (somente um banco conectado ao barramento) chega a patamares de valores de até 15 vezes a corrente nominal do banco. Já quando existem dois ou mais bancos conectados ao barramento em paralelo os valores máximos da corrente de ligação podem chegar de 20 até 250 vezes a corrente nominal do banco. Existem disjuntores e chaves interruptoras que possuem resistores de pré-inserção que servem para limitar a corrente de ligamento, e dessa forma os reatores de amortecimento não são necessários. Portanto a indutância dos reatores que seriam necessários na instalação do banco de capacitores, fará parte da limitação do disjuntor ou da chave. (Castro, 2017)

Figura 34 – Reator a seco com núcleo de ar.



Fonte: Próprio autor

### **3. Inspeções e análise de óleo nos equipamentos das Subestações Distribuidoras**

A inspeção busca por problemas ou defeitos operacionais no seu estado inicial, conseguindo dar continuidade a operação do equipamento otimizando e adequando a sua manutenção de maneira direcionada ao defeito existente ou pré-estabelecido. O principal objetivo da inspeção em uma subestação é evitar o surgimento de um defeito que possa ser corrigido ainda no seu estado inicial, ou evitar um defeito que possa causar danos mais graves. A inspeção pode ser realizada visualmente, a olho nu, ou com binóculos ou instrumental, realizada com a utilização de termovisor, ultrassom ou outra tecnologia desenvolvida para este fim. É importante que a inspeção seja realizada por um profissional que obtenha conhecimento e tenha capacitação para atuar em subestações, inspecione todas as estruturas, vãos e equipamentos existentes na respectiva instalação, para identificar, avaliar e registrar os defeitos de maneira padronizada e objetiva. Caso sejam detectados defeitos que exijam reparos imediatos, o profissional deverá informar a “supervisão imediata” a fim de que sejam tomadas as providências necessárias e com isso garantir a continuidade do fornecimento. (Enel, 2017)

#### **3.1 Inspeção Minuciosa**

A inspeção minuciosa busca de forma mais apurada e detalhista a verificação e análise do estado de componentes presentes na instalação, principalmente danos em isoladores (quebrados, danificados por descarga e/ou corrosão), vegetação perigosa, formigueiro perigoso, objeto estranho, erosão progressiva na proximidade da estrutura, construções invadindo a faixa de servidão, estado de conservação do aterramento (rompido, solto) ausência de aterramento, estai é o mesmo que cabo de ancoragem do poste (rompido, solto), estai faltando, cabo condutor (baixo perigoso, vibrações eólicas e ruptura de tentos), estado de conservação da estrutura/poste (corrosão e falta de peças), defeitos em cabo para-raios. Os defeitos encontrados no vão serão relacionados com a numeração da estrutura anterior. (Enel, 2017)

#### **3.2 Inspeção Expedita**

É o tipo de inspeção que visa principalmente a detecção de defeitos a serem corrigidos a curto prazo. Visa identificar principalmente isolador quebrado, vegetação perigosa, aterramento partido, *estai* quebrados, cabo baixo perigoso, erosão progressiva na proximidade da estrutura, formigueiro perigoso e objeto estranho. (Enel, 2017)

### 3.3 Inspeção Ultrassom

A inspeção com ultrassom é realizada em procedimentos que incluem determinadas intervenções programadas e periódicas para a substituição ou reparo de componentes da instalação, sendo uma inspeção bastante importante, pois encontram falhas no sistemas elétricos através do surgimento de ruídos. Conhecidas como *baby arcing* (arco embrionário), ocorre quando há perda de isolamento e esta perda de isolamento estabelece um caminho para correntes (descargas) elétricas de baixa intensidade que não podem ser identificadas por dispositivos de proteção convencionais. Testes ultrassônicos são utilizados em painéis fechados. Visto que as emissões ultrassônicas podem ser detectadas através do escaneamento das portas e venezianas de ventilação, pode-se detectar faltas graves tais como arcos elétricos, corona e descargas parciais, sem ter que desligar o equipamento elétrico. A única restrição da utilização do equipamento está na umidade relativa do ar, a qual não deve ser tão elevada para não conduzir às interpretações equivocadas. A identificação da fonte geradora do problema é feita através do controle da intensidade do som, o qual é tanto mais forte quanto mais próximo estiver da falha. (Engepower, 2018)

Defeitos detectados por ultrassom:

- Iminência de falhas em transformadores.
- Descargas parciais internas a equipamentos.
- Falhas em isoladores.
- Falhas em chaves seccionadoras de alta tensão.
- Falhas na isolação de barramentos e cabos.

### 3.4 Inspeção Visual

A inspeção visual detecta de maneira técnica os defeitos encontrados nas subestações. Esse trabalho exige da profissional experiência no setor elétrico e conhecimento sobre os equipamentos, com isso a vivência em campo é necessária para a inspeção e contribui bastante para diagnosticar e detalhar os defeitos encontrados. O contato e a relação com os equipamentos para realização da inspeção visual se torna muito importante, pois esse trabalho é realizado a olho nu sem a utilização ou presença de nenhum instrumento.

**Defeitos encontrados em inspeções visuais:**

**Banco de capacitor:** Banco capacitor como objeto estranho, Banco capacitor poluído, Conexões soltas ou deterioradas, estrutura oxidadas, célula oxidadas, célula com vazamento, célula deformado, isolador trincado, bucha da célula quebrada, falha de intertravamento.

**Observação:** Banco de capacitor com objeto estranho apresenta o risco de fechar um curto circuito no banco e tirar o equipamento de operação, assim como o banco em estado poluído, a sujeira armazenada pode formar um caminho de circulação de corrente e romper a isolação do mesmo, conseqüentemente fechando um curto circuito.

Figura 35 – Banco oxidado e células, poluídas e danificadas.



Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

**Barramento:** Barramento sujo/poluído, Objeto estranho no barramento, barramento com conexões em mal estado, defeito em conexões de aterramento. **Observação:** a fim de identificar pontos que possam comprometer o sistema elétrico, concentra-se na detecção de conexões em mal estado (parafuso, porcas de conectores oxidadas, deterioradas ou soltas) podendo causar um desprendimento do condutor elétrico vindo a causar um curto circuito entre fase no mesmo barramento ou a terra. Identificar uma má conexão no cabo de aterramento do para raio indica a probabilidade iminente do mesmo se desprender e cair sobre o barramento provocando um curto circuito entre fase ou fase terra. Parafuso olhal de sustentação da cadeia de isoladores em mal estado, oxidação comprometendo a sustentação dos condutores aéreos transversais do barramento.

**Chaves Seccionadoras:** Chave Seccionadora c/ ferragens oxidadas, chave seccionadora com isoladores, sujos/poluído, chave seccionadora com isoladores quebrado ou queimado, chave seccionadora desregulada, chave seccionadora com olhal danificada, ausência de intertravamento mecânico, ausência de centelhador, centelhador quebrado, centelhador folgado, alavanca com pintura deteriorada. **Observação:** Mola do olhal sem força mecânica para mantê-la fechada, pode provocar uma abertura indevida por deslocamento espontâneo ou por esforço mecânico. Olhal quebrado: em uma necessidade de abertura para manobra não

possibilita o encaixe da vara de manobra para abertura da mesma, ficando impossibilitado do operador abrir a mesma.

Figura 36 – Defeitos em chave seccionadora.



Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

**Disjuntores:** Equipamento de Interrupção com sujeira ou poluição, oxidação, vazamento de óleo, nível de óleo baixo, baixa pressão SF<sub>6</sub>, baixa pressão pneumática, defeito em manômetro, buchas trincadas/quebradas/queimadas, conexões soltas ou deterioradas, quadro de comando sem vedação. Defeito em resistor de aquecimento, quick-lag disparado, desligado ou defeituoso, mola de fechamento em mal funcionamento, sinalização estado da mola com falha, indicação de pressão do compressor com falha. **Observação:** A sujeira e a oxidação das peças do disjuntor podem interferir na operação de abertura e fechamento das hastes, pois a sujeira e a ferrugem dificultam o funcionamento do comando eletromecânico, por isso a importância da limpeza e a lubrificação das peças com graxa *Molycote*. O resistor de aquecimento irradia energia térmica para evitar umidade dentro da caixa de comando do disjuntor, sem aquecimento do resistor o processo de oxidação por concentração de umidade é mais acentuado. Oxidação pode ser causada por intempéries naturais, mas agravadas pelo potencial de oxidação da maresia. É necessário manutenção rotineira no reparo de pintura do equipamento para que a criticidade do defeito não aumente e não haja danos severos.

Figura 37 – Estrutura do disjuntor oxidada.



Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

**Estrutura:** Estrutura de Concreto, deformado, inclinado ou fletido, estrutura de Concreto com fendas ou ferragem exposta, estrutura oxidadas, estrutura com objeto estranho.

**Observação:** Equipamentos como TPs, TCs, TSA e barramentos possuem estruturas construtivas associadas para fixação, o banco de capacitor é montado em estrutura de ferro galvanizado, é importante o mantimento das estruturas preservadas para que os equipamentos não sofram danos nem saiam de operação.

**Para-raios:** Danificado/ inoperante, parafuso oxidado, faltando para-raios, para-raios poluído, objeto estranho no para-raios, captor/haste deteriorada, condutor de descida danificado, soldas deterioradas, conexão folgada, corrosão nas fixações das hastes. **Observação:** Esse equipamento atua na proteção das instalações elétricas da subestação, linhas e alimentadores, logo é preciso que sua isolação e sua inserção no circuito estejam em bom estado para atuar perfeitamente em descargas atmosféricas. Oxidação, corrosão e folgas em conexões podem gerar ponto quente danificando o equipamento.

**Quadro de Comando:** *Quick-lag* disparado ou desligado, objeto estranho, quadro oxidado, dispositivos com placa de identificação ilegível/ incorreta, exaustor danificado, resistor de aquecimento inoperante, quadro sujo ou poluído, dispositivos faltando placa de identificação, lâmpada de sinalização queimada, modem inoperante, modem com indicação de falha, chave do voltímetro não comutando, anunciador de alarme com lâmpada queimada, interior do painel com fumaça/cheiro de queimado, quadro com porta danificada. **Observação:** O resistor de aquecimento diminui a umidade dentro da caixa de comando, evitando a oxidação dos contatores e peças metálicas precocemente. A porta danificada permite a entrada de impurezas, pequenos insetos ou animais considerando o potencial de destruição dos comandos. A lâmpada de sinalização é importante para não ser despercebida em caso de

emergência.

**Transformar Corrente (TC) /Transformador Potencial (TP) :** TP ou TC sujo ou poluído, TP ou TC c/ ferragens soltas, TP ou TC c/ bucha trincadas/quebradas/queimadas, TP ou TC oxidado, TP ou TC com vazamento de óleo, TP ou TC com nível de óleo baixo, TP ou TC com caixa de junção c/ falha na vedação, TP ou TC com a régua de conexões oxidada.

**Observação:** A sujeira nos TPs e TCs forma caminho para circulação de corrente, rompendo a isolamento dos equipamentos na carcaça e estrutura de fixação do equipamento, semelhante a defeitos nas buchas do equipamento que tem a função de isolar o terminal de conexão a rede.

Figura 38 – Equipamentos poluídos de poeira.



Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

**Transformador de Força:** Objeto estranho em buchas de alta tensão, objeto estranho em buchas de media tensão, transformador com sujeira ou poluição, vazamento de óleo no(s) registro(s), vazamento de óleo no radiador, vazamento de óleo nas buchas, vazamento de óleo nas juntas, vazamento de óleo no tanque, vazamento de óleo no comutador, oxidação no tanque principal, nível de óleo alto transformador, nível de óleo baixo transformador, nível de óleo alto – comutador, nível de óleo baixo – comutador, ventilação não funcional, Sílica gel saturada – Comutador, sílica gel saturada – transformador, bucha quebrada ou em mal estado AT, bucha quebrada ou em mal estado MT, termômetro ou monitor de temperatura inoperante, termômetro ou monitor de temperatura com erro, termômetro ou monitor de temperatura apagado, resistor de aquecimento inoperante, quadro de comando sem vedação, iluminação interna do quadro de comando queimada, ausência de trava para comutador manual, placa de identificação do fabricante ilegível, caixa separadora de óleo com nível de água baixo, filtro de óleo do comutador inoperante, falta de alimentação na tomada do Quadro de comando, comutação automática inoperante, comutador-erro no paralelismo, relé de paralelismo apagado, relé regulador de tensão inoperante, relé regulador de tensão com erro, relé

regulador de tensão apagado, oxidação no radiador, oxidação no tanque de expansão, oxidação no ventilador, chave de comutação da ventilação emperrada (Local/Remoto), ventilação com ruído excessivo, secador com nível de óleo baixo, secador com sujeira no óleo, visor do nível de óleo quebrado, visor do nível de óleo ilegível. **Observação:** Má vedação na guarnição da válvula de alívio de pressão do óleo provoca um acúmulo de humidade, penetrando no micro interruptor de proteção vindo a fechar seus contatos, atuando a proteção, tirando o transformador de força de operação e bloqueando. A ventilação forçada é obstruída quando o motor ventilador entra em parada de funcionamento por atuação mecânica (rolamento travado), por atuação de proteção elétrica (enrolamento do motor em curto circuito).

Figura 39 – Transformador de força oxidado.



Fonte: Adaptado de (ENEL, 2017).

**Isoladores:** Objeto estranho sobre Isolador, amarração deteriorada (amarradilho ou laço preformado), isolador com pino fora de posição, isolador ou cadeia desaprumada (desnivelado), isolador faltando contra pino, isolador com ferragem oxidada (informar o grau de oxidação/tipo), isolador queimado (sinais de descarga), Isolador Sujo/poluído, isolador quebrado/trincado, isolador de suspensão quebrado, isolador pedestal oxidado. **Observação:** Objeto estranho nos isoladores é um risco de alta criticidade, podendo levar a fechar um curto circuito e retirar a subestação de operação, o que não é interessante devido a perda de

equipamentos e falta de energia a clientes. Poluição e sujeira são potencialmente riscos ao rompimento de isolamento e fechamento de curto circuito.

Figura 40 – Lavagem de isoladores.



Fonte: (Próprio autor).

**Condutor:** Condutor com pernas (fios) partidos, condutor com sinais de descarga, condutor com corrosão, condutor mal tensionado ou desnivelado, condutor com cobertura em mal estado, condutor fora do isolador, condutor com objetos estranhos, condutor com bitola inadequada, espaçadores soltos, espaçador quebrado ou em mal estado. **Observação:** Condutores com bitolas inadequadas são propícios a gerar pontos quentes, tal efeito deteriora e afeta o funcionamento dos equipamentos da instalação. Condutores em mal estado podem vir a partir e retirar linhas ou alimentadores de operação.

### 3.5 Inspeção Termográfica

A termografia representa a captura de imagens de calor através de um instrumento de medição denominado termovisor ou termógrafo. A inspeção termográfica auxilia de forma bastante segura na manutenção de condutores e equipamentos elétricos, tornando possível realizar à distância a inspeção em equipamentos de tensões e correntes elétricas elevadas. Permite inspecionar instalações elétricas com equipamentos em operação, não havendo necessidade de parada programada para o procedimento de manutenção. Até mesmo porque a inspeção termográfica tem o objetivo de analisar o equipamento em operação, sendo obrigatoriamente com a instalação energizada e em carga, verificando a existência de sobreaquecimento ou onde a temperatura encontra-se alterada com relação a um padrão preestabelecido. Os valores de temperatura máxima admissível para cada componente podem

ser obtidos a partir das especificações técnicas dos mesmos.

A emissividade mede a capacidade de radiação emitida pela superfície, propriedade termográfica importante para o manuseio e a utilização do termovisor. As técnicas de captura de imagem influenciam na emissividade real para a identificação correta da escala de infravermelho emitido do componente inspecionado e as reais condições operacionais do equipamento devem ser conhecidas pelo profissional, tanto para a medição correta da temperatura, quanto para a análise dos resultados e a emissão do diagnóstico adequado. O ângulo entre a lente do termovisor e o ponto inspecionado deve ser o mais perpendicular possível para se evitar a redução da emissividade por ângulos de observação. Ao localizar algum ponto com provável defeito deve focar corretamente a câmera, pois a imagem desfocada poderá resultar em erros de medição.

Devem ser realizadas inspeções em seccionadoras, disjuntores, transformadores (de potência, potencial e corrente), capacitores, fusíveis, reatores, para-raios, cabos, emendas, conectores, barramentos, painéis, *bays*, buchas de passagem entre outros. (Enel, 2017)

### **3.5.1 Pontos quentes**

Nas inspeções termográficas é comum encontrar pontos quentes em falhas e anomalias da instalação elétrica, sendo possível prever os locais e defeitos mais comuns nos equipamentos e instalações:

#### **Cabo condutor**

- Secção reduzida para a intensidade de corrente.
- Em circuitos trifásicos, intensidades de corrente distintas.
- Folga nas emendas e uniões.
- Terminais e ponteiros mal cravados.
- Terminais e ponteiros, de secção e/ou de material diferente.
- Cortes que reduzam ou debilitam a sua secção dos condutores.
- Cabos enrolados.
- Cabos próximos a fontes de calor intensas.
- Esteiras com cabos muito próximos uns dos outros.

#### **Barramento**

- Ligações incorretas.
- Junções com materiais diferentes.

- Uniões ou emendas com apertos insuficientes.
- Barras subdimensionadas para as intensidades de corrente.
- Isoladores de apoio com defeito.
- **Contatores**
- Contatos internos com defeito.
- Ligações incorretas.
- Terminais ou ponteiras mal cravados.
- Bobinas de comando com excesso de temperatura.

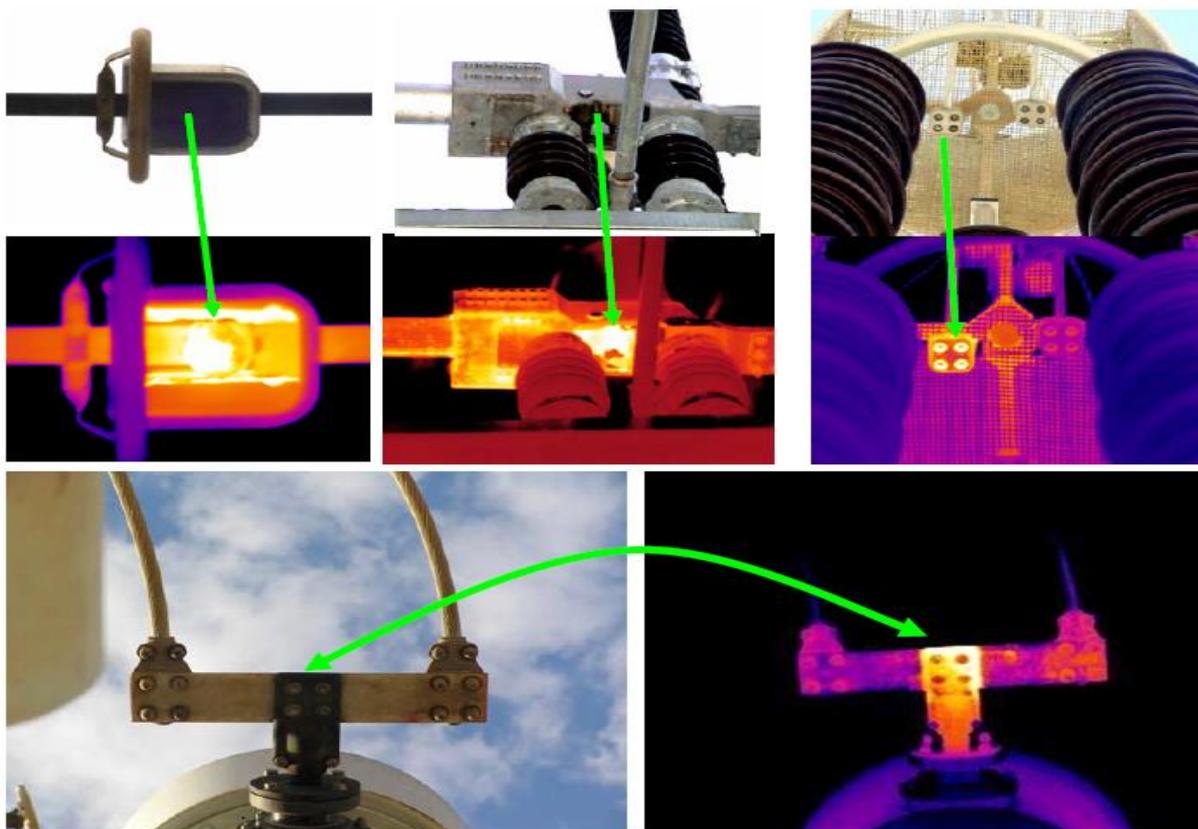
### **Fusível**

- Maxilas com pressão insuficiente ou mal encaixadas;
- Ligações incorretas e terminais mal cravados.
- Fusíveis com intensidades de corrente superiores.
- Base fusível com defeito.
- Defeitos internos.

### **Transformador**

- Núcleos e enrolamentos com defeito.
- Isolamento deficiente nos enrolamentos.
- Contato de ligação com folga ou com defeito.

Figura 41 – Equipamentos e conexões apresentando maior emissividade.



Fonte: (Santos, 2006).

### 3.6 Coleta de Óleo Isolante

A coleta de óleo isolante tem função de analisar as propriedades físico-químicas e cromatográficas em laboratório. O objetivo é diagnosticar o estado funcional e operacional dos equipamentos através de substâncias encontradas no líquido isolante. O óleo não deve conter impurezas, poeira ou umidade, nem substâncias que afete as propriedades refrigerantes e o potencial dielétrico dentro dos equipamentos. As intempéries naturais e o uso do equipamento ao longo do tempo podem vir a envelhecer o óleo, formar ácidos e gases, conseqüentemente a degradação do óleo isolante, que torna seu uso inadequado para o funcionamento dos equipamentos, sendo necessárias análises periódicas por meio de coleta e testes em laboratório.

#### Procedimentos para a coleta:

- Para evitar contaminação o colaborador deve utilizar luvas do tipo PVC resistentes ao óleo isolante, e para evitar contaminação do solo e utilizar materiais para contenção de vazamento.

- Não poderá realizar a coleta de óleo isolante em dias com a umidade relativa do ar superior a 70%.
- Limpar o registro de amostragem ou de dreno com um pano limpo para evitar que resíduos de sujeira possa contaminar a amostra.
- A conexão de amostragem deve conter um termômetro do tipo vareta que possibilite efetuar a leitura de temperatura do óleo coletado. Anotar na Identificação Da Amostra (IDA) o valor da temperatura.
- Abrir o registro de amostragem e drenar para um recipiente de contenção cerca de 1 a 2 litros para limpeza interna da válvula. O óleo drenado deverá ser armazenado para posterior descarte.

### 3.6.1 Ensaio de rigidez dielétrica

O ensaio de rigidez elétrica tem a finalidade de revelar o teor de contaminação por água e outras matérias suspensas no óleo isolante dos equipamentos. Esses ensaios consistem em submeter aos eletrodos imerso no óleo coletado do equipamento uma tensão crescente até um valor que produza ruptura.

Figura 42 – Teste de rigidez dielétrica no óleo isolante.



Fonte: (Próprio autor).

### 3.6.2 Tratamento de óleo termovácuo

O tratamento termovácuo em equipamentos a óleo, consiste no processo de recondicionamento do líquido isolante para aumentar sua qualidade em parâmetros de rigidez dielétrica, isolamento e resfriamento dos equipamentos. O procedimento consiste na limpeza do

líquido com a retirada de impurezas, gases e diminuição da acidez e umidade. A máquina termovácuo retira o óleo do interior dos equipamentos e pressuriza por meio de tubulações até processo de filtragem em papel filtro, o óleo é filtrado algumas vezes e submetido a testes consecutivos até atingir um padrão de qualidade para o equipamento voltar a operação.

Figura 43 – Filtragem de óleo em máquina termovácuo.



Fonte: (Próprio autor).

#### **4. Procedimentos de manutenção em equipamentos elétricos**

Os testes e ensaios de manutenção nos equipamentos são organizados em forma de instrução de trabalho (IT), um documento da concessionária Enel Distribuição Ceará. O uso da IT faz parte da execução dos procedimentos citados abaixo, pois este documento é organizado na forma de um guia prático para as equipes de manutenção poderem realizar os procedimentos com domínio nos testes e segurança no trabalho. Os ensaios abaixo foram organizados por meio do corpo técnico de manutenção através dos conhecimentos e experiências adquiridas em campo. (Enel, 2017).

##### **4.1 Ensaio de isolamento em equipamentos de interrupção**

O ensaio de resistência de isolamento tem a finalidade de diagnosticar e evitar falhas de isolação.

- Antes de iniciar o ensaio verificar se o equipamento a ser testado está completamente desenergizado.
- Realizar a limpeza das buchas do equipamento. Recomenda-se utilizar um pano úmido que não solte fibras. Quando necessário utilizar produtos de limpeza recomendado pelo fabricante.
- Inspecionar o equipamento de medição de isolamento e verificar o estado de conservação dos cabos e pontas de prova. Caso seja encontrado anormalidade providenciar a substituição.
- Recomenda-se evitar realizar o ensaio com umidade relativa do ar superior a 70%.
- Medir a resistência de isolamento (CC), entre os terminais de linha de cada fase e a carcaça do equipamento.
- Aguardar estabilizar as leituras e registrar os valores em formulário.

##### **4.2 Ensaio de resistência de contato em equipamentos de interrupção**

O ensaio de resistência de contato tem a finalidade de constatar falhas nos contatos móveis e fixo do equipamento. Uma resistência de contato elevada poderá provocar o surgimento de ponto quente e conseqüentemente a desgastes dos contatos.

- Para esse ensaio utiliza-se o microhmímetro.
- Antes de iniciar o ensaio verificar se o equipamento a ser testado está completamente desenergizado e seguir todos os procedimentos de segurança.
- Aguardar estabilizar as leituras e registrar os valores em formulário de ensaio.

### **4.3 Ensaio de medição de teor de umidade em gás SF6**

O ensaio de teor de umidade tem a finalidade de analisar a presença de umidade no gás SF6. O aumento de umidade poderá acelerar a corrosão de materiais, aumento de perdas dielétricas e pode acelerar a decomposição do gás SF6. O ensaio consiste basicamente em realizar a coleta de uma amostra de SF6 do disjuntor e o equipamento de medição compara os dados do gás em operação com um gás puro (referência).

### **4.4 Ensaio de Fator de potência**

O ensaio de fator de potência tem por objetivo verificar as perdas dielétricas da bucha cujas causas principais são: penetração de umidade, rachadura ou falha na porcelana e deterioração do isolamento.

### **4.5 Ensaio de tempo**

Através de analisadores de tempo é realizado a verificação da velocidade dos contatos principais e dos tempos de operação dos contatos das câmaras principais e auxiliares nas operações de abertura (O), fechamento (C), fechamento-abertura (CO) e abertura-fechamento-abertura (OCO) com tensões mínima, nominal e máxima, respectivamente, no circuito de controle. Para esse ensaio seguir o manual de instrução do fabricante do instrumento.

### **4.6 Manutenção em equipamentos de interrupção**

- Realizar Inspeção visual geral do equipamento. Efetuar comandos (manual/ elétrico) de abertura e fechamento, observando as indicações de carregamento de mola, posição (aberto/fechado) e contador de operação do equipamento.
- Realizar a limpeza das buchas do equipamento. Recomenda-se utilizar um pano úmido que não solte fibras. Quando necessário utilizar produtos de limpeza recomendado pelo fabricante. Realizar ensaios de rotina. Caso necessário abrir polos para avaliação interna conforme orientação de fabricante.
- Com o equipamento na posição aberto e a mola descarregada, realizar a limpeza e substituição da graxa do mecanismo. Utilizar graxa recomendada pelo fabricante. Realizar uma conferência de aperto de todas as conexões de comando do equipamento.
- Realizar ensaio de resistência de isolamento e resistência elétrica, das bobinas de abertura e fechamento. Caso seja necessário realizar a substituição das bobinas.

Realizar ensaio de resistência de isolamento no motor de carregamento de mola. Caso seja necessário realizar a substituição do motor.

- Verificar funcionalidade do resistor de aquecimento. Verificar lâmpadas interna do painel queimadas. Verificar sinalização elétrica queimada. Verificar vedações das portas da caixa de comando. Verificar a existência de bucha trincada, rachada ou queimada.

#### **4.7 Manutenção em TC e TP**

- Inspeção visual geral do equipamento, observando as condições das buchas, o nível de óleo, existência de vazamentos, condições de aterramento, pintura e vedação da caixa secundária.
- Verificar a existência de falha ou conexões folgadas nos terminais secundários.
- Realizar a limpeza das buchas do equipamento. Recomenda-se utilizar um pano úmido que não solte fibras. Quando necessário utilizar produtos de limpeza recomendado pelo fabricante.

#### **4.8 Manutenção em banco de capacitores**

- Inspecionar detalhadamente as unidades para verificar a existência de deformação ou falha nas buchas.
- Realizar limpeza em todas as unidades capacitivas. Inspecionar todos os isoladores para identificar (isolador queimado, trincado/quebrado). Realizar limpeza em todos os isoladores do banco.
- Conferir as conexões dos elos, conectores e fixação das células. Verificar a continuidade de todos os elos e conferir se a capacidade do elo está em conformidade com a célula.
- Realizar retoques de pintura em todas as células e estrutura do banco.
- No transformador de desequilíbrio verificar a existência de vazamento, trincas ou falha nos cabos de conexão do secundário e caixa secundária. Inspeção termográfica antes e depois da manutenção.

#### 4.9 Manutenção em transformador de força

- A manutenção em acessórios de transformador de força consiste em substituição de sílica gel, substituição de motor-ventiladores e trabalhos em comando elétrico no quadro de comando.
- Na substituição da sílica gel retirar toda a sílica gel e acondicionar em um recipiente para posterior descarte.
- Realizar a limpeza do vidro do desumidificador de ar. Utilizar produtos de limpeza adequados.
- Colocar no recipiente de vidro do desumidificador de ar o mesmo óleo do transformador.
- Certificar-se da perfeita fixação do mesmo de modo a evitar penetração de umidade no transformador.
- Na substituição dos motor-ventiladores primeiramente realizar o desligamento do circuito de alimentação dos motor-ventiladores. Realizar a desconexão dos parafusos de fixação e da caixa de derivação ou tomadas de força. Substituir os motor-ventiladores.
- A manutenção no quadro de comando realiza-se aperto de conexões, testes funcionais em contactores e relés.

Figura 44 – Equipamento desenergizado, seccionado e aterrado para manutenção.



Fonte: (Próprio autor).

#### 4.10 Plano de manutenção

O plano de manutenção deve ser executado na rotina orientada pelo fabricante do equipamento, o fabricante dentro dos critérios de projeto define o tempo de manutenção necessário para corrigir defeitos eminentes ou reparos. De acordo com os ensaios na entrega do equipamento, o fabricante disponibiliza a rastreabilidade de evolução dos ensaios elaborados durante o plano de manutenção da empresa, a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) prevê através do plano mínimo de manutenção as periodicidades mínimas para transformadores de potência, capacitores, disjuntores, chaves seccionadoras, transformadores para instrumentos, para-raios e linhas de transmissão. Neste documento não constituem o conjunto completo de atividades necessárias à manutenção dos equipamentos e linhas de transmissão, mas o mínimo aceitável do ponto de vista regulatório. Logo, cabe à concessionária de energia estabelecer o planejamento da sua manutenção, com base nas normas técnicas, nos manuais dos fabricantes e nas boas práticas de engenharia, a fim de garantir a prestação do serviço adequado e a conservação das instalações sob sua concessão. (ANEEL, 2018).

Tabela 3 – Periodicidade mínima permitida pela ANEEL.

Equipamento	Atividade	Periodicidades máximas (meses)
Equipamentos de Subestações	Inspeções Termográficas	6
Transformadores/Autotransformadores	Análise de gases dissolvidos no óleo isolante	6
	Ensaio físico-químico do óleo isolante	12
	Manutenção preventiva periódica	72
Reatores	Análise de gases dissolvidos no óleo isolante	6
	Ensaio físico-químico do óleo isolante	12
	Manutenção preventiva periódica	72
Capacitores	Inspeção Periódica	24
Disjuntores – GVO/PVO	Manutenção Preventiva Periódica	36
Disjuntores – Ar Comprimido/SF6	Manutenção Preventiva Periódica	72
Linha de Transmissão	Inspeção Terrestre	12
	Inspeção Aérea	12
Chave Seccionadora	Manutenção Preventiva Periódica	*
Transformadores para Instrumento	Manutenção Preventiva Periódica	*
Para-raios	Manutenção Preventiva Periódica	*

Fonte: (ANEEL, 2018).

A empresa responsável pela concessão da distribuição de energia e gestão do funcionamento dos equipamentos, deve formar um período de manutenção preventiva com

frequências maiores e intervalos superiores adotados no plano mínimo de manutenção da ANEEL, isso como garantia na confiabilidade e boas condições do funcionamento dos equipamentos. Os equipamentos que apresentam um plano de manutenção periódico deve apresentar um relatório que comprove e aponte as condições de operação, como segue o modelo a diante, um relatório do plano anual de inspeção da concessionária Enel Ceará.

Tabela 4 – Relatório de ensaio do equipamento.

		<b>Ensaio em Equipamentos de Interrupção</b>				Gestão da Manutenção da Rede de AT-MT	
Local do Ensaio	Área Responsável	Cód. Oper.	Empresa Responsável	OT	<input checked="" type="radio"/> Inspeção <input type="radio"/> Comissionamento		
SED MGY	MANUTENÇÃO AT	11B2	ENEL	2327717			
<b>1. Identificação do Equipamento</b>							
Fabricante	Tipo/Modelo	Nº de Série	Ano	I nominal	V nominal	Óleo (LT)	Peso (kg)
GE	VB - 13.8 - 500 - 1	9.000.139 - 7	1979	1.200 A	15KV	Vácuo	550 Lbs
<b>2. Dados Climáticos do Ensaio</b>				Temperatura Ambiente (°C) :	30°C	Umidade Relativa (%) :	68%
<b>3. Identificação do Instrumento de Teste</b>							
1. Medidor de Resistência de Isolamento		Nº de Série:	OC 6154 H	Fabricante:	MEGABRÁS	Tipo:	MI 5500 E
2. Medidor de Resistência dos Contatos		Nº de Série:	OC 3126 E	Fabricante:	MEGABRÁS	Tipo:	MPK 253

Fonte: Acervo relatórios - Enel Ceará.

#### 4.11 Registro das intervenções

O serviço ao ser realizado ele precisa de um documento elaborado pela própria empresa denominado ordem de trabalho (OT), esse documento é uma autorização formal da concessionária de energia para as equipes da empresa realizarem os serviços nas instalações da concessionária. Todo tipo de serviço seja de transporte de equipamento, limpeza de subestação, reparo em instalações prediais e serviços elétricos exigem o uso da OT. A ordem de trabalho descreve o que vai ser feito, o chefe da turma, a equipe, o local e a data. Após a utilização deste documento ele vai ser arquivado no histórico da empresa para servir de referência para procedimentos futuros, é de importância o registro das OTs, pois ela garante uma previsibilidade parcial para conhecimento e manutenção dos equipamentos.

Figura 45 – Ordem de trabalho.



## ORDEM DE TRABALHO

**Numero OT :** 2152145 SED MGY 02T2 VENTILAÇÃO FORÇADA **Data Início Execução:** 12/03/2017  
**Resp. Serviço:** 000001 - JOAO DE DEUS **Data Fim Execução:** 12/03/2017  
**Resp. Serviço Substituto:**  
**Executor:** DK - TURMA DK **Data Prog. Início:**  
**Endereço:**  
**Localidade :** 10000000000 - FORTALEZA- CEARÁ  
**Localização:**  
**Data Emissão:** 13/03/2017  
**Datas Execução:** Início: \_\_/\_\_/\_\_ Hora \_\_:\_\_ Fim: \_\_/\_\_/\_\_ Hora  
**PEX:** PEX104-R02\_2015\_SERVIÇO DE MANUTENÇÃO EM EQUIPAMENTOS DE SUBESTAÇÃO DISTRIBUIDORA

**Descrição / Motivo do Trabalho:**  
 SED MGY 02T2 COMANDO DE ACIONAMENTO LOCAL/MANUAL DA VENTILAÇÃO FORÇADA DO TRAF0 02T2 ESTAR INOPERANTE DEVIDO VÁRIOS FUSÍVEIS QUEIMADOS DO CIRCUITO DE COMANDO. TODOS MOTOVENTILADORES

**Solução Proposta / Instalação:**  
 SED MGY 02T2 COMANDO DE ACIONAMENTO LOCAL/MANUAL DA VENTILAÇÃO FORÇADA DO TRAF0 02T2 ESTAR INOPERANTE DEVIDO VÁRIOS FUSÍVEIS QUEIMADOS DO CIRCUITO DE COMANDO. TODOS MOTOVENTILADORES

Solicitação	Nº Comercial:	ET / Projeto:
<b>Instalações</b>		
<b>Instalações</b>	<b>Descrição</b>	<b>Posição/Trecho</b>
S	MGY	<b>Equipamento/Poste</b>
<b>Relação de Técnicos</b>		

Fonte: Acervo de ordem de trabalho - Enel Ceará.

## CONCLUSÃO

O estudo sobre os equipamentos elétricos de alta tensão, permitiu conhecer os componentes dos equipamentos, identificá-los dentro da subestação e aprender como eles atuam no seu princípio de funcionamento. As subestações distribuidoras possuem equipamentos de diversos fabricantes e modelos diferentes, ainda assim pelo conhecimento adquirido na pesquisa, visitas a subestações e acompanhamento nos procedimentos de manutenção (termografia, análise de óleo, lavagem de isoladores, entre outros) se tornou habitual diferenciar os disjuntores, os TPs, TCs, isoladores, para-raios e barramentos no *bay* de entrada, do lado de alta tensão, e saída, em média tensão.

Nesse estudo foi notável a necessidade das concessionárias atenderem a um plano periódico de inspeção e a regulação do plano mínimo de manutenção disponibilizado pela ANEEL, pois nas subestações os equipamentos ficam sujeitos a intempéries naturais: chuva, oxidação, umidade, calor, fatores que intensificam a degradação dos equipamentos e diminuem a garantia da continuidade do serviço de atendimento de energia elétrica, sendo mais seguro optar por manutenções de prevenção falhas.

O trabalho esclarece como são realizados os procedimentos de manutenção em equipamentos elétricos pelas concessionárias de distribuição de energia, o objetivo de mantê-los em operação e como prolongar o tempo de vida útil dos equipamentos. Foi de fundamental importância ter o conhecimento das técnicas de manutenção preventiva em subestações. Na seção de inspeções visuais foram abordados os defeitos mais comuns encontrados nas instalações, defeitos que podem ser previamente corrigidos e reparados antes de uma parada não programada. Foi perceptível a importância da manutenção preventiva, e o alcance da concessionária de evitar falhas, falta de energia a clientes e danos aos equipamentos.

Outro aspecto relevante para o desenvolvimento do trabalho, foi o acesso e a proximidade com os equipamentos nas subestações distribuidoras da Enel Ceará, essas visitas aconteciam periodicamente para acompanhar inspeções ou correção de defeitos em equipamentos. O conhecimento sobre subestações tornou-se mais profundo e técnico, possibilitando vivenciar e identificar as etapas que contemplam a liberação do equipamento para manutenção. As operações de: desenergização, desligamento, seccionamento e aterramento.

## REFERÊNCIAS

LEÃO, Ruth P.S. Apostila de Geração, Transmissão e Distribuição de Energia Elétrica, Universidade Federal do Ceará, 2011.

CASTRO, Raimundo C. Gênova. Material de Aula da Disciplina de Sistemas Elétricos de Potência, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará, 2017.

SANTOS, Laerte dos. Termografia infravermelha Subestações de Alta Tensão Desabrigadas, Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá, 2006.

MAMEDE FILHO, João. Manual de equipamentos elétricos 3ª Edição. Rio de Janeiro, 2005.

WEG, Fábrica da WEG S.A. Jaraguá do Sul, Santa Catarina, 2018.

SAMPAIO, André Lawson Pedral. Consolidação de material didático para a disciplina de Equipamentos Elétricos – Disjuntores, Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica, Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.

ENGEPOWER. Disponível em: <[http://www.engepower.com/dow/inspecao\\_oultasom.pdf](http://www.engepower.com/dow/inspecao_oultasom.pdf)>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

ENEL, Instrução de Trabalho: Manutenção em equipamentos de subestação. Ceará, 2017.

ENGEPOWER. Disponível em: <[http://www.engepower.com/dow/inspecao\\_oultasom.pdf](http://www.engepower.com/dow/inspecao_oultasom.pdf)>. Acesso em: 20 de abril de 2018.

ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR IEC 07118 – Disjuntores de Alta Tensão. Rio de Janeiro ABNT, 1994.

BEGHIM. Catálogo Disjuntor a vácuo série ARCO-O-VAC Tipo MAF. São Paulo, 2014.

SIEMENS. Instruções de Operação Disjuntor 3AP1 FG, 2006. Berlim, Alemanha:2006.

LORENCINE. Disponível em: <<http://www.lorencinibrasil.com.br/servicos/treinamentos-e-palestras/>>. Acesso em: 27 de abril de 2018.

ANEEL. Disponível em: <[http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2014/022/documento/anexo\\_-\\_plano\\_minimo\\_de\\_manutencao.pdf](http://www2.aneel.gov.br/aplicacoes/audiencia/arquivo/2014/022/documento/anexo_-_plano_minimo_de_manutencao.pdf)>. Acesso em: 05 de maio de 2018.