

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA**

**Gabrielli Matheus de Oliveira**

**Operação e Manutenção de Equipamentos em Subestação de Transmissão**

**Alegrete-RS**

**2022**

**Gabrielli Matheus de Oliveira**

**Operação e Manutenção de Equipamentos em Subestação de Transmissão**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Natalia Braun Chagas

Alegrete-RS  
2022

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos  
pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do  
Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais) .

004800 Oliveira , Gabrielli Matheus de  
Operação e Manutenção de Equipamentos em Subestação de  
Transmissão / Gabrielli Matheus de Oliveira .  
62 p.

Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação)-- Universidade  
Federal do Pampa, ENGENHARIA ELÉTRICA, 2022.  
"Orientação: Natália Braun Chagas".

1. Equipamentos Elétricos. 2. Operação e Manutenção de  
Subestações. I. Título.

**GABRIELLI MATHEUS DE OLIVEIRA**

**OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO DE EQUIPAMENTOS EM SUBESTAÇÃO DE TRANSMISSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 04 de agosto de 2022.

Banca examinadora:

---

Prof.<sup>a</sup> Dr.<sup>a</sup> Natalia Braun Chagas  
Orientador(a)  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. José Wagner Maciel Kaehler  
UNIPAMPA

---

Prof. Dr. Chrystian Dalla Lana da Silva  
UNIPAMPA



Assinado eletronicamente por **NATALIA BRAUN CHAGAS, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/08/2022, às 15:59, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **CHRYSIAN DALLA LANA DA SILVA, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/08/2022, às 16:00, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



Assinado eletronicamente por **JOSE WAGNER MACIEL KAEHLER, PROFESSOR DO MAGISTERIO SUPERIOR**, em 04/08/2022, às 16:00, conforme horário oficial de Brasília, de acordo com as normativas legais aplicáveis.



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site [https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador\\_externo.php?acao=documento\\_conferir&id\\_orgao\\_acesso\\_externo=0](https://sei.unipampa.edu.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0), informando o código verificador **0877878** e o código CRC **D5247A7D**.

Universidade Federal do Pampa, Campus Alegrete  
Av. Tiarajú, 810 – Bairro: Ibirapuitã – Alegrete – RS CEP: 97.546-550  
Telefone: (55) 3422-8400



*Este trabalho é dedicado a minha mãe,  
Diamantina Carricio Matheus.*

## **AGRADECIMENTOS**

*Primeiramente agradecer a Deus que em todos momentos me deu força e coragem para seguir em frente.*

*A minha mãe Diamantina, a qual eu devo tudo. A senhora é o meu maior exemplo de ser humano, nunca medindo esforços, sempre fazendo de tudo por nós duas.*

*A minha Dinda Flávia que em todos os momentos esteve ao meu lado e sempre me dando apoio e me estendendo a mão.*

*A professora Natalia Braun Chagas e o professor José Wagner Kaehler por toda paciência, orientação, amizade e ensinamentos a mim transmitidos durante todos estes anos de graduação, acrescentando no crescimento profissional e pessoal.*

*A minha família e amigos que contribuíram de forma positiva diretamente ou indiretamente.*

*E por fim, ao Gabriel por ter me ajudado a superar as dificuldades e mostrar que era possível a realização desse sonho. Muito obrigada!*



## RESUMO

A operação dos principais equipamentos instalados em uma subestação de transmissão de energia e a melhor forma que as transmissoras trabalham para manter esses equipamentos no sistema elétrico, operando de forma segura e evitando falhas. Subestações que operaram por um por muitos anos, muitas vezes, necessitam de um processo de modernizar-se, uma vez que os seus respectivos equipamentos se encontram desgastados devido ao tempo de funcionamento. No entanto, enquanto não é realizada a revitalização da Subestação por inteiro, os equipamentos devem continuar em operação sob a supervisão de um profissional para manutenções preventivas e corretivas quando necessário. Por fim, quando o processo de revitalização estiver para ser concluído, os equipamentos no fim de vida útil serão submetidos a desligamento total quando e serão adquiridos equipamentos novos para a substituição dos antigos. Esse trabalho aborda as inspeções (termográficas e visuais) que devem ser realizadas nos equipamentos e as manutenções (preventiva, corretiva e preditiva) Com o objetivo de aproximar a vivência prática da manutenção de subestação. Por fim, as atividades mínimas e a periodicidade de cada equipamento para o plano de manutenção fornecido pela ANEEL são apresentadas e discutidas na análise do trabalho.

**Palavras-chave:** Equipamentos Elétricos, Operação e Manutenção de Subestações.

## **ABSTRACT**

The operation of the main equipment installed in a power transmission substation and the best way that the transmitters work to keep this equipment in the electrical system, operating safely and avoiding failures. Substations that have operated for many years, often need a revitalization process to modernize themselves, since their respective equipment is worn out due to operating time. However, while the entire substation is not fully renovated, the equipment must continue in operation under the supervision of a professional for preventive and corrective maintenance when necessary. Finally, when the revitalization process is about to be completed, end-of-life equipment will be completely shut down when new equipment will be purchased to replace the old ones. This work addresses the inspections (thermographic and visual) that must be carried out on the equipment and the maintenance (preventive, corrective and predictive) with the objective of approaching the practical experience of substation maintenance. Finally, the minimum activities and the frequency of each equipment for the maintenance plan provided by ANEEL are presented and discussed in the analysis of the work.

**Keywords:** Electrical Equipment, Operation and Maintenance of Substations.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1.1 – Relação entre agentes e consumidores. . . . .	15
Figura 2.1 – Evolução física do sistema de transmissão. . . . .	20
Figura 2.2 – Oferta Interna de Energia Elétrica 2020-2021 . . . . .	21
Figura 2.3 – Aumento da Energia Termelétrica . . . . .	22
Figura 2.4 – Variação de Geração de Energia Elétrica . . . . .	22
Figura 2.5 – Chaves Seccionadores SE PAL4 pátio 230 kV. . . . .	27
Figura 2.6 – Para-raios SE PAL4 pátio 230 kV. . . . .	28
Figura 2.7 – Transformadores de força atual 230/13,8 kV. . . . .	29
Figura 2.8 – Secador de Ar. . . . .	30
Figura 2.9 – Termômetro do óleo TR SE PAL4. . . . .	30
Figura 2.10–Indicador do nível de óleo TR SE PAL4. . . . .	31
Figura 2.11–Relé de gás TR SE PAL4. . . . .	31
Figura 2.12–Moto-ventilação para refrigeração forçada do óleo do TR SE PAL4. . . . .	32
Figura 2.13–Transformador de corrente tipo pedestal SE PAL4. . . . .	33
Figura 2.14–Transformador de potencial tipo pedestal SE PAL4. . . . .	34
Figura 2.15–GMG tipo cabinados (ou insonorizados) área externa SE PAL4. . . . .	36
Figura 2.16–Serviços auxiliares. . . . .	36
Figura 3.1 – Conjunto de gráficos com as funções de transferência resultante de cada algoritmo de otimização aplicando o procedimento 1. . . . .	38
Figura 3.2 – Conceito da manutenção. . . . .	39
Figura 4.1 – Subestação Porto Alegre 4 230/13,8 kV. . . . .	42
Figura 5.1 – Equipamentos danificados pós incêndio. . . . .	52
Figura 5.2 – Análise dos gases dissolvidos no óleo isolante. . . . .	53
Figura 5.3 – Ensaio físico-químico do óleo isolante. . . . .	53
Figura 5.4 – Manutenção preventiva periódica TRs. . . . .	54
Figura 5.5 – Manutenção preventiva periódica dos disjuntores. . . . .	54
Figura 5.6 – Manutenção preventiva periódica chaves seccionadoras. . . . .	55
Figura 5.7 – Tipos de esquemas de serviço cadastrados. . . . .	55
Figura 5.8 – O plano de inspeção diária. . . . .	56
Figura 5.9 – Unifilar nova subestação Porto Alegre 4. . . . .	57

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Manutenção preditiva em subestação. . . . .	43
Tabela 2 – Manutenção preditiva em subestações. . . . .	43
Tabela 3 – Manutenção de reatores. . . . .	44
Tabela 4 – Manutenção de banco de capacitores paralelos e filtros. . . . .	45
Tabela 5 – Manutenção disjuntores e chaves de alta velocidade. . . . .	45
Tabela 6 – Manutenção chaves seccionadoras, transformadores para instrumentos, para-raios e medidores em CCAT. . . . .	47
Tabela 7 – Manutenção das Linhas de Transmissão . . . . .	48
Tabela 8 – Manutenção válvulas. . . . .	48
Tabela 9 – Relatório OS – Manutenção Preventiva. . . . .	50
Tabela 10 – Quantitativo da manutenção (mão de obra/tempo) . . . . .	50
Tabela 11 – Quantitativo da manutenção (mão de obra/tempo). . . . .	51
Tabela 12 – Quantitativo da manutenção (mão de obra/tempo) . . . . .	51
Tabela 13 – Quantitativo da manutenção (mão de obra/tempo) . . . . .	52

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

SE Subestação

NBR Norma Brasileira Regulamentar

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

TP Transformador de Tensão

TC Transformador de Corrente

SF6 Hexafluoreto de enxofre

AT Alta Tensão

MT Média Tensão

SE PAL4 Subestação Porto Alegre 4

SE PAL9 Subestação Porto Alegre 9

SE PAL10 Subestação Porto Alegre 10

SIN Sistema Interligado Nacional

CGH Centrais Geradoras Hidrelétricas

PCH Pequenas Centrais Hidrelétricas

CCC Conta de Consumo de Combustível

EPE Empresa de Pesquisa Elétrica

RAP Receita Anual Permitida

GIS Gas Insulated Switchgear

CS Chave Seccionadora

DJ Disjuntor

LT Linha de Transmissão

TPAE Transmissora Porto Alegrense de Energia S.A

PAR Plano de Ampliações e Reforços na Rede Básica

MME consolidado pelo Ministério de Minas de Energia

## SUMÁRIO

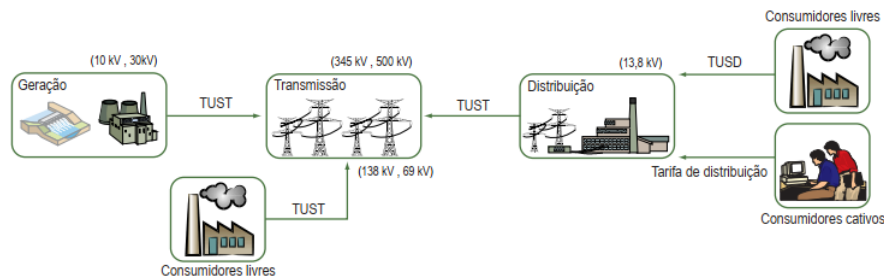
<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	<b>15</b>
1.1	Objetivos	17
1.2	Objetivos Específicos	17
<b>2</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	<b>18</b>
2.1	Energia Elétrica	18
2.2	Sistema Elétrico Brasileiro	18
2.3	Distribuição	19
2.4	Transmissão	20
2.5	Geração	21
2.6	Subestação	22
2.7	Leilão	23
2.7.1	Receita Anual Permitida (RAP)	24
2.8	Instalações e Equipamentos	24
2.8.1	Tipos de subestação	24
2.8.1.1	Convencional	24
2.8.1.2	Isoladas a gás	25
2.8.1.3	Híbridas	25
2.8.2	Barramento	25
2.8.3	Disjuntores	26
2.8.4	Chaves seccionadoras	27
2.8.5	Para-raios	27
2.8.6	Transformador de força	28
2.8.6.1	Tanque do transformador	29
2.8.6.2	Secador de ar do transformador	29
2.8.6.3	Termômetro de transformador	30
2.8.6.4	Indicador de nível de óleo de transformador	30
2.8.6.5	Relé de Gás (Tipo Buchholz) do transformador	31
2.8.6.6	Válvula para alívio de pressão do transformador	32
2.8.6.7	Sistemas de moto-ventilação para refrigeração forçada do óleo do transformador	32
2.8.7	Transformador de Corrente (TC)	32
2.8.8	Transformador de Potência (TP)	33
2.8.9	Linhas de transmissão	34
2.8.10	Bancos de capacitores	35
2.8.11	Serviços auxiliares	35
<b>3</b>	<b>METODOLOGIA</b>	<b>37</b>

3.1	Inspeção . . . . .	37
3.1.1	Inspeção Visual . . . . .	37
3.1.2	Inspeção Apurada . . . . .	37
3.1.3	Inspeção Detalhada . . . . .	37
3.1.4	Inspeção Termográfica . . . . .	37
3.1.5	Análise do óleo isolante . . . . .	38
3.2	Manutenção . . . . .	38
3.3	Manutenção Preventiva . . . . .	39
3.3.1	Manutenção Preditiva . . . . .	40
3.3.2	Manutenção Corretiva . . . . .	40
3.3.3	Manutenção na subestação de estudos . . . . .	40
4	<b>ESTUDO DE CASO . . . . .</b>	<b>41</b>
4.1	Área de estudo . . . . .	41
4.2	Manutenção na Subestação Porto Alegre 4 . . . . .	42
4.2.0.1	Manutenção Preditiva . . . . .	42
4.2.0.2	Transformadores de Potência e Autotransformadores . . . . .	43
4.2.0.3	Reatores de Potência . . . . .	44
4.2.0.4	Banco de Capacitores Paralelos e Filtros . . . . .	45
4.2.0.5	Disjuntores e Chaves de Alta Velocidade . . . . .	45
4.2.1	Chaves Seccionadoras, Transformadores para Instrumento, Para- Raios e Medidores em CCAT . . . . .	47
4.2.2	Linhas de transmissão . . . . .	48
4.2.3	Válvulas . . . . .	48
5	<b>RESULTADOS . . . . .</b>	<b>50</b>
5.1	Software de Gestão de Ativos . . . . .	55
5.2	Plano de Melhoria . . . . .	56
5.3	Projeto GIS . . . . .	58
6	<b>CONCLUSÃO . . . . .</b>	<b>59</b>
	<b>REFERÊNCIAS . . . . .</b>	<b>60</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Os três segmentos do sistema elétrico de potência são a geração, transmissão e distribuição de energia, conforme indica a Figura 1.1. Para a utilização de energia elétrica confiável e segura entra o importante papel de operação e manutenção dos equipamentos.

**Figura 1.1** – Relação entre agentes e consumidores.



Fonte: (ANEEL, 2008).

Segundo (CARVALHO, 2011), as companhias de eletricidade não tinham padrões técnicos uniformizados, ou seja, cada uma determinava as tensões que eram usadas para transmissão e distribuição da energia elétrica e seus mercados eram distribuídos por regiões e eram independentes e isolados dos mercados das outras companhias existentes. Se o mercado local fosse interconectado formando um sistema elétrico único, a coordenação desse sistema possibilitaria a implantação de grandes usinas que exportasse energia para outras regiões.

Antes da reforma no setor elétrico, o Brasil estava em um ciclo vicioso onde as empresas de distribuição (que eram estatais), não remuneravam de forma correta as transmissoras e geradoras (que eram federais), e estas não tinham incentivo para fazerem os reforços necessários para permitir o crescimento do mercado de energia elétrica (CARVALHO, 2011). Segundo dados da (ANEEL, 2008), até 1999 a rede de transmissão era operada pelas companhias verticalizadas (com ativos de geração, transmissão ou distribuição). Após isso, a ANEEL iniciou o processo de expansão dessas instalações em base de leilões visados para grupos de empreendedores responsáveis pela construção e operação de rede.

O segmento de transmissão no país é composto por mais de 90 mil quilômetros de linhas. Ao participar do leilão público de energia promovido pela ANEEL, as empresas que obtiverem as concessões são responsáveis pela implantação e operação das redes, as quais ligam as fontes de geração (usinas) as instalações das companhias distribuidoras. Essa concessão é válida por 30 anos e pode ser prorrogada (mesmo período).

Devido a esta mudança na forma de gestão do setor elétrico, atualmente, o setor privado tem um papel importante na construção, manutenção e operação das linhas de transmissão de energia elétrica.



A subestação elétrica pode-se definir como um conjunto de equipamentos que tem como objetivo mudar as características da energia elétrica, aumento ou diminuindo a tensão e a corrente, dessa maneira é possível manter a energia elétrica dentro de valores pré-estabelecidos para a transmissão e distribuição.

(ANEEL, 2008), as subestações têm as seguintes funções:

- Garantir a interligação dos sistemas de energia elétrica, direcionando o fluxo de energia entre as fontes e as cargas e utilizando equipamentos de manobra e transformação de tensão;
- Melhorar a qualidade de energia, possuindo a capacidade para compensar reativos do sistema e controlar e fazer a manutenção dos níveis de tensão adequados;
- Proteger a integridade física do sistema e das pessoas, e para isso deve possuir dispositivos de proteção capazes de detectar diferentes tipos de falha no sistema e isolar os trechos onde estas ocorrerem.

As subestações podem ser classificadas quanto aos níveis de tensão, quanto a função, quanto ao tipo de instalação e quanto a forma de operação.

Conforme (MUZY, 2012), os níveis de tensão são definidos como:

- Baixa tensão: nível de tensão igual ou inferior a 1 kV;
- Média tensão: níveis de tensão entre 1 kV e 34,5 kV;
- Alta tensão: níveis entre 34,5 kV e 230 kV;
- Extra-alta tensão: nível superior que 230 kV.

Quanto aos níveis de tensão ela pode ser subdividida em de manobra, elevadora ou abaixadora. Quanto ao tipo de instalação, pode ser projetada para dois ambientes ao tempo/externa ou abrigada/interna. E quanto ao tipo de comando que são subestações com comando, semi-automatizadas e automatizadas (MUZY, 2012).

A manutenção é responsável por manter a funcionalidade e a condição de operacionalidade dos ativos de uma subestação de energia (SE). Essa prática evoluiu com o passar dos anos, saindo de consertos emergenciais para manutenção corretivas, preventivas e preditivas.

A gestão de manutenção dos equipamentos vem se modificando ao longo dos anos, passando de um serviço de reparo pós-quebra para uma ocupação mais especializada, focando na otimização dos processos, equipamentos e orçamentos, melhorando a disponibilidade e confiabilidade dos recursos (ACOPLAST BRASIL, 2022).

## **1.1 OBJETIVOS**

O objetivo deste trabalho é apontar as inspeções e manutenções necessárias para a operação dos equipamentos elétricos em subestações. Para tanto será utilizado o estudo de caso na Subestação de Transmissão Porto Alegre 4 e detalhado como são realizadas as operações para mantê-los com funcionamento adequado.

## **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Descrever a técnica de Inspeção;
- Descrever a técnica de Manutenção;
- Identificar componentes para adequação e melhorias dos equipamentos;
- Apresentar o planejamento de Manutenção;

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo é realizado uma revisão a respeito do conceitos de energia elétrica. Além disso, é apresentado a geração, transmissão e distribuição da energia elétrica no Brasil. Também, há uma revisão sobre as subestações elétricas e seus respectivos equipamentos.

### **2.1 ENERGIA ELÉTRICA**

A energia elétrica é uma das fontes de energia mais importantes para a sobrevivência do ser humano. A eletricidade tornou-se uma das fontes mais ágil e apropriada de energia, havendo muitas mudanças na sociedade em relação a modernização, possibilitando geração de novas tecnologias, e tornando-se um recurso fundamental para o crescimento e desenvolvimento socioeconômico. Esse desenvolvimento socioeconômico em relação a energia elétrica vem mostrando que quanto maior a disponibilidade energética, maior a prosperidade de uma sociedade (TRIGOSO, 2004).

As novas tecnologias e modernizações estão cada vez mais avançadas em foco de geração, transmissão e uso da energia elétrica, fazendo com regiões com pouco desenvolvimento possam utilizá-la, possibilitando a transformação dessas regiões em polos industriais e grandes centros urbanos. Mesmo com todo o crescimento de tecnologia de geração, transmissão e distribuição, ainda há regiões precárias, com difícil acesso a este recurso (ANEEL, 2008).

A energia elétrica tem uma grande parte nos avanços tecnológicos, tornando-se a principal fonte de luz, calor e força no mundo moderno (ELETROBRAS, 2016).

A eletricidade é transportada e chega aos consumidores por meio de sistema elétrico complexos, e composto de quatro etapas: Transmissão, Distribuição, Geração e consumo (ELETROBRAS, 2016).

### **2.2 SISTEMA ELÉTRICO BRASILEIRO**

O marco do setor de energia elétrica passou por duas grandes mudanças na produção e transmissão. A primeira foi à privatização das companhias operadoras, onde surgiu a ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica), no ano de 1996. A segunda ocorreu no ano de 2004, o Novo Modelo do Setor Elétrico, que teve como objetivos em garantir a segurança no suprimento, promover a modicidade tarifária e promover a inserção social, em particular pelos programas de universalização, conhecido como Luz para Todos, marcando a retomada da responsabilidade do planejamento do setor de energia elétrica (ANEEL, 2008).

A Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL) foi criada em 26 de dezembro de 1996, pela Lei nº 9.427. Regulamentada pelo Decreto nº 2.335, de 6 de outubro de 1997, iniciando as atividades em dezembro no mesmo ano (ANEEL, 1996).

Configurada como uma autarquia vinculada ao Ministério das Minas e Energia (MME), possui como objetivo regularizar e fiscalizar a transmissão e comercialização de energia elétrica, obtendo resultados sólidos ao longo do tempo (ANEEL, 2008).

O Grupo Coordenador para Operação Interligada (GCOI), foi substituído pelo Órgão Nacional do Sistema Elétrico (NOS) o qual é responsável pela coordenação da operação das instalações de geração e redes de transmissão do Sistema Interligado Nacional (SIN), o qual compreende a Rede Básica, formada por linhas de transmissão e subestações igual ou acima de 230 kV (ANEEL, 2008).

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) estimou-se que no ano de 2008 o Brasil possuía quase 184 milhões de habitantes sendo considerada a quinta nação mais populosa do mundo. Cerca de 95% da população tem acesso à rede elétrica no país, com 61,5 milhões de unidades consumidoras em 99% dos municípios, sendo 85% são residenciais (ANEEL, 2008).

No Brasil para que linhas de transmissão possam ser construídas, montadas, operadas e mantidas, as empresas interessadas devem participar dos leilões de linha de transmissão de energia elétrica (CANTELMO, 2014).

## 2.3 DISTRIBUIÇÃO

O sistema de distribuição de energia elétrica é realizado por meio de linhas, subestações, redes de baixa e alta tensão. O atendimento aos consumidores pode ser realizado pelas distribuidoras de energia elétrica, organizações de pequeno porte e cooperativas de eletrificação rural.

Segundo a (ANEEL, 2008), o mercado de distribuição de energia elétrica é formado por 63 concessionárias, somando mais de 61 milhões de unidades consumidoras. Elas funcionam como um elo entre o setor de energia elétrica e sociedade. O controle acionário dessas companhias pode ser estatal (Governo federal, estaduais e/ou municipais) ou privado (empresas privadas verifica-se a presença de investidores de várias partes do mundo).

A energia elétrica faz um caminho inicial em tensão que varia de 88 kV a 750 kV. Ao chegar às subestações distribuidoras, a tensão é rebaixada para 127/220V ou 220/380V, por meio de fios, postes e transformadores. Mas há uma exceção para as unidades industriais que a tensão é mais elevada, de 2,3 kV a 88 kV e recebe a energia elétrica diretamente da subestação da distribuidora, ou seja, rede de subtransmissão (ANEEL, 2008).

A ANEEL regula as tarifas e a qualidade dos serviços prestados. Para tanto, existem diversos indicadores, sendo dois desses indicadores: Duração Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (DEC) e a Frequência Equivalente de Interrupção por Unidade Consumidora (FEC), ou seja, eles medem respectivamente a duração da frequência das interrupções no fornecimento (ANEEL, 2008).

As distribuidoras desenvolvem programas especiais na população mais pobre, como linhas de crédito e financiamento, programa de baixa renda, o Luz para todos e

a regularização das ligações clandestinas. Sendo responsáveis também, pelo Plano de Eficiência Energética (PEE) e de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D), os quais destinam um percentual mínimo de sua receita operacional líquida (ANEEL, 2008).

## 2.4 TRANSMISSÃO

A eletricidade é produzida por usinas que estão localizadas longe das regiões consumidoras. Sendo assim, seu transporte é realizado por um sistema de transmissão até chegar ao consumidor final (SPECK, 2018).

Segundo a (ANEEL, 2008), o segmento de transmissão era composto por mais de 90 mil quilômetros de linhas e operado por 64 concessionárias.

De acordo com o resultado apresentado pela Empresa de Pesquisa Elétrica- EPE (2018), a Figura 2.1 apresenta informações sobre a evolução do sistema de transmissão do SIN (linhas de transmissão) em km.

**Figura 2.1** – Evolução física do sistema de transmissão.

Tensão	±800 kV	750 kV	±600 kV	500 kV	440 kV	345 kV	230 kV	TOTAL
	km							
Existente em 2016		2.683	12.816	46.569	6.748	10.320	55.820	<b>134.956</b>
Evolução 2017-2026	12.078	0	0	30.737	439	1.337	17.293	<b>61.884</b>
Evolução 2017-2021	9.158	0	0	14.778	316	802	7.222	<b>32.276</b>
Evolução 2022-2026	2.920	0	0	15.959	123	535	10.071	<b>29.608</b>
Estimativa 2026	12.078	2.683	12.816	77.306	7.187	11.656	73.113	<b>196.839</b>

Fonte: (EPE, 2021).

As empresas que obtiveram as concessões ao participar de leilões públicos promovidos pela ANEEL, são responsáveis pela implementação e operação das redes (que ligam as usinas), que são as fontes de geração, às instalações das companhias distribuidoras localizadas junto aos centros consumidores. Elas são válidas por 30 anos e podem ser prorrogadas por igual período.

A rede de transmissão no Brasil é extensa, pela configuração do segmento de geração, o qual está baseado na maior parte de usinas hidrelétricas. A principal característica desse seguimento está dividida em dois blocos: o Sistema Interligado Nacional (SIN) que abrange quase totalidade do território brasileiro e os Sistemas Isolados (SI), que está localizado principalmente na região Norte (ANEEL, 2008).

O SIN está localizado nas cinco regiões: Sul, Sudeste, Centro-Oeste, Nordeste e uma parte do Norte. Elas também são conhecidas como rede básica, pois além das grandes linhas entre uma região e outra, é composta pelos ativos de conexões das usinas e aqueles necessários a interligação internacionais. O maior responsável pela coordenação e controle da operação é o ONS, realizada pelas companhias geradoras e transmissoras,

sob a fiscalização da ANEEL, havendo a possibilidade de troca de energia elétrica entre regiões (ANEEL, 2008).

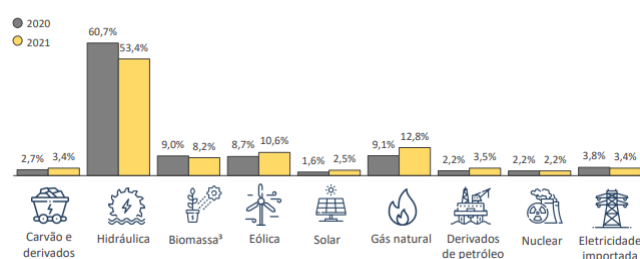
Os Sistemas Isolados estão localizados principalmente na região Norte, são predominantes abastecidos por usinas térmicas movidas a óleo diesel e óleo combustível, mas também fazendo parte as Pequenas Centrais Hidrelétricas (PCH), Centrais Geradoras Hidrelétricas (CGH) e as termelétricas (movidas a biomassa). Os sistemas isolados não estão interligados nas SIN e não permitem intercâmbio de energia elétrica com outras regiões, em função das peculiaridades geográficas da região em que estão instaladas (ANEEL, 2008). Segundo Eletrobrás, estão atendendo cerca de 12% do país e 1,3 milhões de consumidores.

Os sistemas isolados apresentam um custo de geração bem elevado, pelas dificuldades de logística e de abastecimento das localidades. Para conseguir assegurar a população atendida pelo sistema, o Governo federal criou a Conta de Consumo de Combustíveis Fósseis (CCC), encargo setorial que subsidia a compra do óleo diesel e óleo combustível usado na geração de energia (ANEEL, 2008).

## 2.5 GERAÇÃO

O sistema elétrico de potência é o responsável pela geração, transmissão e distribuição da energia elétrica aos consumidores. Inicialmente, tem-se a fase de geração, onde a energia elétrica é produzida. Nas décadas passadas, cerca de 90% da energia elétrica consumida no Brasil era produzida por fontes hidráulicas (HIROTA, 2006). No entanto, atualmente, a matriz elétrica brasileira é composta por diversas fontes de energia elétrica renovável e não renovável, conforme ilustra a Figura 2.2.

**Figura 2.2** – Oferta Interna de Energia Elétrica 2020-2021

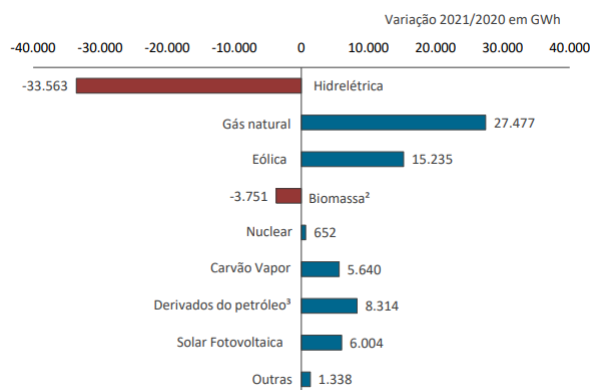


Fonte: (EPE, 2021).

Deste modo, de acordo com (EPE, 2021), a energia elétrica obtida através da geração hidráulica ainda ocupa grande parte na matriz elétrica brasileira, porém se observa um aumento na geração de energia elétrica através de outros tipos de fontes renováveis, como por exemplo: eólica e solar. Além disso, se nota que a geração hidráulica no ano de 2021 decaiu em relação a apresentada no ano de 2020, isto é resultado da crise hídrica que atingiu o país. Desta forma, os níveis dos reservatórios das hidrelétricas diminuíram, ocasionando uma redução na oferta de energia hidrelétrica. O aumento da oferta de outras

fontes de energia elétrica, como por exemplo, gás natural, carvão e derivados de petróleo, surgiram como alternativa para compensar a redução da oferta da energia hidráulica, conforme mostra a Figura 2.3.

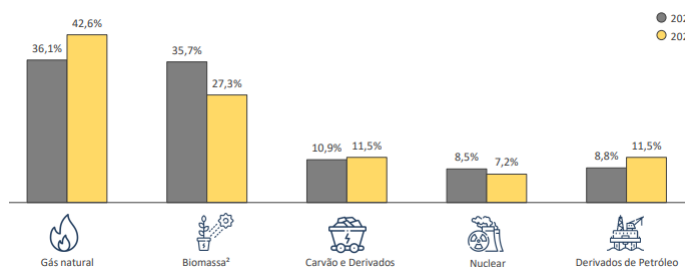
**Figura 2.3 – Aumento da Energia Termelétrica**



Fonte: (EPE, 2021).

A Figura 2.4 ilustra variação da geração de energia elétrica para o período de 2020 e 2021.

**Figura 2.4 – Variação de Geração de Energia Elétrica**



Fonte: (EPE, 2021).

## 2.6 SUBESTAÇÃO

Uma subestação de energia (SE) é definida como um conjunto de Transformação, Controle (Manobras) e Proteção. Além disso, ainda eventualmente de compensação de reativos usados para dirigir o fluxo de energia elétrica em sistema de potência. Elas possuem dispositivos de proteção capazes de detectar as faltas que ocorrem no sistema e de isolar os trechos onde as faltas ocorrem (DUAILIBE, 1999).

A classificação de uma subestação pode ser realizada conforme a sua função, seu nível de tensão, seu tipo de instalação e sua forma de operação (DUAILIBE, 1999).

A classificação quanto à sua função, pode ser dividida em: geração, transformação, manobra e conversão. A classificação quanto ao seu tipo de instalação é dividida em:

subestações a céu aberto, subestações em interiores e subestações blindadas. A classificação quanto a forma de operação, pode ser dividida por: subestações com operador, subestações semi-automáticas e subestações automatizadas (DUAILIBE, 1999).

O tipo construtivo de uma subestação pode ser: convencional, isoladas a gás e híbridas.

## 2.7 LEILÃO

No Brasil o decreto N°7.154, de 9 de abril de 2010 estabelece, sistematiza e regulamenta a atuação de órgãos públicos federais. O decreto estabelece procedimentos a serem observados para autorizar e realizar estudos de aproveitamentos de potenciais de energia hidráulica e sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica no interior de unidades de conservação bem como para autorizar a instalação de sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica em unidades de conservação de uso sustentável.

Os leilões de concessão do serviço público de transmissão são organizados pela ANEEL, quando o Plano de Ampliações e Reforços na Rede Básica (PAR) consolidado pelo Ministério de Minas de Energia (MME) indica instalação de novas subestações ou linhas de transmissão no SIN. Os primeiros lances são feitos em envelope fechado e quando houver proposta com apenas 5% de diferença entre si, esses proponentes passam a uma fase de lance viva-voz (CARVALHO, 2011).

Para a realização de uma concessão de transmissão, sempre é procedida uma licitação que define a competição na entrada, adquirindo o direito de explorar o serviço o empreendedor que se dispuser a prestá-lo pela menor tarifa, ou seja, menor Receita Anual Permitida (RAP) (CARVALHO, 2011).

Vencerá a licitação a empresa que demonstrar capacidade para o desenvolvimento da prestação de serviços (CARVALHO, 2011). E tendo obrigação de cumprir as regras e critérios da ANEEL, sendo sua competência captar, aplicar e gerar os recursos financeiros necessários à adequada ao atendimento dos usuários e com tarifa do serviço público (CARVALHO, 2011).

Os editais de licitação permitem a participação de empresas nacionais e estrangeiras, públicas e privadas, podendo concorrer isoladamente ou em consórcio, assim como fundo de investimentos em participação registrados na Comissão de Valores Mobiliários (CVM) (ANEEL, 2008).

O primeiro passo para iniciar o leilão, é a divulgação do edital público o qual é disponibilizado pela ANEEL. Através dele os interessados podem ter ciência de toda a fase licitatória e constando informações técnicas preliminares sobre as instalações de transmissão e respectiva RAP.



### 2.7.1 RECEITA ANUAL PERMITIDA (RAP)

A Receita Anual Permitida, é a receita anual que a transmissora terá direito pela prestação do serviço público de transmissão aos usuários, a partir da entrada em operação comercial das instalações. Ou seja, o valor é obtido como resultado do leilão, com atualização anual, o qual será revisado pela ANEEL, durante o período de concessão em intervalos periódicos de cinco anos (CANTELMO, 2014).

A RAP é dada pela soma das parcelas de receita de todos os equipamentos que estão sob responsabilidade daquelas concessionárias e que estão disponibilizadas ao ONS (CANTELMO, 2014).

## 2.8 INSTALAÇÕES E EQUIPAMENTOS

Abaixo é apresentado os tipos de subestação e os principais equipamentos presentes em uma subestação de transmissão de energia de alta tensão, além de uma breve explicação sobre cada um deles.

### 2.8.1 TIPOS DE SUBESTAÇÃO

O setor elétrico está cada vez mais visando a inovação dos projetos de instalações e realizar melhorias nas existentes. Través destas melhorias busca-se o aumento da eficiência, da confiabilidade e a redução de custos.

Para as indústrias de energia elétrica alguns fatores devem ser considerados quanto a inovação ou realização de melhorias:

- Equipamentos mais baratos;
- Baixo custo de operação e manutenção;
- Busca pela eficiência, continuidade e disponibilidade do Sistema Elétrico;
- Padronização.

Uma subestação pode ser planejada para dois ambientes ao tempo ou no interior de uma edificação. Nas instalações ao tempo, é tradicionalmente os equipamentos são montados sobre estruturas de concreto ou metálicas já em instalações.

Ano interior de uma edificação, a instalação é convencional, de forma compacta, confinadas em painéis ou blindada (GIS).

#### 2.8.1.1 CONVENCIONAL

Subestações convencionais ou isoladas a ar, são subestações em que o meio isolante dos equipamentos é o ar atmosférico (MEIRELES, 2010).

### 2.8.1.2 ISOLADAS A GÁS

Subestações isoladas a gás ou compactas, no inglês Gas Insulated Switchgear (GIS), são caracterizadas pela diminuição do espaçamento dos equipamentos (sua área pode ser ocupada de 20 a 30% de uma subestação convencional). Os equipamentos são agrupados em módulos, preenchidos por um gás que é responsável por elevar o isolamento elétrico, permitindo esta redução de distância entre os equipamentos (MEIRELES, 2010).

O gás SF<sub>6</sub> hexafluoreto de enxofre é o gás mais utilizado no isolamento de uma GIS, é um gás estável, transparente, inodoro e não inflamável (MEIRELES, 2010). No entanto, este tipo de gás deve ser tratado com o máximo cuidado, uma vez que ele representa um elevado risco ambiental.

### 2.8.1.3 HÍBRIDAS

Onde há presença de ambos os tipos de isolamento de equipamentos citado anteriormente, combina com isolamento de ar com equipamentos de isolamento a SF<sub>6</sub>. Ela é responsável pela compactação de equipamentos de manobra e equipamentos de medição em módulos isolados a gás (MEIRELES, 2010).

## 2.8.2 BARRAMENTO

Em uma área da subestação cujo equipamentos são da mesma classe de tensão eles são chamados de setor, ou seja, possuem um arranjo estabelecido pela configuração dos seus barramentos.

Um barramento, junção ou nó elétrico é um componente ativo para o qual convergem dois ou mais circuitos (que podem ser linhas de transmissão, transformadores de força etc.)

Para a ONS, os requisitos mínimos para subestações e seus equipamentos são definidos de acordo com as barras nas subestações externas da Rede Básica, definidas de acordo com a sua classe de tensão:  $\geq 345$  kV: barra dupla com disjuntor e meio; 230 kV: barra dupla com disjuntor simples a quatro chaves.

A seguir são apresentados os principais tipos de configuração de barra utilizados em sistema elétricos de média, alta e extra-alta tensão:

- Barramento simples;
- Barramento simples com seccionamento;
- Barramento simples com by-pass;
- Barramento principal e transferência;
- Barramento duplo com disjuntor simples (a três, quatro, cinco chaves);

- Barramento duplo e transferência com disjuntor (três a quatro chaves);
- Barramento duplo seccionadas com disjuntores simples a quatro chaves;
- Barramento duplo com disjuntor duplo;
- Barramento duplo com disjuntor meio, meio modificado e um terço.

### 2.8.3 DISJUNTORES

Os disjuntores são equipamentos eletromecânicos de proteção e manobra destinados a interrupção e ao reestabelecimento das correntes elétricas. O objetivo do disjuntor é interromper correntes de defeitos de um determinado circuito durante o menor espaço de tempo (FILHO, 2005).

O processo de abertura dos contatos do disjuntor provoca o surgimento de um arco elétrico.

O arco elétrico é um fenômeno que ocorre quando se separa dois terminais de um circuito que conduz uma determinada corrente de carga, ou seja, quando os contatos se separam e a corrente elétrica é capaz de ionizar as partículas ao seu redor, as deixando condutores, provocando um arco elétrico e elevando a temperatura interna do mecanismo (FILHO, 2005).

Tipos de disjuntores:

- A óleo: Os contatos principais operam imersos em óleo isolante, que serve tanto para extinguir o arco, como isolar o tanque, as partes energizadas.
- Disjuntor a ar comprimido: O meio de extinção é basicamente o nitrogênio do ar, também responsável pela isolação interna do disjuntor. O gás de extinção é propelido em forte jato na direção transversal do arco, função da pressão interna da câmara.
- Disjuntor a sopro magnético: O arco ocorre no ar e sob o campo magnético é alongado, resfriado e interrompido quando em contato com as ranhuras das paredes da câmara.
- Disjuntor a vácuo: É formado por tubos de alta resistência mecânica (vidro ou cerâmica), fechados por placas de ligas metálica. O contato fixo é preso de um lado e no oposto um fole de aço inoxidável é soldado ao contato móvel.
- Disjuntor a gás (SF<sub>6</sub>): A interrupção do arco é feita de maneira semelhante ao de ar comprimido, em que o meio isolante e extintor é o gás SF<sub>6</sub>, que por suas excelentes propriedades isolantes e extintoras, permitem pressões mais baixas na câmara de interrupção. Utiliza pressão única na câmara de extinção, que é hermeticamente selada. O fluxo de gás é dirigido na direção do arco pelo próprio movimento dos contatos móveis. Um ponto muito positivo, que devido suas características, a câmara de um disjuntor a SF<sub>6</sub> praticamente não necessita de manutenção.

#### 2.8.4 CHAVES SECCIONADORAS

Chaves seccionadoras (CS) são dispositivos mecânicos utilizados para manobras em sistemas elétricos, interligando dois pontos de um circuito por meio de seus contatos principais.

Elas têm como objetivos de abrir e fechar um circuito quando a corrente for nula ou for desprezível, conduzir a corrente nominal e garantir isolamento elétrico quando estiver na posição aberta.

As chaves seccionadoras são classificadas em: Chave seccionadora isoladora; Chave seccionadora by-pass; Chave seccionadora seletora; Chave de aterramento; Chave de manobra em carga.

Os principais componentes de um polo de uma seccionadora são: Isoladores/colunas; Conectores; Contatos fixos e móveis; Estrutura de subestação; Mecanismo de acionamento.

Uma seccionadora tem quatro tipos de abertura: lateral, central, vertical e dupla abertura. Há fatores que influenciam a escolha de tipo de seccionadora como nível de tensão e configuração da SE, espaçamento requeridos, função a ser desempenhada e padrões já utilizados na empresa. Na figura 2.5 chave seccionadora SE PAL4, no pátio 230 kV.

**Figura 2.5** – Chaves Seccionadores SE PAL4 pátio 230 kV.



Fonte: Própria autoria.

#### 2.8.5 PARA-RAIOS

O para-raios é um dispositivo com finalidade de proporcionar um caminho seguro a uma descarga elétrica, ou seja, o sistema de para-raios faz com que a descarga seja conduzida de forma segura até o solo.

Em SE são utilizados os para-raios de dos dois tipos: Franklin e Óxido metálico.

- Franklin – Haste metálica que se destina a captar descargas atmosféricas, mais simples e mais visível, mais barato e menos eficiente.
- Óxido Metálico – O para-raios com resistor não linear de óxido de zinco é mais empregado atualmente e os resistores são abrigados em colunas de porcelana ou de fibra de vidro, envelopados com polímero.

Os para-raios podem ser instalados em barramentos, torres de LTs e instalações abrigadas ou não (LTs, transformadores, reatores etc.). Na figura 2.6 para-raios SE PAL4, no pátio 230 kV.

**Figura 2.6** – Para-raios SE PAL4 pátio 230 kV.



Fonte: Própria autoria.

### 2.8.6 TRANSFORMADOR DE FORÇA

O transformador é um equipamento de operação estática, que o seu funcionamento é através de indução eletromagnética transfere energia de um circuito primário para um circuito secundário, mantendo sua frequência original sem variação, mas a tensão e corrente variam. O princípio básico de funcionamento é utilizado para abaixar ou aumentar a tensão e a corrente elétrica (FILHO, 2005). Na figura 2.7 transformador de força atual 230/13,8 kV SE PAL4, no pátio 230 kV.

**Figura 2.7** – Transformadores de força atual 230/13,8 kV.

Fonte: Própria autoria.

#### **2.8.6.1 TANQUE DO TRANSFORMADOR**

O óleo isolante presente no interior do transformador se dilata conforme a variação da temperatura do ambiente no qual ele se encontra. Deste modo, o tanque de expansão ou conservador é utilizado para manter o nível de óleo adequado para o funcionamento correto do transformador independente da temperatura externa. Ademais, o tanque também realiza a retirada de gases que possam se formar em razão da degradação do óleo e do papel kraft. Na Figura 2.7 tanque do transformador de força atual 230/13,8 kV SE PAL4, no pátio 230 kV.

#### **2.8.6.2 SECADOR DE AR DO TRANSFORMADOR**

O secador de ar é um recipiente metálico que serve de comunicação entre o interior do tanque e ambiente externo, tem como objetivo reter a umidade no interior do equipamento e impedir que a umidade entre em contato com o óleo, assim protegendo para não haver perdas de isolamento das partes ativas e levando a queima do equipamento. O secador de ar é dispositivo utilizado para impedir que a umidade do ar penetre no tanque e entre em contato com óleo. Para tal, o secador de ar é um recipiente metálico com Sílica Gel e uma câmara para o óleo. Na Figura 2.8 secador de ar do transformador de força atual 230/13,8 kV SE PAL4, no pátio 230 kV.

**Figura 2.8** – Secador de Ar.

Fonte: Própria autoria.

### 2.8.6.3 TERMÔMETRO DE TRANSFORMADOR

O termômetro é localizado na parte externa do tanque e tem como propósito registrar a medição e identificação de temperatura instantânea do óleo isolante e de temperatura máxima registrada no período. Na Figura 2.9 termômetro do óleo do transformador de força atual 230/13,8 kV SE PAL4, no pátio 230 kV.

**Figura 2.9** – Termômetro do óleo TR SE PAL4.

Fonte: Própria autoria.

### 2.8.6.4 INDICADOR DE NÍVEL DE ÓLEO DE TRANSFORMADOR

Os indicadores de nível de óleo têm por finalidade indicar o nível do líquido isolante, e servem como aparelhos de proteção do transformador (quando provido de

contados para alarmes). Na Figura 2.10 indicador do nível de óleo do transformador de força atual 230/13,8 kV SE PAL4, no pátio 230 kV.

**Figura 2.10** – Indicador do nível de óleo TR SE PAL4.



Fonte: Própria autoria.

#### 2.8.6.5 RELÉ DE GÁS (TIPO BUCHHOLZ) DO TRANSFORMADOR

O relé de gás tipo Buchholz é um dispositivo instalado entre o tanque do transformador e o tanque de expansão do óleo, tem como finalidade detectar formação de gases que se encontram dentro do transformador. Quando é verificada uma anomalia o equipamento sinaliza no painel de comando da subestação, alertando a presença de gases. Na Figura 2.11 relé de gás do transformador de força atual 230/13,8 kV SE PAL4, no pátio 230 kV.

**Figura 2.11** – Relé de gás TR SE PAL4.



Fonte: Própria autoria.



### 2.8.6.6 VÁLVULA PARA ALÍVIO DE PRESSÃO DO TRANSFORMADOR

A válvula para alívio de pressão tem finalidade de proteger os transformadores quando a pressão interna do equipamento atingir um valor superior máximo admitido.

### 2.8.6.7 SISTEMAS DE MOTO-VENTILAÇÃO PARA REFRIGERAÇÃO FORÇADA DO ÓLEO DO TRANSFORMADOR

Os sistemas de moto-ventilação, permitem refrigerar o óleo isolante interno ao transformador, permitindo com isto uma maior potência de transformação, aumentam a dissipação do calor do óleo quando a sua passagem pelos radiadores, aumentando a potência do transformador sem ultrapassar as temperaturas definidas. A ventilação é acionada em dois módulos: ventilação natural e ventilação forçada. Na Figura 2.12 moto-ventilação do transformador de força atual 230/13,8 kV SE PAL4, no pátio 230 kV.

**Figura 2.12** – Moto-ventilação para refrigeração forçada do óleo do TR SE PAL4.



Fonte: Própria autoria.

### 2.8.7 TRANSFORMADOR DE CORRENTE (TC)

Os transformadores de corrente (TC) são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuírem corrente nominais, ou seja, a corrente de carga os quais estão ligados (FILHO, 2005).

Os TCs são equipamentos utilizados para suprir aparelhos que apresentam baixa resistência elétrica. Eles operam com tensão variável, depende da corrente primária e da

carga que está ligada na secundária, formando uma relação de transformação (FILHO, 2005).

- TC Tipo Bucha: Sua instalação é feita na bucha dos equipamentos como disjuntores, transformadores, entre outros, que funcionam como enrolamento primário.
- TC Tipo Pedestal: São utilizados em subestação de alta tensão, e serve de suporte para o condutor primário. Como pode ser visto na Figura 2.13.

**Figura 2.13** – Transformador de corrente tipo pedestal SE PAL4.



Fonte: Própria autoria.

### 2.8.8 TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA (TP)

Os transformadores de potencial ou de tensão são equipamentos utilizados para rebaixar altas tensões do sistema elétrico, com fins de medição e proteção de energia elétrica. A medida da grandeza elétrica deve ser adequada aos instrumentos que serão utilizados (tais como relés medidores de energia e medidores de tensão etc.) (FILHO, 2005).

Os transformadores de potencial podem ser construídos em dois tipos:

- TPs indutivos (eletromagnéticos): O princípio do eletromagnetismo entre os enrolamentos primários e secundário. Utiliza dois enrolamentos acoplados por um núcleo de ferro (utilização até 138 kV) (SILVINO, 2018);
- TPs capacitivos: Os transformadores capacitivos servem para fornecer um divisor de tensão de dois ou mais capacitores ligados (igual ou superior a 138 kV) (SILVINO, 2018).

Na Figura 2.14 tem-se o transformador de potencial (TP) SE PAL4, no pátio de 230 kV.

**Figura 2.14** – Transformador de potencial tipo pedestal SE PAL4.



Fonte: Própria autoria.

### 2.8.9 LINHAS DE TRANSMISSÃO

As linhas de transmissão (LTs) interligam os centros de produção às subestações abaixadoras, localizadas nos centros de carga, constituindo o sistema de transmissão. Da mesma forma, pequenos consumidores são interligados por meio das redes de distribuição em baixa tensão.

Elas possuem duas principais características:

- Tensão de Isolação – A linha de transmissão pertence a um sistema de transmissão de longa distância e para transporte de grandes blocos de potência. Empregam

tensão elevada com objetivo de reduzir perdas ôhmicas e aumentar a eficiência do transporte. Se houver aumento no nível de tensão a eficiência de uma LT, o mesmo também acontece com seu custo, havendo um nível de tensão viável entre os padrões adotados no setor elétrico.

- Corrente nominal: Está ligada ao valor de potência a transportar, o qual foi considerada no projeto. Está associada também à tensão nominal e à bitola do condutor. Os espaçamentos entre as estruturas, a flecha mínima de segurança, igualmente influenciam na definição da corrente nominal de uma LT.

Os principais componentes das LTs são: sistema de aterramento; estrutura, cruzeta; isoladores e ferragens; condutores e espaçadores; sistema de blindagem; ferragem para condutores; identificação e sinalizadores; para-raios.

### 2.8.10 BANCOS DE CAPACITORES

Os bancos de capacitores são equipamentos usados para fazer correção do fator de potência ou na compensação de energia reativa.

Existem três tipos de BC: automáticos, fixos e programáveis. O fator de potência é a razão entre a potência ativa (kW) e potência aparente (kVA) do circuito.

Se o fator de potência estiver baixo ele pode gerar alguns efeitos no circuito como: maior queda de tensão, perdas de energia por aquecimentos dos condutores e nas conexões, redução do aproveitamento da capacidade de transformares, entre outros.

### 2.8.11 SERVIÇOS AUXILIARES

Os serviços auxiliares das subestações devem suprir cargas com qualidade de modo a garantir o funcionamento seguro dos equipamentos elétricos. Visam garantir um conjunto mínimo de cargas principais para o funcionamento da SE (condições normais ou quanto emergência).

O Grupo Motor-Gerador Diesel de Emergência (GMG), é utilizado sempre que houver interrupção de fornecimento na barra essencial, o qual é causada pela perda simultânea das fontes de corrente alternada. Nessa situação, o GMG deve partir automaticamente e alimentar essas cargas. Os GMG podem ser abertos (instalados em salas) e Cabinados (não necessitam de instalação especial, apenas um tanque de diesel). Na Figura 2.15 grupo motor-gerador (GMG) diesel de emergência SE PAL4.

Os retificadores ou carregadores de baterias tem finalidade de converter corrente alternada (CA) em corrente contínua (CC) e mantêm o consumidor e mantêm aos bancos de bateria. Quando acontecer uma perda no CA a carga é transferida para o GMG. Caso o GMG falhar com a operação as cargas passam a ser alimentadas pelos bancos de bateria. Na Figura 2.16a é apresentado o retificador e na Figura 2.16b o banco de baterias SE PAL4.

**Figura 2.15** – GMG tipo cabinados (ou insonorizados) área externa SE PAL4.



Fonte: Própria autoria.

**Figura 2.16** – Serviços auxiliares.



(a) Retificador.



(b) Banco de baterias

Fonte: Própria autoria.

### **3 METODOLOGIA**

Neste capítulo serão apresentadas as ferramentas utilizadas para a obtenção dos resultados. Para tal, se utilizou de rotinas de inspeções e manutenções.

#### **3.1 INSPEÇÃO**

A inspeção busca por defeitos ou problemas operacionais, quando a inspeção de equipamento identifica algo fora do padrão, ela encaminha o item para a manutenção de maneira direcionada ao defeito existente ou pré-estabelecido. Desta forma, serve para aumentar a vida útil dos equipamentos e segurança aos colaboradores.

##### **3.1.1 INSPEÇÃO VISUAL**

A inspeção visual descarta o uso de ferramentas especiais, somente são observados os defeitos que estão evidentes visualmente, exige do profissional uma experiência no setor elétrico e um grande conhecimento sobre os equipamentos.

##### **3.1.2 INSPEÇÃO APURADA**

A inspeção apurada inclui os aspectos cobertos pela inspeção visual além disso pode identificar defeitos, pois utilizam equipamentos. Esse tipo de inspeção, não solicita que o equipamento inspecionado precise ser desligado ou desenergizado.

##### **3.1.3 INSPEÇÃO DETALHADA**

A inspeção detalha inclui todos os aspectos citados anteriores e identifica defeitos só com a abertura do equipamento, utilizando as ferramentas e equipamentos de testes. Esse tipo de inspeção solicita que o equipamento seja desenergizado.

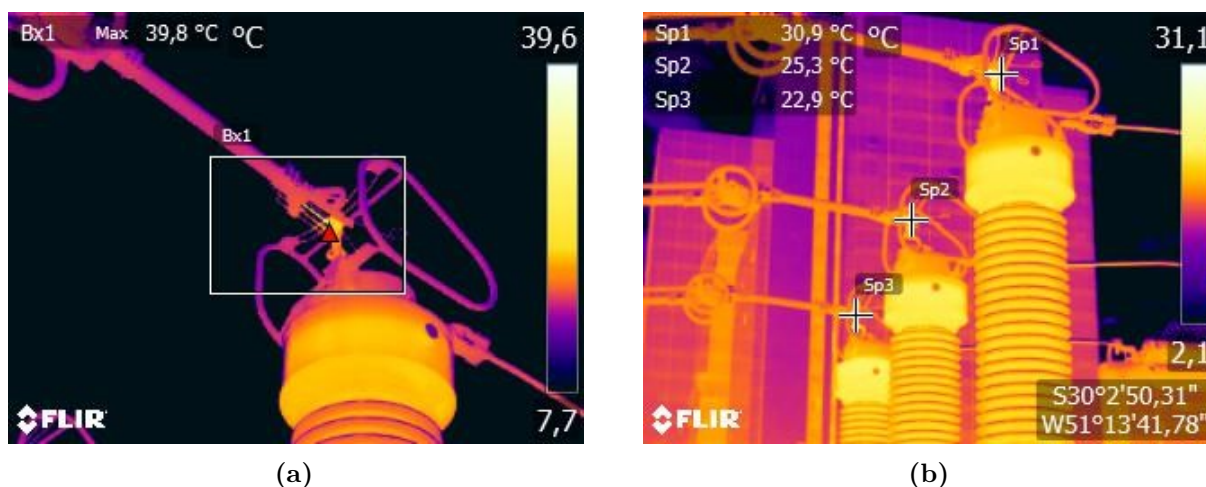
##### **3.1.4 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA**

Uma inspeção termográfica é realizada pelos instrumentos termovisor ou termógrafo, ambos capturam imagens dos pontos quentes do equipamento. É uma inspeção bastante segura na manutenção dos condutores e equipamentos elétricos, a medição é realizada a distância, permite inspecionar equipamentos em operação, não havendo necessidade da parada programada para o procedimento de manutenção.

A inspeção termográfica tem finalidade de analisar os equipamentos em operação, verificando a existência de sobreaquecimentos ou onde a temperatura encontra-se alterada ao padrão.

Nas Figura 3.1a e Figura 3.1b foi realizada durante uma inspeção termográfica com aquecimento no equipamento, localizado na conexão da fase “A” da chave seccionadora com TC.

**Figura 3.1** – Conjunto de gráficos com as funções de transferência resultante de cada algoritmo de otimização aplicando o procedimento 1.



Fonte: Própria autoria.

### 3.1.5 ANÁLISE DO ÓLEO ISOLANTE

A coleta de óleo do isolante serve para diagnosticar o estado funcional e operacional dos equipamentos através de substâncias encontradas no líquido isolante, e analisar as propriedades físico-químicas e cromatográficas em laboratório (SILVINO, 2018).

Para uma coleta ser ideal, não pode conter impurezas, poeira e umidade.

Com o tempo de vida do equipamento pode vir a envelhecer o óleo, formar gases e ácidos, e degradação do óleo isolante, que torna seu uso inadequado para o funcionamento dos equipamentos, sendo necessário análises periódicas por meio da coleta feita no equipamento e encaminhada para teste em laboratório.

A análise do óleo isolante está dividido em dois ensaios: análise físico química (determina a condição de isolamento e o estado de envelhecimento do óleo mineral isolante) e análise cromatográfica (determina a concentração dos gases dissolvidos no óleo mineral isolante).

## 3.2 MANUTENÇÃO

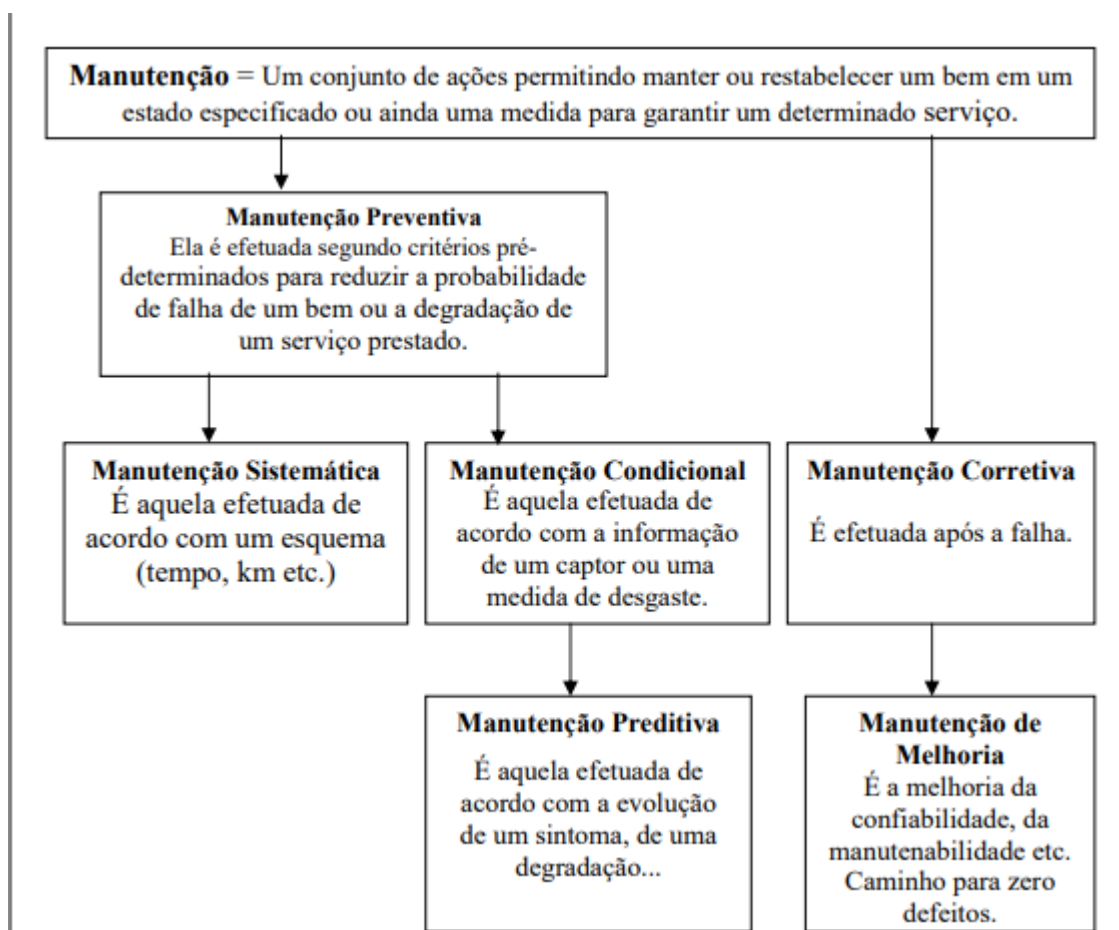
De acordo com (ABNT, 1994), o conceito de manutenção pode ser definido como um conjunto de ações técnicas, administrativas e de supervisão, que tem por finalidade manter ou realocar um item para que esse possa desempenhar a função desejada.

Segundo (MOUBRAY, 2000) a manutenção evoluiu mais do que qualquer outra disciplina de gerenciamento. Havendo uma grande diversidade em itens físicos (instalações, equipamentos e construções) com projetos mais complexos, novas técnicas de manutenção e novos enfoques sobre organização e as responsabilidades da manutenção, incluem uma crescente conscientização do quanto uma falha de equipamento afeta a segurança e o meio

ambiente.

A manutenção é classificada como preventiva ou corretiva, recentemente apareceram outros conceitos, como manutenção preditiva (extensão da preventiva), como pode ser visto na Figura 3.2. Abaixo, são apresentados conceitos e definições da manutenção preventiva e manutenção corretiva.

**Figura 3.2** – Conceito da manutenção.



Fonte: (OLMEDO, 1993).

### 3.3 MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva é feita antes de acontecer o problema, ou seja, manter o equipamento ou instalação de forma satisfatória de operação. A manutenção preventiva está dividida em três partes:

- Manutenção preventiva programada – ocorre em intervalo pré-determinados;
- Manutenção preventiva condicional – ocorre quando um equipamento apresenta um baixo desempenho;
- Manutenção preditiva – quando há probabilidade de o equipamento falhar.



### **3.3.1 MANUTENÇÃO PREDITIVA**

A manutenção preditiva é acompanhamento periódico de vários parâmetros dos equipamentos, baseados na análise de dados coletados através de inspeções ou monitoração. Assim, permitindo a operação contínua pelo maior tempo possível. Para a realização da manutenção preditiva está incluso: análise de vibração, ultrassom, inspeções, análise de óleo.

### **3.3.2 MANUTENÇÃO CORRETIVA**

Segundo Junior (2016) a manutenção corretiva ocorre após ocorrer uma falha no equipamento, com a finalidade de corrigir as causas e efeitos de problemas. Ela pode ocorrer de forma isolada ou em conjunto com a manutenção preventiva.

### **3.3.3 MANUTENÇÃO NA SUBESTAÇÃO DE ESTUDOS**

O histórico da subestação de transmissão de energia é dividido em dois períodos: antes do leilão e pós leilão. Na época antes da realização do leilão de transmissão, a manutenção já estava no dia-a-dia dos operadores da subestação, mas pouco se sabe como eram realizados os processos de manutenção. Após o leilão ocorreu uma reestruturação das atividades e a concepção de um novo planejamento para a realização das atividades de manutenção.

## 4 ESTUDO DE CASO

Este capítulo apresenta a área de estudos que foi realizado o presente trabalho. Inicialmente, o tipo de subestação, as inspeções e manutenções para cada equipamento. Após isso, foi comentado quatro situações, onde ocorreram manutenções corretivas e manutenção preventiva.

Inicialmente, a área de estudo do trabalho é apresentada neste capítulo. Logo após, são feitos comentários a respeito da manutenção. A seguir, é abordada a inspeção. O software utilizado também é apresentado. Por fim, o projeto final para a GIS é ilustrado.

### 4.1 ÁREA DE ESTUDO

A empresa estudada é caracterizada por ser uma empresa brasileira há 4 décadas no ramo de construção civil, localizada na cidade de São Paulo – SP. Mas no setor elétrico ela iniciou os trabalhos em 2019, se tornando uma transmissora de energia elétrica. Ficou conhecida no setor elétrico por arrematar 05 dos 11 lotes ofertados no Leilão-0001/2020 da ANEEL, e encontra-se em 05 dos 27 estados do país.

A Subestação Porto Alegre 4, inaugurada em 1974, atende uma grande parte da cidade de Porto Alegre/RS, fornecendo energia para importantes locais, como Hospitais, centros da cidade, centros comerciais, shoppings centers, Centro Administrativo do Governo do Estado RS, Prefeitura Municipal de Porto Alegre e vários bairros.

No ano de 2020 foi realizado o Leilão de Transmissão N<sup>o</sup> 0001/2020, lote 5, Subestação Porto Alegre 4. Consistindo em novas instalações em substituição às existentes. Revitalização completa da SE como consta:

- Substituição dos 5 Transformadores 230/13,8 kV (50 MVA por 75 MVA cada);
- Substituição dos módulos de conexão 230 kV;
- Substituição dos barramentos 230 kV (Subestação AR para GIS);
- Substituição dos barramentos 13,8 kV.

A SE possui dois Alimentadores Fonte: Porto Alegre 6 (PAL6) e Porto Alegre 10 (PAL10). Além de uma alimentação que compõe apenas barra da Porto Alegre 4 (PAL4) vindo da Porto Alegre 9 (PAL9), sendo ela a não principal, o qual o responsável é a Transmissora Porto Alegrense de Energia S.A (TPAE).

Os bays alimentam as barras A e B de 230 kV. A barra A é alimentada pela PAL10 e a barra B é alimentada pela PAL6, e ambas são interligadas pelo disjuntor 24-1, que é responsável pela interligação das barras. As barras A e B alimentam 5 transformadores de 50 MVA cada, sendo o TR1 e TR6 alimentados pela barra A e TR2, TR3 e TR4 alimentados pela barra B. Cada TR alimenta uma barra específica (TR1 -barra P1, TR2 -

barra P2, TR3 - barra P3, TR4 - barra P4 e TR6 - P5 e P6) e cada barra tem, em média, 7 alimentadores.

Na Figura 4.1 Subestação Porto Alegre 4 230/13,8 kV atual.

**Figura 4.1** – Subestação Porto Alegre 4 230/13,8 kV.



Fonte: Arquivo grupo MEZ.

## 4.2 MANUTENÇÃO NA SUBESTAÇÃO PORTO ALEGRE 4

Os equipamentos foram energizados no ano de 1974, e desde então a manutenção já estava presente no dia a dia dos operadores da subestação, antigamente o recurso era mais escasso e pouco se sabe sobre como eram realizados os processos de manutenção.

O histórico da manutenção dos equipamentos da subestação Porto Alegre 4 está dividido em dois períodos: antes do leilão e depois da empresa ganhar a licitação do leilão.

O plano de manutenção deve ser executado de acordo com a rotina orientada pelo fabricante do equipamento.

A (ANEEL, 2020) estipula requisitos mínimos de manutenção preditiva e preventiva e suas periodicidades para transformadores de potência e autotransformadores, reatores de potência, banco de capacitores paralelos, disjuntores, chaves seccionadoras, transformadores para instrumentos, para-raios e linhas de transmissão.

### 4.2.0.1 MANUTENÇÃO PREDITIVA

As atividades de manutenção preditiva em subestações, como pode ser visto na Tabela 1.

**Tabela 1** – Manutenção preditiva em subestação.

Atividade	Periodicidade máxima (meses)
Inspeções Termográficas nos equipamentos e suas conexões;	6
Ensaaios do Óleo Isolante dos equipamentos	Critério e periodicidades definidos de acordo com o equipamento

Fonte: (ANEEL, 2020).

#### 4.2.0.2 TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E AUTOTRANSFORMADORES

As mínimas e periodicidade em transformadores de potência e autotransformadores, como pode ser visto na Tabela 2.

**Tabela 2** – Manutenção preditiva em subestações.

Atividade	Periodicidade máxima (meses)
Análise de gases dissolvidos no óleo isolante	6
Ensaio físico-químico do óleo isolante	24
Manutenção preventiva periódica	72

Fonte: (ANEEL, 2020).

A (ANEEL, 2020) estabelece que a realização da manutenção preventiva periódica, deve seguir as atividades:

- Inspeção do estado geral de conservação: limpeza, pintura e corrosão nas partes metálicas;
- Verificação da existência de vazamentos de óleo isolante;
- Verificação da existência de vazamentos de gás;
- Verificação do estado de conservação das vedações dos painéis;
- Verificação do aterramento do tanque principal;
- Verificação do funcionamento dos circuitos do relé de gás, do relé de fluxo e da válvula de alívio de pressão do tanque principal;
- Verificação do estado de saturação do material secante utilizado na preservação do óleo isolante;
- Verificação do adequado funcionamento das bolsas e membranas do conservador;
- Verificação dos indicadores de nível do óleo isolante e dos indicadores de temperatura;
- Verificação do funcionamento dos ventiladores e bombas do sistema de resfriamento;

- Verificação da comutação sob carga na função manual e automática;
- Verificação do nível do óleo do compartimento do comutador;
- Inspeção da caixa de acionamento motorizado do comutador;
- Ensaio de fator de potência e de capacitância das buchas com derivação capacitiva.

#### 4.2.0.3 REATORES DE POTÊNCIA

As atividades mínimas e periodicidade em reatores de potência, como pode ser visto na Tabela 3.

**Tabela 3** – Manutenção de reatores.

Atividade	Periodicidade máxima (meses)
Análise de gases dissolvidos no óleo isolante	6
Ensaio físico-químico do óleo isolante	24
Manutenção preventiva periódica	72

Fonte: (ANEEL, 2020).

A (ANEEL, 2020) estabelece que a realização da manutenção preventiva periódica em reatores de potência deve seguir as atividades:

- Inspeção do estado geral de conservação: limpeza, pintura e corrosão nas partes metálicas;
- Verificação da existência de vazamentos de óleo isolante;
- Verificação do estado de conservação das vedações dos painéis;
- Verificação do aterramento do tanque principal;
- Verificação do funcionamento dos circuitos do relé gás, do relé de fluxo e da válvula de alívio de pressão do tanque principal;
- Verificação do estado de saturação do material secante utilizado na preservação do óleo isolante;
- Verificação do adequado funcionamento das bolsas e membranas do conservador;
- Verificação dos indicadores de nível do óleo isolante e dos indicadores de temperatura;
- Verificação do funcionamento dos ventiladores e bombas do sistema de resfriamento;
- Ensaio de fator de potência e de capacitância das buchas com derivação capacitiva.

#### 4.2.0.4 BANCO DE CAPACITORES PARALELOS E FILTROS

As atividades mínimas e periodicidade do banco de capacitores paralelos e filtros, como pode ser visto na Tabela 4:

**Tabela 4** – Manutenção de banco de capacitores paralelos e filtros.

Atividades	Periodicidade máxima (meses)
Manutenção preventiva de banco de capacitores paralelos	36
Manutenção preventiva de filtros	48

Fonte: (ANEEL, 2020).

A (ANEEL, 2020) estabelece que a realização da manutenção preventiva periódica, deve seguir as atividades:

- Inspeção do estado geral de conservação: limpeza, pintura e incrustações;
- Inspeção geral das conexões e verificação da existência de vazamentos e deformações;
- Medição da capacitância;
- Medição da resistência;
- Reaperto de conexões e substituição de componentes, quando necessário.

#### 4.2.0.5 DISJUNTORES E CHAVES DE ALTA VELOCIDADE

As atividades mínimas e periodicidade dos disjuntores e chaves de alta velocidade, como pode ser visto na Tabela 5.

**Tabela 5** – Manutenção disjuntores e chaves de alta velocidade.

Atividades	Periodicidade máxima (meses)
Manutenção preventiva periódica	72

Fonte: (ANEEL, 2020).

A (ANEEL, 2020) estabelece que a realização da manutenção preventiva periódica, deve seguir as atividades:

- Verificação geral na pintura, estado das porcelanas e corrosão;
- Inspeção geral das conexões;
- Remoção de indícios de ferrugem;
- Lubrificação, onde aplicável;

- Verificações do sistema de acionamento e acessórios;
- Verificação do funcionamento de densímetros, pressostatos e manostatos;
- Verificações do circuito de comando e sinalizações e dos níveis de alarmes;
- Verificação de vazamento em circuitos hidráulicos e amortecedores;
- Verificação de vazamentos de gás ou óleo;
- Execução de ensaios de resistência de contatos do circuito principal;
- Execução de ensaios nas buchas condensivas com tap capacitivo;
- Medição dos tempos de operação: abertura e fechamento;
- Verificação das bobinas e sistema antibombeamento;
- Teste do comando local e a distância e acionamento do relé de discordância de polos;
- Verificação do tanque de ar e do óleo do compressor;
- Ensaios de fator de potência e capacitância dos capacitores de equalização, quando for o caso;
- Ensaios de capacitância e indutância dos equipamentos do circuito ressonante, quando for o caso.

Para alguns tipos de disjuntores além das informações das atividades de manutenção citadas acima:

- Disjuntores GVO:
  - Ensaio de rigidez dielétrica do óleo;
  - Ensaio de resistência de isolamento no circuito principal.
- Disjuntores a PVO:
  - Ensaios de fator de potência ou de resistência de isolamento do disjuntor.
- Disjuntores a ar comprimido:
  - Verificação dos reservatórios de ar comprimido;
  - Ensaios nos reservatórios de ar comprimido, quando necessário.
- Disjuntores a SF<sub>6</sub>:
  - Reposição de gás SF<sub>6</sub>.

#### 4.2.1 CHAVES SECCIONADORAS, TRANSFORMADORES PARA INSTRUMENTO, PARA-RAIOS E MEDIDORES EM CCAT

As atividades mínimas e periodicidade das chaves seccionadoras, transformadores para instrumentos, para-raios e medidores de CCAT, podem ser visualizadas na Tabela 6.

**Tabela 6** – Manutenção chaves seccionadoras, transformadores para instrumentos, para-raios e medidores em CCAT.

Atividades	Periodicidade máxima (meses)
Manutenção preventiva periódica	72

Fonte: (ANEEL, 2020).

A (ANEEL, 2020) estabelece que a realização da manutenção preventiva periódica, deve seguir as atividades:

##### Chaves seccionadoras

- Inspeção geral do estado de conservação;
- Verificação da necessidade de limpeza, lubrificação ou substituição dos contatos;
- Inspeção dos cabos de baixa tensão e de aterramento;
- Inspeção do armário de comando e seus componentes;
- Inspeção e limpeza de isoladores, das colunas de suporte e dos flanges dos isoladores;
- Lubrificação dos principais rolamentos e articulações das hastes de acoplamento, quando aplicável;
- Verificação do funcionamento dos controles locais e da operação manual;
- Verificação dos ajustes das chaves de fim de curso;
- Verificação de ajustes, alinhamento e simultaneidade de operação das fases;
- Verificação da operação da resistência de aquecimento.

##### Transformadores para instrumento

- Verificações do estado geral de conservação;
- Inspeção geral das conexões;
- Verificações da limpeza de isoladores;
- Verificação da existência de vazamentos de óleo isolante e/ou gás;
- Reposição de óleo e/ou gás SF<sub>6</sub>;
- Verificação do estado do material secante utilizado.



### 4.2.2 LINHAS DE TRANSMISSÃO

As atividades mínimas e periodicidade para as linhas de transmissão, como pode ser visto na Tabela 7:

**Tabela 7** – Manutenção das Linhas de Transmissão

Atividades	Periodicidade Máxima (meses)
Manutenção preventiva periódica	12

Fonte: (ANEEL, 2020)

A (ANEEL, 2020) estabelece que a realização Da inspeção de rotina as seguintes atividades:

- O estado geral da linha de transmissão e equipamentos;
- Situação da vegetação próxima aos cabos que coloque em risco a operação de linha de transmissão em caso de incidência de queimadas;
- A partir da análise do desempenho da linha de transmissão e dos resultados das inspeções regulares de rotina deve ser avaliada a necessidade de inspeções detalhadas das estruturas, inspeções termográficas, inspeções noturnas para observação de centelhamento em isolamentos ou de inspeções específicas para identificação de defeitos;
- Também deve ser avaliada a necessidade de medição da resistência de aterramento em estruturas onde haja suspeita de mau desempenho do sistema de aterramento, de verificação de tração de estais e de manutenção preventiva e corretiva em estruturas, cabos e acessórios.

### 4.2.3 VÁLVULAS

As atividades mínimas e periodicidade de válvulas de instalação de transmissão em CCAT, como pode ser visto na Tabela 8:

**Tabela 8** – Manutenção válvulas.

Atividades	Periodicidade máxima (meses)
Manutenção preventiva periódica	24
Ensaio de fator de potência e de capacitância das buchas com derivação de capacitiva.	72

Fonte: (ANEEL, 2020)

A (ANEEL, 2020) estabelece que a realização Da inspeção de rotina as seguintes atividades:

- 
- Inspeção do estado geral de conservação: limpeza e corrosão nas partes metálicas;
  - Inspeção da conexão elétrica com o eletrodo;
  - Verificação dos tiristores e dos circuitos snubbers nos módulos das válvulas;
  - Verificação dos barramentos de conexão nos módulos das válvulas;
  - Verificação das conexões e dos tubos do circuito de resfriamento;
  - Verificação do sistema de detecção de vazamento de água das válvulas;
  - Inspeção e limpeza dos isoladores, das colunas de suporte e dos flanges dos isoladores;
  - Inspeção, limpeza e verificação do adequado funcionamento do sistema de resfriamento das válvulas;
  - Inspeção, limpeza e verificação do adequado funcionamento do sistema de ventilação das válvulas;
  - Inspeção, limpeza e verificação do adequado funcionamento do sistema anti-incêndio da sala das válvulas.

## 5 RESULTADOS

Como foi abordado durante o trabalho, a manutenção tem uma grande importância para um bom desempenho e funcionamento dos equipamentos e a garantia da transmissão de energia elétrica. A manutenção é feita para garantir o bom funcionamento e longevidade dos equipamentos, tanto de manobras como de proteção. Periodicamente é realizado a inspeção termográfica nos equipamentos conforme o plano de manutenção citado acima, a fim de identificar anomalias geradas por pontos quentes e diferença do gradiente de temperatura. Conforme o defeito localizado, pode gerar a indisponibilidade do equipamento, gerando uma multa sobre a RAP por indisponibilidade do equipamento.

Conforme o levantamento realizado na SE e após os últimos acontecimentos foi realizado um planejamento de manutenção preventiva sobre os equipamentos desligados, solicitado pela distribuidora de energia, a fim de mitigar possíveis defeitos e incidentes sobre equipamentos energizados. Como pode ser visto na Tabela 9.

**Tabela 9** – Relatório OS – Manutenção Preventiva.

Data	Aplicação	Plano de manutenção
22/03/2022	Disjuntor de transferência da barra P4 (24-6).	Manutenção corretiva
27/03/2022	Alimentador 41 – 13.8 kV.	Manutenção corretiva
13/07/2022	Disjuntor (52-28) dos bancos de capacitores (desativados).	Manutenção preventiva
16/07/2022	Alimentador 8PW.	Manutenção corretiva

Fonte: Própria autoria.

No alimentador 41 foi realizada uma manutenção corretiva, pois após o desarme por defeito na distribuição e após a correção desse defeito, foi solicitado a sua reenergização e ele não reestabeleceu funcionalidade. Então foi solicitado a sua indisponibilização para a manutenção, após inspeção e análise foi localizado o seu defeito na mola de carregamento do disjuntor, a mola ao carregar via motor não está trabalhando de forma correta, escapando da engrenagem fixa que carrega como um gatilho. Foi verificado o defeito após ajustes mecânicos e inspeção manual. Após isso, foi feita a desmontagem do mecanismo, troca da engrenagem principal do motor e ajustes, assim disponibilizado o equipamento para o sistema operacional da subestação. A Tabela 10 o quantidade de manutenções realizadas no alimentador 41.

**Tabela 10** – Quantitativo da manutenção (mão de obra/tempo)

Quantidade de mão de obra	Tempo de execução	Tempo de máquina parada
Turno manhã – 2	30 dias	30 dias

Fonte: Própria autoria.

Disjuntor 24-6, equipamento para a realização de transferência da barra P4, durante a manutenção do alimentador 41 foi detectado um defeito na inserção do disjuntor ao barramento, após a inspeção dos técnicos foi encontrado um bloqueio no acionamento pelo comando elétrico, devido um acúmulo de graxa ao mecanismo, onde deixava o equipamento bloqueado. Foi realizado uma lubrificação nos acionamentos mecânicos onde ele voltou a funcionar, e após isso, realizado um teste a vazio. A Tabela 11 quantifica o processo de manutenção no disjuntor 24-6.

**Tabela 11** – Quantitativo da manutenção (mão de obra/tempo).

Quantidade de mão de obra	Tempo de execução	Tempo de máquina parada
Turno manhã – 2 Turno tarde – 2	2 horas	2 horas

Fonte: Própria autoria.

Disjuntor (52-28) dos bancos de capacitores (desativados), realizada a preventiva de lubrificação do conjunto mecânico, ensaio elétrico de resistência ade contato e testes a vazio para deixá-lo em condições operativas satisfatórias, pois ele irá alimentar provisoriamente por tempo indeterminado as barras novas B2, após a sua liberação. O número de manutenções no disjuntor (52-28) dos bancos de capacitores (desativos) é ilustrado na Tabela 12.

**Tabela 12** – Quantitativo da manutenção (mão de obra/tempo)

Quantidade de mão de obra	Tempo de execução	Tempo de máquina parada
Turno manhã – 2	2 dias	Momento fora de uso.

Fonte: Própria autoria.

Após o princípio de incêndio corrido no alimentador 8PW, ocasionando o seu desarme, foi realizado uma manutenção preventiva geral no cubículo do equipamento. Devido aos danos nos cabos de alimentação do TP e placas isolantes localizada na conexão do TP com cabos de conexão, foi realizada a substituição desse cabo, confecção das terminações do cabo de alimentação do TP (montante e jusante), limpeza em geral, troca da isolação do barramento com a utilização de auto fusão e fita isolante adequadas a este serviço e para liberação foi realizada ensaios de resistência ôhmica (resistência de isolamento). Após os testes realizados com resultados satisfatórios, foi disponibilizado o equipamento para o sistema. Como pode ser visto nas Figuras 5.1a e 5.1b, os equipamentos danificados. A Tabela 13 apresenta a quantidade de manutenções no alimentador 8PW.

Para os demais equipamentos, foi realizado um planejamento futuro de manutenções, com base dos históricos das últimas manutenções preventivas da antiga mantenedora os quais estão registrados no banco de dados, conforme as exigências da ONS, conforme os gráficos abaixo. Esse planejamento está programado para até 4 anos, pois a subestação

está passando por um processo de retrofit, esse que atendera tanto a rede básica quanto alimentadores de 13,8 kV.

**Figura 5.1** – Equipamentos danificados pós incêndio.



(a)



(b)

Fonte: Própria autoria.

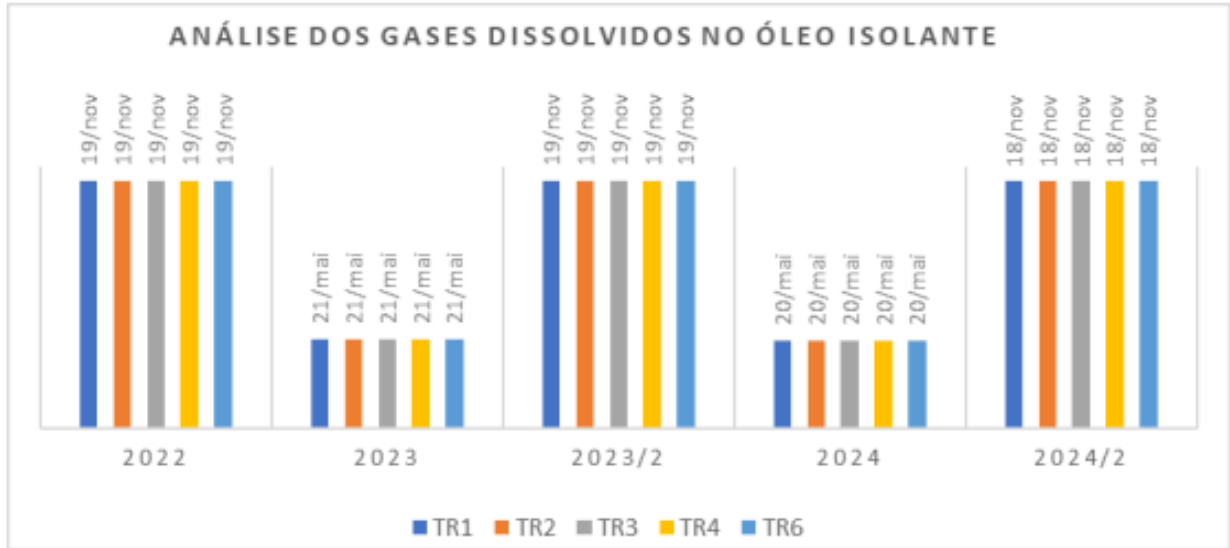
**Tabela 13** – Quantitativo da manutenção (mão de obra/tempo)

Quantidade de mão de obra	Tempo de execução	Tempo de máquina parada
Turno manhã – 2	5 dias	5 dias
Turno tarde – 2		
Turno noite – 2		

Fonte: Própria autoria.

Na Figura 5.2, pode-se observar o planejamento da Análise dos gases dissolvidos no óleo isolante, com período de 6 meses, nos TRs (1, 2, 3, 4 e 6).

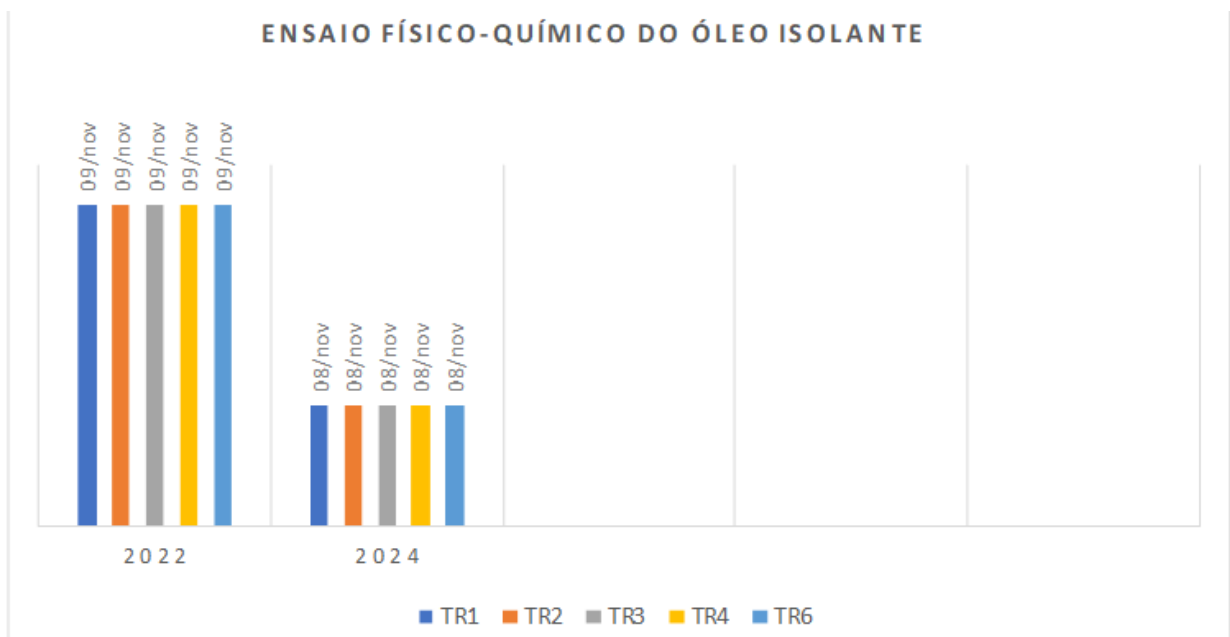
**Figura 5.2** – Análise dos gases dissolvidos no óleo isolante.



Fonte: Própria autoria.

Na Figura 5.3, pode-se observar o planejamento do ensaio físico-químico do óleo isolante, com período de 24 meses, nos TRs (1, 2, 3, 4 e 6).

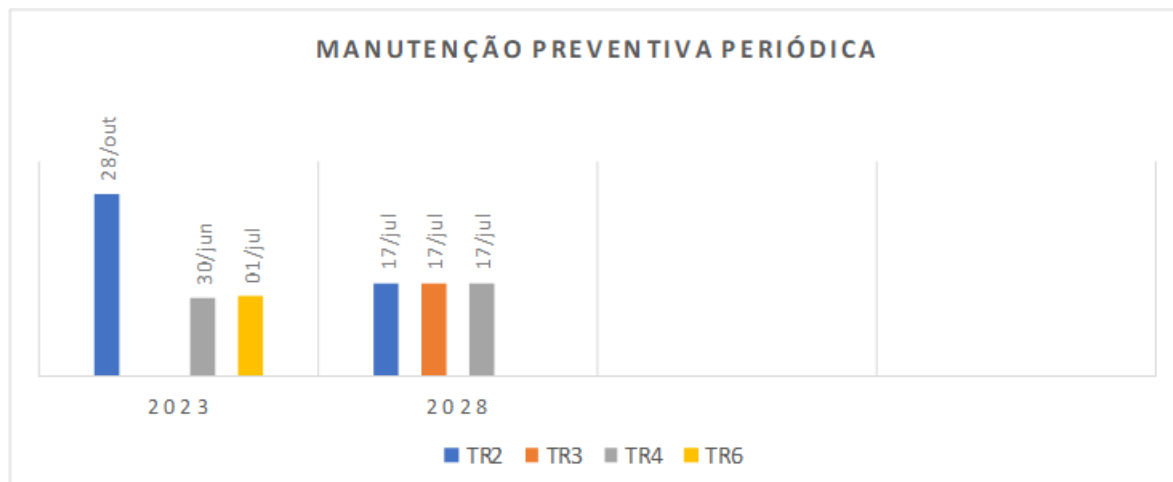
**Figura 5.3** – Ensaio físico-químico do óleo isolante.



Fonte: Própria autoria.

A Figura 5.4 apresenta o planejamento da manutenção preventiva periódica, com período de 72 meses, nos TRs (1, 2, 3, 4 e 6).

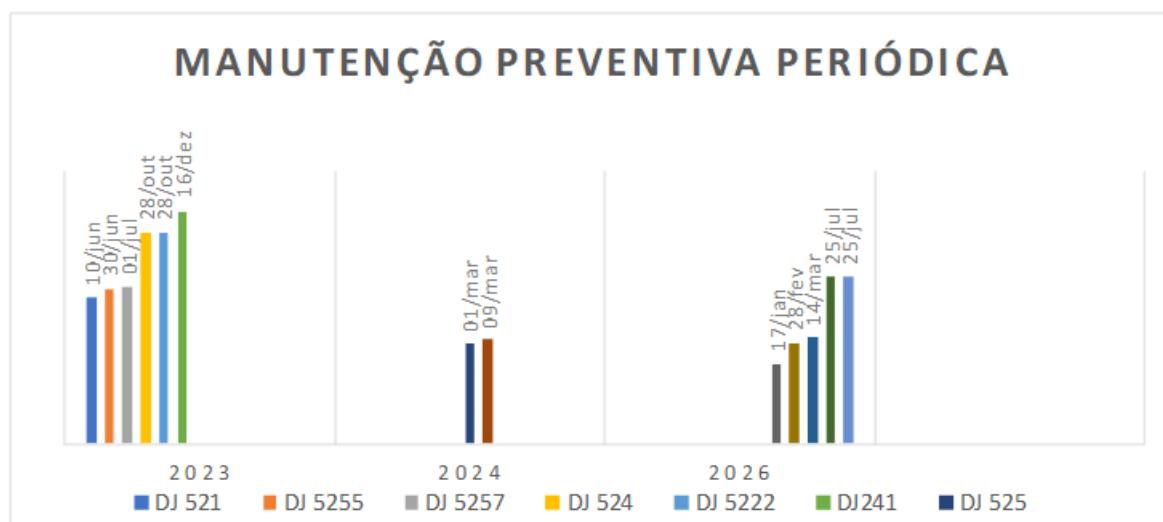
**Figura 5.4** – Manutenção preventiva periódica TRs.



Fonte: Própria autoria.

A Figura 5.5 ilustra o planejamento da manutenção preventiva periódica dos disjuntores.

**Figura 5.5** – Manutenção preventiva periódica dos disjuntores.



Fonte: Própria autoria.

A Figura 5.6 apresenta o planejamento da manutenção preventiva periódica das chaves seccionadoras.

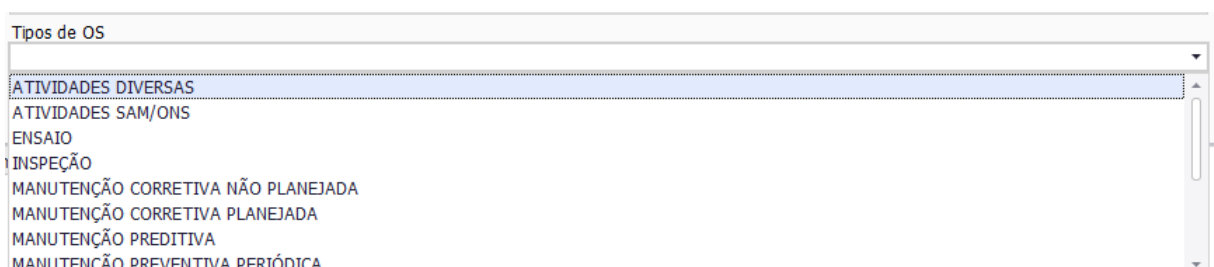
**Figura 5.6** – Manutenção preventiva periódica chaves seccionadoras.

Fonte: Própria autoria.

## 5.1 SOFTWARE DE GESTÃO DE ATIVOS

O software EquipMaint (EQM) é utilizado para gestão de ativos da transmissora. Com objetivo de organizar, planejar e executar equipamentos e equipes da subestação. Responsável tanto pela parte operacional como planejamento e manutenção.

Para a Figura 5.7, foi desenvolvido os tipos de esquemas de serviço que podem ser realizadas e suas ações de realização.

**Figura 5.7** – Tipos de esquemas de serviço cadastrados.

Fonte: Própria autoria.

Foi criada uma programação para inspeções diárias, semanal, quinzenal e mensal, sendo executada pelos três turnos (manhã, tarde e noite) que operam à subestação. Como pode ser visto no exemplo da Figura 5.8. O intuito é monitorar os equipamentos em operação na subestação (no setor inferno 13,8 kV e no setor externo 230 kV).



Figura 5.8 – O plano de inspeção diária.

Sequência	Editável	Obrigatório	ONS	DescCategoria	Descrição	Tempo
1	Não	Não	Não	INSTALAÇÕES PÁTIO ENERGIZADO	Estado das Câmeras de Vigilância e Câmeras para operação de Subestações.	0:00
2	Não	Não	Não	INSTALAÇÕES PÁTIO ENERGIZADO	Estado de conservação das canaletas e suas tampas.	0:00
3	Não	Não	Não	INSTALAÇÕES PÁTIO ENERGIZADO	Estado de conservação das caixas de inspeção / passagem de cabos.	0:00
4	Não	Não	Não	INSTALAÇÕES PÁTIO ENERGIZADO	Estado de conservação das caixas de drenagem / erosão do solo.	0:00
5	Não	Não	Não	INSTALAÇÕES PÁTIO ENERGIZADO	Conservação e condição do aterramento das estruturas e pórticos.	0:00
6	Não	Não	Não	INSTALAÇÕES PÁTIO ENERGIZADO	Verificar a condição nas estruturas (corrosão / pintura).	0:00
7	Não	Não	Não	INSTALAÇÕES PÁTIO ENERGIZADO	Verificar as condições/vazamentos dos dutos de água.	0:00
8	Não	Não	Não	INSTALAÇÕES PÁTIO ENERGIZADO	Porão de Cabos(Organização, iluminação, limpeza e drenagem).	0:00
9	Não	Não	Não	INSTALAÇÕES PÁTIO ENERGIZADO	Identificação e Sinalização de faseamento dos pórticos / bay's / estruturas.	0:00
10	Não	Não	Não	INSTALAÇÕES PÁTIO ENERGIZADO	Verificar a existência no pátio de materiais, entulhos, equipamentos desativados e outros objet	0:00
11	Não	Não	Não	SALAS E PAINÉIS	Verificar estado e funcionamento sistema de iluminação C.A.	0:00
12	Não	Não	Não	SALAS E PAINÉIS	Verificar estado e funcionamento sistema de iluminação C.C. (emergência).	0:00
13	Não	Não	Não	SALAS E PAINÉIS	Verificar estado de conservação civil e limpeza das instalações.	0:00
14	Não	Não	Não	SALAS E PAINÉIS	Verificar condições/existência de identificação das salas, réis, painéis e seus componentes.	0:00
15	Não	Não	Não	SALAS E PAINÉIS	Verificar documentação operativa atualizada conforme OQ/TO/05/2018 (Manual de operação	0:00
16	Não	Não	Não	BARRAMENTOS AÉREOS	Sinalização de faseamento e identificação dos pórticos / estruturas.	0:00
17	Não	Não	Não	BARRAMENTOS AÉREOS	Verificar as conexões e condições do Aterramento.	0:00
18	Não	Não	Não	SECCIONADORES	Estado Geral (Anel corona, Conservação, Pintura, Isoladores, etc).	0:00
19	Não	Não	Não	SECCIONADORES	Condição do Aterramento da caixa e cordoalhas de equalização.	0:00
20	Não	Não	Não	SECCIONADORES	Condição da caixa de comando: existência de infiltração, estado das vedações, iluminação interi	0:00
21	Não	Não	Não	SECCIONADORES	Condição dos Cadeados e fechadura da porta (sistema de bloqueio).	0:00
22	Não	Não	Não	SECCIONADORES	Verificar estado de corrosão das estruturas.	0:00
23	Não	Não	Não	SECCIONADORES	Verificar condições / corrosão das estruturas / pedestais que suportam o equipamento.	0:00
24	Não	Não	Não	SECCIONADORES	Verificar as conexões e condições do Aterramento.	0:00
25	Não	Não	Não	PARA RAIOS	Estado de conservação das porcelanas / poliméricos.	0:00
26	Não	Não	Não	PARA RAIOS	Verificar condições / corrosão das estruturas / pedestais que suportam o equipamento.	0:00
27	Não	Não	Não	PARA RAIOS	Verificar as conexões e condições do Aterramento.	0:00
28	Não	Não	Não	PARA RAIOS	Verificar a existência/qualidade da identificação.	0:00

Fonte: Própria autoria.

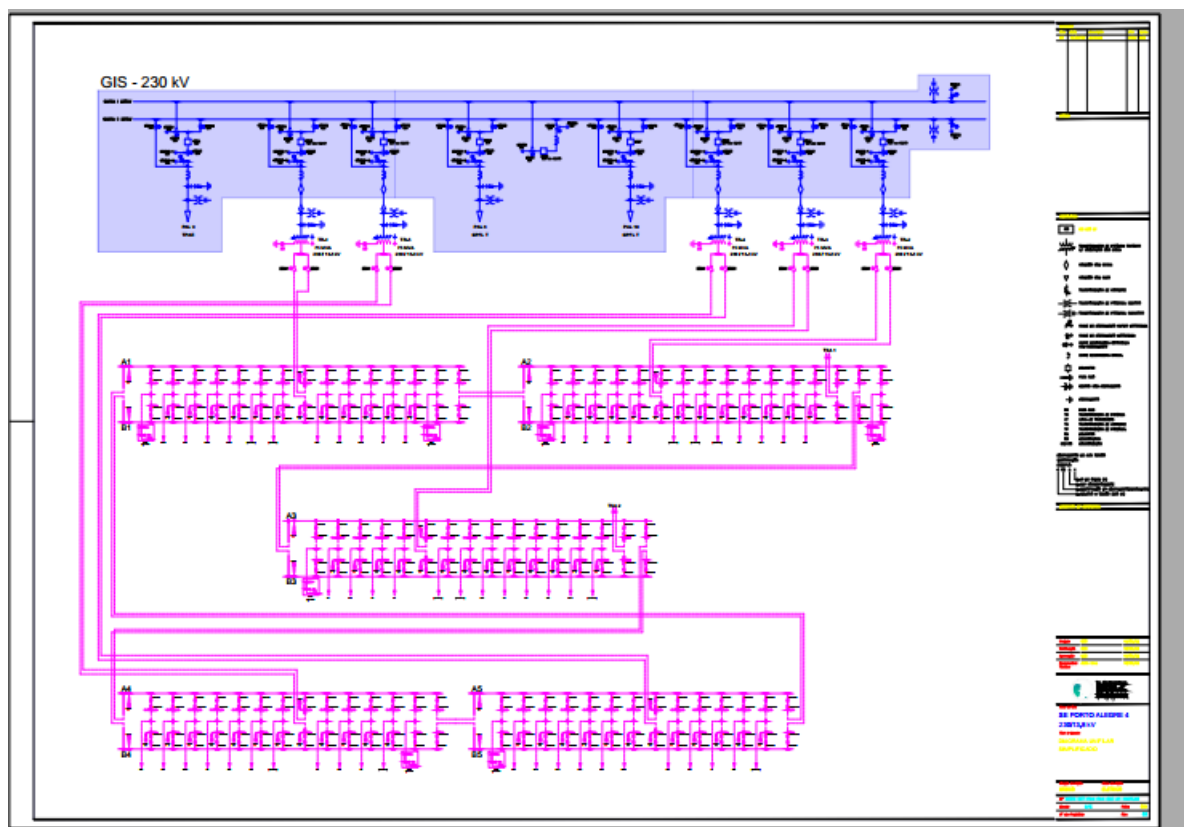
Essas demandas de manutenções são executadas através de SS, OS e SI, como pode ser visto abaixo:

- Solicitação de Serviço (SS): A Solicitação de Serviço é o responsável de padronizar e formalizar a comunicação entre as equipes, é um documento que solicita o atendimento de uma determinada demanda, podem ser originadas a partir de regras do sistema definidas em planos de manutenção ou da identificação de eventos pela operação;
- Ordem de serviço (OS): Representa a decisão de uma equipe a realizar uma atividade. Ela pode ser gerada por vários motivos entre eles: atendimento a uma solicitação de serviço, realização de uma atividade preventiva ou periódica, registro de alguma atividade realizada ou por decisão do supervisor ou coordenador. O fluxo normal da ordem de serviço é: Criar, programar, solicitar intervenção (se necessário) e executar;
- Solicitação de Intervenção (SI): Algumas atividades da manutenção sobre os equipamentos são identificadas como intervenção, são reguladas pelos agentes (procedimentos internos) e órgãos regulatórios, entre eles o Operador Nacional do Sistema (ONS) que publicou procedimento de rede estabelecendo todos os procedimentos para desligamento de função transmissão ou geração.

## 5.2 PLANO DE MELHORIA

O plano de melhoria dos equipamentos está inserido na necessidade de modernização. Na Figura 5.9, podemos observar o unifilar após a revitalização da Subestação Porto Alegre 4.

Figura 5.9 – Unifilar nova subestação Porto Alegre 4.



Fonte: Arquivos grupo MEZ.

Alguns equipamentos devido ao seu tempo de vida útil, considera-se um equipamento comprometido. Os transformadores, além do seu envelhecimento, considerando o resultado das análises das amostras de óleo, consideram-se uns equipamentos comprometidos.

A substituição dos equipamentos foi baseada nos seguintes itens:

- Gases dissolvidos no óleo isolante: Verifica-se os resultados das análises de óleo isolante dos equipamentos, com características inadequadas;
- Degradação do papel;
- Idade do Equipamento.

Os cinco transformadores TRs 1, 2, 3, 4 e 6 de 50 MVA -230/13,8 kV existentes serão substituídos por cinco novos transformadores de 75 MVA cada, os limites de corrente nominal dos equipamentos de 13,8 kV (máximo de 4.000A) com capacidade de emergência de curta duração ficará limitada em 95 MVA.

Com relação aos 6 bancos de capacitores BC-1, BC-2, BC-3, BC-4, BC-5 e BC-6 de 6 MVar, todos foram considerados com final de vida útil e gerando uma dificuldade para normalização com a tecnologia instalada (por exemplo, o tempo elevado de manutenção),

quando os bancos estão chegando ao fim da sua vida útil perdem a capacitância nominal e não são mais adequados para suprir as necessidades de operação. Quando há falhas em um banco de capacitor, em alguns casos podem ocorrer grandes explosões resultando em danos pessoais e materiais.

Os seis bancos de capacitores, serão substituídos por sete bancos de capacitores novos de 3,6 MVar cada, esse quantitativo novo dos bancos de capacitores se deve a previsão de aumento de carga atendido pela transmissora.

Os antigos bancos de capacitores foram retirados da SE para abrir espaço para as barras novas B1, B2 e B3. Posteriormente será feita a transferência das barras P1, P2 e P3 para as novas barras, sem o comprometimento do fornecimento de energia.

### 5.3 PROJETO GIS

A nova instalação da GIS na SE Porto Alegre 4 (PAL4), tem a função atender o aumento da demanda devido a expansão do centro urbano, assim melhorando a qualidade de fornecimento de energia elétrica.

A implantação do novo setor de 230 kV terá suportabilidade de 50 kA e continuidade de serviço, também será abrigado a sala de comando e equipamentos de manobras do setor de 13,8 kV. Os cinco transformadores TRs 1, 2, 3, 4 e 5 de 50 MVA serão substituídos por novos transformadores de 75 MVA.

O novo setor 230 kV será instalado em arranjo barra dupla a 4 chaves (BD4) com equipamentos isolados a gás SF6. Estão divididos pelos seguintes módulos:

- 02 entradas de linha para as linhas de transmissão (LT) Porto Alegre 6 e porto Alegre 10;
- 05módulos de conexão de transformadores para os novos;
- 01 módulo interligador de barras;
- 02 módulos de transformador de potencial de barramento.

No total serão instalados 56 módulos de manobra para alimentadores, 07 bancos de capacitadores de 3,6 MVar, 05 módulos de manobra para conexão de transformadores de 75 MVA e 10 módulos interligadores de barras.

A área do terreno para o projeto GIS consta 763,80m<sup>2</sup>.

## 6 CONCLUSÃO

Este trabalho possibilitou abrir a visão sob o trabalho realizado nas empresas de Transmissão de energia, não se resumindo apenas nas transmissões, como também na proteção, manobras e medições. O objetivo deste estudo, foi demonstrar as etapas de um processo de revitalização de uma subestação de transmissão de energia de 1974, passando por todas as etapas de adequação civil e eletromecânica, como foi demonstrado, o setor 230 kV será migrado de uma subestação do tipo convencional para uma subestação abrigada tipo GIS.

Com o apoio dos técnicos da subestação foi possível ter informações relevantes a este tipo de serviço (teórico e prático).

Com o aprofundamento nos tipos de manutenções, foi possível obter um maior conhecimento dos componentes eletromecânicos e eletrônicos que compõem o sistema elétrico de potência.

Devido os equipamentos estarem tecnicamente obsoletos e contabilmente depreciados, justifica a imediata revitalização da instalação, aumentando a confiabilidade da operação e ganhos para a mantenedora.

A manutenção realizada periodicamente reduz incidentes e indisponibilidade dos equipamentos, ocasionando assim uma maior confiabilidade do sistema e segurança na operação.

## REFERÊNCIAS

- ABNT, A. B. de N. T. *Confiabilidade e Manutenibilidade*. [S.l.]: Associação Brasileira de Normas Técnicas, Rio de Janeiro, 1994. 38
- ACOPLAST BRASIL. *Manutenção industrial: Entenda TODOS os seus tipos e suas características*. 2022. Disponível em: <<https://blog.acoplastbrasil.com.br>>. Acesso em: 20 fev. 2022. 16
- ANEEL. *Lei n° 9.427 de 26 de dezembro de 1996*. 1996. Disponível em: <<http://www.planalto.gov.br>>. Acesso em: 10 mai. 2022. 18
- ANEEL. *Resolução Normativa n°905 de 8 de dezembro de 2020*. 2020. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: 05 mai. 2022. 42, 43, 44, 45, 47, 48
- ANEEL, A. N. de E. E. *Atlas de Energia Elétrica do Brasil*. [S.l.]: Agência Nacional de Energia Elétrica, Brasília, 2008. 15, 16, 18, 19, 20, 21, 23
- CANTELMO, S. M. S. *Análise dos Resultados dos Leilões de transmissão de Energia Elétrica no Brasil*. 104 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) — Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2014. 19, 24
- CARVALHO, R. G. *Análise dos Resultados dos Leilões de transmissão de Energia Elétrica no Brasil*. 97 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Regulação e Gestão de Negócios) — Universidade de Brasília, Brasília, 2011. 15, 23
- DUAILIBE, P. *Consultoria Para Uso Eficiente de Energia*. [S.l.]: Centro Federal de Educação Tecnológica Celso Suckow da Fonseca, 1999. 22, 23
- ELETOBRAS. *A Importância da Energia Elétrica*. 2016. Disponível em: <<http://www.eletobras.com>>. Acesso em: 7 mar. 2022. 18
- EPE. *Balanço Energético Nacional (BEN) 2021: Ano base 2020*. 2021. Disponível em: <<https://ben.epe.gov.br>>. Acesso em: 1 abr. 2022. 20, 21, 22
- FILHO, J. M. *Manual de Equipamentos Elétricos*. [S.l.]: LTC, 2005. 26, 28, 32, 33
- HIROTA, H. H. *O Mercado de Concessão de Transmissão de Energia Elétrica no Brasil*. 97 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Economia Aplicada) — Universidade São Paulo, Ribeirão Preto, 2006. 21
- MEIRELES, D. *Aplicabilidade de subestações compactas isoladas a gás em grandes centros urbanos: proposta de procedimento aplicado à expansão do sistema elétrico*. 77 p. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010. 24, 25
- MOUBRAY, J. *Manutenção Centrada em Confiabilidade*. [S.l.]: Aladon Ltd. Lutterworth, 2000. 38
- MUZY, G. L. C. de O. *Subestações Elétricas*. 122 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012. 16
- OLMEDO, V. M. N. L. *Manutenção - Combate aos Custos da Não-eficácia - a Vez do Brasil*. [S.l.]: Makron Books, 1993. 39

- SILVINO, D. F. *Operação e Manutenção de Equipamentos Elétricos em Subestações Distribuidoras*. 70 p. Dissertação (Graduação em Engenharia Elétrica) — Universidade do Ceará, Fortaleza, 2018. 34
- SPECK, F. S. L. *Desenvolvimento socioeconômico por meio da implantação de uma subestação elétrica em municípios do extremo sul de Santa Catarina*. 63 p. Dissertação (Trabalho de Conclusão de Curso) — UNESC, Criciúma, 2018. 20
- TRIGOSO, F. B. M. *Demanda de energia elétrica e desenvolvimento socioeconômico: o caso das comunidades rurais eletrificadas com sistemas fotovoltaicos*. 336 p. Dissertação (Pós-graduação em Energia) — Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. 18