

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CAMPUS ITUMBIARA
BACHARELADO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

Gabriel Ferreira Mendonça

Procedimentos realizados em manutenções de subestações de média e baixa tensão

Itumbiara
2023



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
SISTEMA INTEGRADO DE BIBLIOTECAS

TERMO DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAÇÃO NO REPOSITÓRIO DIGITAL DO IFG - ReDi IFG

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610/98, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, a disponibilizar gratuitamente o documento no Repositório Digital (ReDi IFG), sem ressarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, em formato digital para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IFG.

Identificação da Produção Técnico-Científica

- | | |
|--|---|
| ☐ Tese | ☐ Artigo Científico |
| ☐ Dissertação | ☐ Capítulo de Livro |
| ☐ Monografia – Especialização | ☐ Livro |
| ☒ TCC - Graduação | ☐ Trabalho Apresentado em Evento |
| ☐ Produto Técnico e Educacional - Tipo: _____ | |

Nome Completo do Autor: Gabriel Ferreira Mendonça

Matrícula: 20172040070240

Título do Trabalho: Procedimentos realizados em manutenções de subestações de média e baixa tensão

Autorização - Marque uma das opções

1. ☒ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso aberto);
2. ☐ Autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG somente após a data ____/____/____ (Embargo);
3. ☐ Não autorizo disponibilizar meu trabalho no Repositório Digital do IFG (acesso restrito).

Ao indicar a opção **2 ou 3**, marque a justificativa:

- ☐ O documento está sujeito a registro de patente.
☐ O documento pode vir a ser publicado como livro, capítulo de livro ou artigo.
☐ Outra justificativa: _____

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O/A referido/a autor/a declara que:

- i. o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- ii. obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autor/a, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- iii. cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás.

Itumbiara-GO, 03 / 03 / 2024.

Local

Data

Assinatura do Autor e/ou Detentor dos Direitos Autorais

Gabriel Ferreira Mendonça

Procedimentos realizados em manutenções de subestações de média e baixa tensão

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Banca Examinadora do Trabalho de Conclusão do Curso de Bacharel em Engenharia Elétrica, em cumprimento às exigências legais como requisito parcial à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Wellington do Prado

**Itumbiara
2023**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

G118p Mendonça, Gabriel Ferreira
 Procedimentos realizados em manutenções de subestações de
 média e baixa tensão. / Gabriel Ferreira Mendonça. --
 Itumbiara, 2023.
 169p. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia
Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia
de Goiás, Câmpus Itumbiara, 2023.

Orientadora: Prof. Me. Wellington do Prado.

1. Subestações elétricas. 2. Estações elétricas
(Subestações). 3. Manutenção de equipamento. I. Título. II.
Prado, Wellington do. III. Instituto Federal de Educação,
Ciência e Tecnologia de Goiás.

CDD 621.3191

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Biblioteca Maria Gabriela Pacheco Pardey / Câmpus Itumbiara
Bibliotecária: Rosiane Gonçalves de Lima CRB1/1684



INSTITUTO FEDERAL
Goiás

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE GOIÁS
CÂMPUS ITUMBIARA

Termo de Aprovação

Gabriel Ferreira Mendonça

PROCEDIMENTO REALIZADOS EM MANUTENÇÃO DE SUBESTAÇÕES DE MÉDIA E BAIXA TENSÃO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás – Câmpus Itumbiara, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Elétrica.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado, em 06 de outubro de 2023, pela banca examinadora constituída pelos seguintes membros:

BANCA EXAMINADORA

Prof. MSc. Wellington do Prado - Orientador

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

(Assinado Eletronicamente).

Prof. Dr. Cláudio Roberto Pacheco - membro interno

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

(Assinado Eletronicamente).

Prof. Dr. Roberlam Gonçalves de Mendonça - membro interno

Instituto Federal de Goiás, Câmpus Itumbiara.

(Assinado Eletronicamente).

Itumbiara – GO

2023

Documento assinado eletronicamente por:

- **Claudio Roberto Pacheco**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/02/2024 20:28:57.
- **Roberlam Goncalves de Mendonca**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/02/2024 10:55:13.
- **Wellington do Prado**, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO, em 26/02/2024 10:50:41.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 26/02/2024. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifg.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 511242

Código de Autenticação: 4da7fc19c0



Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás
Avenida Furnas, nº 55, None, Bairro Village Imperial, ITUMBIARA / GO, CEP 75524-010
(64) 2103-5612 (ramal: 5612)

RESUMO

O trabalho aborda os procedimentos realizados em uma manutenção de subestações elétricas, englobando diversos tópicos relevantes. Destacando a importância da manutenção preventiva e periódica para prolongar a vida útil dos equipamentos e evitar falhas no sistema. É apresentado uma explicação detalhada dos equipamentos presentes em uma subestação de energia, incluindo transformadores, disjuntores, chaves seccionadoras, muflas de isolamento e para-raios. Cada equipamento é discutido em termos de sua função, importância e procedimentos de ensaios associados. Exemplos práticos de ensaios realizados em campo pelo próprio autor são apresentados, fornecendo dados reais e confiáveis. Os resultados dos ensaios de resistência de isolamento, resistência de contato e relação de espiras são discutidos, demonstrando a integridade e eficiência dos equipamentos analisados. Esses resultados respaldam a importância dos procedimentos de manutenção e dos ensaios realizados para garantir a operação segura e confiável das subestações elétricas. Em resumo, este TCC aborda de forma abrangente os procedimentos realizados em uma manutenção de subestações elétricas. Espera-se que este trabalho contribua para o aprimoramento dos procedimentos de manutenção em subestações elétricas, promovendo a segurança e confiabilidade do sistema elétrico de potência.

Palavras Chave: Subestação; ensaio; procedimentos; equipamentos; manutenção.

ABSTRACT

The work addresses the procedures performed in electrical substation maintenance, encompassing several relevant topics. Highlighting the importance of preventive and periodic maintenance to extend the useful life of equipment and avoid system failures. A detailed explanation of the equipment present in a power substation is presented, including transformers, circuit breakers, disconnect switches, insulation muffles and lightning rods. Each piece of equipment is discussed in terms of its function, importance, and associated testing procedures. Practical examples of tests carried out in the field by the author are presented, providing real and reliable data. The results of the insulation resistance, contact resistance and turns ratio tests are discussed, demonstrating the integrity and efficiency of the analyzed equipment. These results support the importance of maintenance procedures and tests performed to ensure the safe and reliable operation of electrical substations. In summary, this TCC comprehensively addresses the procedures performed in electrical substation maintenance. It is expected that this work will contribute to the improvement of maintenance procedures in electrical substations, promoting the safety and reliability of the electrical power system.

Keywords: Substation; testing; procedures; equipment; maintenance.

Lista de Figuras

Figura 1 – Sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica	20
Figura 2 - Matriz elétrica brasileira 2021 (BEN, 2022)	21
Figura 3 – Parte externa de uma subestação.....	32
Figura 4 – Subestação abrigada com ramal de entrada subterrâneo.....	35
Figura 5 – Subestação com ramal de entrada aéreo.....	36
Figura 6 – Cubículo de medição com entrada subterrânea.....	37
Figura 7 – Cubículo de proteção.....	38
Figura 8 – Cubículo de transformação.	39
Figura 9 – Transformador de potência.	42
Figura 10 – Disjuntor de média tensão.....	43
Figura 11 – Chave seccionadora sem fusível.	44
Figura 12 – Chave seccionadora com fusível.....	45
Figura 13 – Transformador de corrente (TC).	46
Figura 14 – Transformador de potência (TP).	47
Figura 15 – Relé de proteção de média tensão.....	48
Figura 16 – Mufla.....	49
Figura 17 – Para-raios: a) Baixa tensão – 280V, b) Corpo de polimérico, c) Corpo de porcelana – classe 3, d) Corpo de porcelana – classe 4, e) Polimérico para subestações ou redes aéreas.....	50
Figura 18 – Luva de isolamento de 17 Kv.....	59
Figura 19 – Óculos de proteção com certificado CA.	59
Figura 20 – Capacete de segurança com aba frontal H-700 branco – 3M.....	59
Figura 21 – Cinto de segurança athenas paraquedista 5 pontos, cintura e perna.	60
Figura 22 – Bota de segurança em microfibra, bico de composite.....	60
Figura 23 – Vestimenta arco elétrico NR10 – Risco II.	60
Figura 24 – Conjunto eletricitista risco 3 e 4.....	61
Figura 25 – Capuz segurança balaclava (arco elétrico).....	61
Figura 26 -Protetor auditivo.	61
Figura 27 – Colete de sinalização refletivo.	62
Figura 28 – Grade de proteção em subestações.....	62
Figura 29 – Extintor de incêndio.	63
Figura 30 – Sinalização de segurança.....	63
Figura 31 – Componentes do sistema de bloqueio LOTO.	64
Figura 32 – Detector de alta tensão.	64
Figura 33 – Vara de manobra 6 elementos com bolsa de lona.	64
Figura 34 – Cone de sinalização.....	65
Figura 35 – Tapete de isolamento para cargas de alta tensão.	65
Figura 36 – Conjunto de aterramento temporário para cabine / subestação de até 15kv	65
Figura 37 – Megômetro digita – Megabras, capacidade de 0,5 KV a 10KV, alcance de 10Tohms.....	68
Figura 38 – Micro-Ohmímetro digital 100A – Instrum.....	69
Figura 39 – Medidor de relação de transformadores - TTR 2000I – Instrum.	70
Figura 40 – Exemplar de documento de permissão de trabalho seguro (PTS).....	72
Figura 41 – Profissional equipado com os EPI's apropriados para circuitos de média tensão.....	75
Figura 42 – Tapetes de isolamento para cargas de média tensão.....	75
Figura 43 – Painel de acionamento remoto do Quadro Geral De Baixa Tensão (QGBT).	76
Figura 44 – Painel de acionamento remoto do disjuntor de média tensão.	77

Figura 45 – Cubículos com chaves seccionadoras de média tensão.....	78
Figura 46 – Aplicação prática do teste zero.	79
Figura 47 – Bloqueio realizado na seccionadora de alimentação de todo o circuito.....	80
Figura 48 – Aterramento temporário acoplado no sistema.....	81
Figura 49 – Subestação e componentes elétricos antes de realizar a limpeza.	83
Figura 50 - Subestação e componentes elétricos depois de realizar a limpeza.	84
Figura 51 - Ensaio de resistência de isolamento entre a carcaça e os contatos de alta do transformador.	91
Figura 52 - Ensaio de resistência de isolamento entre a carcaça e os contatos de alta do transformador.	93
Figura 53 - Ensaio de resistência de isolamento entre os contatos de baixa e a carcaça do transformador.	95
Figura 54 - Ensaio de resistência de isolamento dos polos do disjuntor.....	97
Figura 55 - Ensaio de resistência de isolamento dos isoladores do disjuntor.	98
Figura 56 - Ensaio de resistência de isolamento entre os bastões de uma chave seccionadora.	100
Figura 57 - Ensaio de resistência de isolamento em relação a massa.	102
Figura 58 - Ensaio de resistência de isolamento de uma mufla de isolamento.	104
Figura 59 - Diagrama de ensaio em para-raios.....	105
Figura 60 - Ensaio de resistência de contato do polo do disjuntor.	108
Figura 61 - Ensaio de resistência de contato da chave seccionadora.	111
Figura 62 - Demonstrativo de ligação para testes de relação de espiras em diferentes ligações de transformadores.	112
Figura 63 - Demonstrativo das diferentes fórmulas matemáticas para cada ligação possível em transformadores.	113
Figura 64 - Demonstrativo dos ensaios exemplificados.....	113
Figura 65 - Ensaio de relação de transformação na fase Rr do transformador.....	114
Figura 66 - Ensaio de relação de transformação na fase Ss do transformador.....	115
Figura 67 - Ensaio de relação de transformação na fase Tt do transformador.	116
Figura 68 - Transformador de 750 KVA e sua placa de informação.	121
Figura 69 - Transformador de 1.500 KVA e sua placa de informação.	123
Figura 70 - Transformador de 2.500 KVA e sua placa de informação.	125
Figura 71 - Transformador de 45 KVA e sua placa de informação.	127
Figura 72 – Disjuntor do estudo de prova 01 e sua placa de informação.....	129
Figura 73 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.	131
Figura 74 – Disjuntor do estudo de prova 02 e sua placa de informação.....	132
Figura 75 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.	134
Figura 76 – Disjuntor do estudo de prova 03 e sua placa de informação.....	135
Figura 77 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.	137
Figura 78 – Disjuntor do estudo de prova 04 e sua placa de informação.....	138
Figura 79 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.	140
Figura 80 – Chave seccionadora do estudo de prova 01 e sua placa de informação.....	142
Figura 81 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.	143
Figura 82 – Chave seccionadora do estudo de prova 02 e sua placa de informação.....	145
Figura 83 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.	146
Figura 84 – Chave seccionadora do estudo de prova 03 e sua placa de informação.....	148
Figura 85 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.	149
Figura 86 – Chave seccionadora do estudo de prova 04 e sua placa de informação.....	151
Figura 87 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.	152
Figura 88 – Mufla de isolamento do estudo de prova 01.....	154

Figura 89 – Mufla de isolação do estudo de prova 02.....	156
Figura 90 – Mufla de isolação do estudo de prova 03.....	157
Figura 91 – Mufla de isolação do estudo de prova 04.....	158
Figura 92 – Para-raios do estudo de prova 01.	160
Figura 93 – Para-raios do estudo de prova 01.	161
Figura 94 – Para-raios do estudo de prova 01.	162
Figura 95 – Para-raios do estudo de prova 01.	164

Lista de Gráficos

Gráfico 1 - Resistência de isolação transformador 750KVA.	122
Gráfico 2 – Relação de transformação das bobinas do transformador 750 KVA.	122
Gráfico 3 - Resistência de isolação transformador 1.500KVA.	124
Gráfico 4 – Relação de transformação das bobinas do transformador 1.500 KVA.	124
Gráfico 5 - Resistência de isolação transformador 2.500 KVA.	126
Gráfico 6 – Relação de transformação das bobinas do transformador 2.500 KVA.	126
Gráfico 7 - Resistência de isolação transformador 45 KVA.	128
Gráfico 8 – Relação de transformação das bobinas do transformador 45 KVA.	128
Gráfico 9 - Resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 01.	130
Gráfico 10 - Resistência de contato disjuntor do estudo de prova 01.	131
Gráfico 11 - Resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 02.	133
Gráfico 12 - Resistência de contato disjuntor do estudo de prova 02.	134
Gráfico 13 - Resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 03.	136
Gráfico 14 - Resistência de contato disjuntor do estudo de prova 03.	137
Gráfico 15 - Resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 04.	139
Gráfico 16 - Resistência de contato disjuntor do estudo de prova 04.	140
Gráfico 17 - Resistência de contato chave seccionadora do estudo de prova 01.	143
Gráfico 18 - Resistência de isolação chave seccionadora do estudo de prova 01.	144
Gráfico 19 - Resistência de contato chave seccionadora do estudo de prova 02.	146
Gráfico 20 - Resistência de isolação chave seccionadora do estudo de prova 01.	147
Gráfico 21 - Resistência de contato chave seccionadora do estudo de prova 03.	149
Gráfico 22 - Resistência de isolação chave seccionadora do estudo de prova 03.	150
Gráfico 23 - Resistência de contato chave seccionadora do estudo de prova 04.	152
Gráfico 24 - Resistência de isolação chave seccionadora do estudo de prova 04.	153
Gráfico 25 - Resistência de isolação mufla de isolação do estudo de prova 01.	155
Gráfico 26 - Resistência de isolação mufla de isolação do estudo de prova 02.	156
Gráfico 27 - Resistência de isolação mufla de isolação do estudo de prova 03.	158
Gráfico 28 - Resistência de isolação mufla de isolação do estudo de prova 04.	159
Gráfico 29 - Resistência de isolação para-raios do estudo de prova 01.	161
Gráfico 30 - Resistência de isolação para-raios do estudo de prova 02.	162
Gráfico 31 - Resistência de isolação para-raios do estudo de prova 03.	163
Gráfico 32 - Resistência de isolação para-raios do estudo de prova 04.	164

Lista de Tabelas

TABELA 1 – Tensões do sistema elétrico nacional.....	25
TABELA 2 – Classificação das subestações através dos seus níveis de tensões	27
TABELA 3 – Evolução das técnicas de manutenção.	51
TABELA 4 - Checklist a ser realizados em uma manutenção de subestações.....	119
TABELA 5 - Informações de placa do transformador do estudo de prova 01.....	121
TABELA 6 - Checklist de inspeção em transformadores de média tensão.....	121
TABELA 7 - Valores do ensaio de resistência de isolação transformador 750 KVA.....	122
TABELA 8 - Valores do ensaio de relação de transformação do transformador 750 KVA. .	122
TABELA 9 - Informações de placa do transformador do estudo de prova 02.....	123
TABELA 10 - Checklist de inspeção em transformadores de média tensão.....	123
TABELA 11 - Valores do ensaio de resistência de isolação transformador 1.500 KVA.....	124
TABELA 12 - Valores do ensaio de relação de transformação do transformador 1.500 KVA.	124
TABELA 13 - Informações de placa do transformador do estudo de prova 03.....	125
TABELA 14 - Checklist de inspeção em transformadores de média tensão.....	125
TABELA 15 - Valores do ensaio de resistência de isolação transformador 2.500 KVA.....	126
TABELA 16 - Valores do ensaio de relação de transformação do transformador 2.500 KVA.	126
TABELA 17 - Informações de placa do transformador do estudo de prova 04.....	127
TABELA 18 - Checklist de inspeção em transformadores de média tensão.....	127
TABELA 19 - Valores do ensaio de resistência de isolação transformador 45KVA.....	128
TABELA 20 - Valores do ensaio de relação de transformação do transformador 45KVA. .	128
TABELA 21 - Informações de placa do disjuntor do estudo de prova 01.	129
TABELA 22 - Checklist de inspeção em disjuntor de média tensão.	130
TABELA 23 - Valores do ensaio de resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 01.	130
TABELA 24 - Valores do ensaio de contato disjuntor do estudo de prova 01.	131
TABELA 25 - Informações de placa do disjuntor do estudo de prova 02.	132
TABELA 26 - Checklist de inspeção em disjuntor de média tensão.	133
TABELA 27 - Valores do ensaio de resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 02.	133
TABELA 28 - Valores do ensaio de contato disjuntor do estudo de prova 01.	134
TABELA 29 - Informações de placa do disjuntor do estudo de prova 03.	135
TABELA 30 - Checklist de inspeção em disjuntor de média tensão.	136
TABELA 31 - Valores do ensaio de resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 03.	136
TABELA 32 - Valores do ensaio de contato disjuntor do estudo de prova 01.	137
TABELA 33 - Informações de placa do disjuntor do estudo de prova 04.	138
TABELA 34 - Checklist de inspeção em disjuntor de média tensão.	139
TABELA 35 - Valores do ensaio de resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 04.	139
TABELA 36 - Valores do ensaio de contato disjuntor do estudo de prova 04.	140
TABELA 37 - Informações de placa da chave seccionadora do estudo de prova 01.....	142
TABELA 38 - Checklist de inspeção em chave seccionadora de média tensão.	142
TABELA 39 - Valores do ensaio de contato chave seccionadora do estudo de prova 01.	143

TABELA 40 - Valores do ensaio de resistência de isolação seccionadora do estudo de prova 01.	143
TABELA 41 - Informações de placa da chave seccionadora do estudo de prova 02.....	145
TABELA 42 - Checklist de inspeção em chave seccionadora de média tensão.	145
TABELA 43 - Valores do ensaio de contato chave seccionadora do estudo de prova 02.	145
TABELA 44 - Valores do ensaio de resistência de isolação seccionadora do estudo de prova 02.	146
TABELA 45 - Informações de placa da chave seccionadora do estudo de prova 03.....	148
TABELA 46 - Checklist de inspeção em chave seccionadora de média tensão.	148
TABELA 47 - Valores do ensaio de contato chave seccionadora do estudo de prova 03.	148
TABELA 48 - Valores do ensaio de resistência de isolação seccionadora do estudo de prova 03.	149
TABELA 49 - Informações de placa da chave seccionadora do estudo de prova 04.....	151
TABELA 50 - Checklist de inspeção em chave seccionadora de média tensão.	151
TABELA 51 - Valores do ensaio de contato chave seccionadora do estudo de prova 04.	151
TABELA 52 - Valores do ensaio de resistência de isolação seccionadora do estudo de prova 04.	152
TABELA 53 - Informações da mufla de isolação do estudo de prova 01.....	154
TABELA 54 - Valores do ensaio de resistência de isolação mufla do estudo de prova 01. ..	155
TABELA 55 - Informações da mufla de isolação do estudo de prova 02.....	155
TABELA 56 - Valores do ensaio de resistência de isolação mufla do estudo de prova 02. ..	156
TABELA 57 - Informações da mufla de isolação do estudo de prova 03.....	157
TABELA 58 - Valores do ensaio de resistência de isolação mufla do estudo de prova 03. ..	157
TABELA 59 - Informações da mufla de isolação do estudo de prova 04.....	158
TABELA 60 - Valores do ensaio de resistência de isolação mufla do estudo de prova 04. ..	159
TABELA 61 - Valores do ensaio de resistência de isolação para-raios do estudo de prova 01.	160
TABELA 62 - Valores do ensaio de resistência de isolação para-raios do estudo de prova 02.	162
TABELA 63 - Valores do ensaio de resistência de isolação para-raios do estudo de prova 03.	163
TABELA 64 - Valores do ensaio de resistência de isolação para-raios do estudo de prova 04.	164

Sumário

1.0 –	CAPÍTULO 01: INTRODUÇÃO	16
1.1 –	CONTEXTUALIZAÇÃO	17
1.2 –	OBJETIVOS	17
1.2.1.	OBJETIVO GERAL	17
1.2.2.	OBJETIVO ESPECÍFICO	18
1.2.3.	ESTRUTURA DO TRABALHO	18
2.0 –	SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA (S.E.P.)	20
2.1 –	SISTEMA DE GERAÇÃO	20
2.2 –	SISTEMA DE TRANSMISSÃO.....	22
2.3 –	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO	23
2.3.1.	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PRIMÁRIO	23
2.3.2.	SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIO.....	24
3.0 –	SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA.....	26
3.1 –	CARACTERÍSTICAS GERAIS	26
3.1.1.	NÍVEL DE TENSÃO	27
3.1.2.	SUBESTAÇÕES INDUSTRIAIS	27
3.2 –	TIPOS CONSTRUTIVOS DE SUBESTAÇÕES	28
3.2.1.	INSTALAÇÃO ABRIGADA.....	30
3.2.2.	INSTALAÇÃO AO TEMPO EM BARRAMENTOS NUS E INSTALAÇÕES CONVENCIONAIS.....	30
3.2.3.	INSTALAÇÃO AO TEMPO EM BARRAMENTOS ISOLADOS COMPACTOS... 30	
3.2.4.	INSTALAÇÃO BLINDADA.....	31
3.3 –	SUBESTAÇÃO DE MÉDIA TENSÃO	31
3.3.1.	PARTE EXTERNA DE UMA SUBESTAÇÃO	31
3.3.2.	PONTO DE LIGAÇÃO OU DERIVAÇÃO.....	32
3.3.3.	RAMAL DE LIGAÇÃO	33
3.3.4.	PONTO DE ENTRADA	33
3.3.5.	RAMAL DE ENTRADA	34

3.4 –	CARACTERÍSTICAS DE SUBESTAÇÕES ABRIGADAS.....	35
3.4.1.	CUBÍCULO DE MEDIÇÃO	36
3.4.2.	CUBÍCULO DE PROTEÇÃO	37
3.4.3.	CUBÍCULO DE TRANSFORMAÇÃO	39
3.5 –	EQUIPAMENTOS DE UMA SUBESTAÇÃO	40
3.5.1.	TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA	41
3.5.2.	DISJUNTOR	43
3.5.3.	CHAVE SECCIONADORA	44
3.5.4.	TRANSFORMADORES DE CORRENTE (TC)	45
3.5.5.	TRANSFORMADORES DE POTENCIAL (TP).....	46
3.5.6.	RELÉS DE PROTEÇÃO	47
3.5.7.	MUFLA.....	48
3.5.8.	PARA-RAIO	49
4.0 –	MANUTENÇÃO DE SUBESTAÇÕES	51
4.1 –	FUNÇÕES DA MANUTENÇÃO.....	52
4.1.1.	MANUTENÇÃO CORRETIVA	52
4.1.2.	MANUTENÇÃO PREVENTIVA	53
4.1.3.	MANUTENÇÃO PREDITIVA.....	54
4.2 –	APLICAÇÃO DA NR-10 EM MANUTENÇÕES ELÉTRICAS EM SUBESTAÇÕES	55
4.3 –	PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA.....	57
4.3.1.	EQUIPAMENTOS DE USO INDIVIDUAL (EPI's)	58
4.3.2.	EQUIPAMENTOS DE USO COLETIVO (EPC's)	62
4.4 –	EQUIPAMENTOS PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.....	66
4.4.1.	MEGÔMETRO DIGITAL	67
4.4.2.	MICRO-OHMÍMETRO DIGITAL	68
4.4.3.	TRANSFORMER TURNS RATIO (TTR)	69
5.0 –	PROCEDIMENTOS ADOTADOS EM UMA MANUTENÇÃO DE SUBESTAÇÕES	71
5.1 –	DOCUMENTAÇÃO PARA LIBERAÇÃO DA ATIVIDADE.....	71
5.2 –	PROCEDIMENTOS DE DESENERGIZAÇÃO	72
5.2.1.	SECCIONAMENTO DOS CIRCUITOS ELÉTRICOS	75
5.3 –	VERIFICAÇÃO DA AUSÊNCIA DE TENSÃO.....	78

5.4 –	IMPEDIMENTO DE REENERGIZAÇÃO DA INSTAÇÃO.....	79
5.5 –	ATERRAMENTO TEMPORÁRIO	80
5.6 –	LIMPEZA ESTRUTURAL DAS SUBESTAÇÕES E SEUS COMPONENTES ELÉTRICOS	81
5.7 –	REAPERTO DAS CONEXÕES ELÉTRICAS.....	84
6.0 –	ENSAIO NOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS.....	86
6.1 –	TESTE DE RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO.....	87
6.1.1.	ENSAIO EM TRANSFORMADOR.....	89
6.1.2.	ENSAIO EM DISJUNTOR.....	96
6.1.3.	ENSAIO EM CHAVE SECCIONADORA.....	98
6.1.4.	ENSAIO EM MUFLA DE ISOLAÇÃO	103
6.1.5.	ENSAIO EM PARA-RAIO	104
6.2 –	TESTE DE RESISTÊNCIA DE CONTATO.....	105
6.2.1.	ENSAIO EM DISJUNTOR.....	107
6.2.2.	ENSAIO EM CHAVE SECCIONADORA.....	108
6.3 –	TESTE DE RELAÇÃO DE ESPIRAS EM TRANSFORMADORES	111
7.0 –	ESTUDO DE CASO DE UMA MANUTENÇÃO EM SUBESTAÇÃO DE MÉDIA E BAIXA TENSÃO.....	118
7.1 –	ESTUDO DE PROVA - TRANSFORMADOR	120
7.1.1.	Estudo de Prova 01 - Resistência de Isolação Transformador 750 KVA	122
7.1.2.	Estudo de Prova 01 - Teste de Relação de Espiras Transformador 750 KVA	122
7.1.3.	Estudo de Prova 02 - Resistência de Isolação Transformador 1.500 KVA	124
7.1.4.	Estudo de Prova 02 - Teste de Relação de Espiras Transformador 1.500 KVA	124
7.1.5.	Estudo de Prova 03 - Resistência de Isolação Transformador 2.500 KVA	126
7.1.6.	Estudo de Prova 03 - Teste de Relação de Espiras Transformador 2.500 KVA	126
7.1.7.	Estudo de Prova 04 - Resistência de Isolação Transformador 45 KVA	128
7.1.8.	Estudo de Prova 04 - Teste de Relação de Espiras Transformador 45 KVA	128
7.2 –	ESTUDO DE PROVA - DISJUNTOR.....	129
7.2.1.	Estudo de Prova 01 - Resistência de Isolação Disjuntor Média Tensão.....	130
7.2.2.	Estudo de Prova 01 - Resistência de Contato Disjuntor Média Tensão.	131
7.2.3.	Estudo de Prova 02 - Resistência de Isolação Disjuntor Média Tensão.....	133
7.2.4.	Estudo de Prova 02 - Resistência de Contato Disjuntor Média Tensão.	134
7.2.5.	Estudo de Prova 03 - Resistência de Isolação Disjuntor Média Tensão.....	136

7.2.6.	Estudo de Prova 03 - Resistência de Contato Disjuntor Média Tensão.	137
7.2.7.	Estudo de Prova 04 - Resistência de Isolação Disjuntor Média Tensão.....	139
7.2.8.	Estudo de Prova 04 - Resistência de Contato Disjuntor Média Tensão.	140
7.3 –	ESTUDO DE PROVA - CHAVE SECCIONADORA	141
7.3.1.	Estudo de Prova 01 - Resistência de Contato Seccionadora.	143
7.3.2.	Estudo de Prova 01 - Resistência de Isolação Seccionadora.....	143
7.3.3.	Estudo de Prova 02 - Resistência de Contato Seccionadora.	145
7.3.4.	Estudo de Prova 02 - Resistência de Isolação Seccionadora.....	146
7.3.5.	Estudo de Prova 03 - Resistência de Contato Seccionadora.	148
7.3.6.	Estudo de Prova 03 - Resistência de Isolação Seccionadora.....	149
7.3.7.	Estudo de Prova 04 - Resistência de Contato Seccionadora.	151
7.3.8.	Estudo de Prova 04 - Resistência de Isolação Seccionadora.....	152
7.4 –	ESTUDO DE PROVA - MUFLA DE ISOLAÇÃO	154
7.4.1.	Estudo de Prova 01 - Teste de Resistência de Isolação Mufla.	155
7.4.2.	Estudo de Prova 02 - Teste de Resistência de Isolação Mufla.	156
7.4.3.	Estudo de Prova 03 - Teste de Resistência de Isolação Mufla.	157
7.4.4.	Estudo de Prova 04 - Teste de Resistência de Isolação Mufla.	159
7.5 –	ESTUDO DE PROVA - PARA-RAIOS	159
7.5.1.	Estudo de Prova 01 - Teste de Resistência de Isolação Para-Raios.....	160
7.5.2.	Estudo de Prova 02 - Teste de Resistência de Isolação Para-Raios.....	162
7.5.3.	Estudo de Prova 03 - Teste de Resistência de Isolação Para-Raios.....	163
7.5.4.	Estudo de Prova 04 - Teste de Resistência de Isolação Para-Raios.....	164
8.0 –	CONSIDERAÇÕES FINAIS	166
9.0 –	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	167

1.0 – CAPÍTULO 01: INTRODUÇÃO

A manutenção de subestações de energia elétrica passou por mudanças significativas ao longo dos anos, com um aumento notável na variedade e complexidade das instalações. Os projetos atuais requerem um conhecimento técnico cada vez mais avançado, exigindo atualizações constantes dos profissionais envolvidos na área.

Novas tecnologias no setor elétrico têm permitido o desenvolvimento de equipamentos e ferramentas mais sofisticados. Esses avanços tecnológicos têm sido empregados com frequência em novas subestações de energia elétrica. Esse processo é necessário para atender às novas normas técnicas elaboradas em função das mudanças e para garantir a segurança dos trabalhadores.

O surgimento de novos equipamentos elétricos resultou em novas ferramentas de inspeção e ensaios para a prevenção de possíveis falhas futuras nos equipamentos elétricos implantados nas subestações de energia elétrica. Como consequência, novas técnicas modernas no processo de manutenção estão sendo propostas e empregadas em ambiente industrial.

De acordo com concessionárias de energia, o fornecimento de energia elétrica em Média Tensão é de 13,8kV e 34,5 kV, e é dever dos consumidores manter em bom estado de conservação os componentes de sua subestação, pois a deterioração desses componentes pode exigir reparos ou até mesmo substituição dos materiais danificados. Isso ocorre porque os elementos que compõem os equipamentos elétricos estão sujeitos a várias restrições, como elétricas, mecânicas, físico-químicas e térmicas, que geram desgastes, como deformações, corrosão, rupturas e erosão, reduzindo assim a vida útil dos equipamentos. Para evitar ou mitigar tais restrições, são realizadas manutenções periódicas nas subestações de energia elétrica da planta fabril. Neste trabalho, serão discutidas as técnicas modernas de manutenção e inspeção de equipamentos de uma subestação particulares de média e baixa tensão.

Com o intuito de assegurar o melhor desempenho de uma subestação de energia elétrica, é indispensável a realização de manutenções periódicas e confiáveis. Para isso, é essencial que o profissional encarregado da área esteja familiarizado com as abordagens utilizadas durante a execução do serviço. Seguindo as regulamentações apropriadas para a atividade em questão e aplicando de forma consistente cada etapa a ser seguida, desde o protocolo inicial de segurança, prosseguindo com a remoção das cargas e o desenergizarão completa da subestação, passando pela higienização, reaperto e análises dos dispositivos elétricos, até a reenergização de todo o circuito.

1.1 – CONTEXTUALIZAÇÃO

A maior parte das fábricas e indústrias possuem equipamentos que operam em tensões baixas, sendo necessário reduzir essa tensão de fornecimento para valores adequados para o funcionamento das máquinas e equipamentos. Para isso, são construídas subestações de energia elétrica que desempenham um papel crucial no fornecimento de energia em um nível de tensão compatível com as necessidades. Nas plantas fabris, existem diferentes tipos de subestações, como aéreas, abrigadas, blindadas ou a intempérie, que são alimentadas com tensões variando entre 13,8 kV até 69 kV, dependendo da demanda contratada e seguindo as normas e critérios em vigor. Como a maioria dessas empresas opera 24 horas por dia, uma parada não programada no fornecimento de energia devido a algum problema na subestação pode resultar em grandes perdas financeiras e de materiais. Por essa razão, é fundamental realizar estudos sobre a manutenção dessas subestações utilizando técnicas modernas, a fim de manter a disponibilidade dos equipamentos e gerenciar possíveis falhas futuras.

1.2 – OBJETIVOS

A fim de garantir o desempenho ideal de uma subestação de energia elétrica, é imprescindível que sejam realizadas manutenções regulares e confiáveis. Para tanto, é fundamental que o profissional responsável pela área esteja familiarizado com as metodologias empregadas durante a execução do serviço. Seguindo as normas regulamentadoras compatíveis com a atividade realizada, e aplicando de maneira coerente cada etapa a ser seguida, desde o procedimento inicial de segurança, seguindo para a retirada das cargas e o desligamento de toda a subestação, passando pela limpeza, reaperto e ensaios nos equipamentos elétricos até a reenergização de todo o circuito.

1.2.1. OBJETIVO GERAL

Discorrer acerca das metodologias atualizadas utilizadas para efetuar a manutenção e a inspeção dos equipamentos de uma subestação de média e baixa tensão. Com ênfase em mapear os procedimentos realizados e descrever a forma mais adequada para a execução da mesma, com embasamento nas normas regulamentadoras e em práticas validadas.

1.2.2. OBJETIVO ESPECÍFICO

Introduzir ao leitor conceitos essenciais e descrições dos principais elementos que compõem uma subestação de energia elétrica. Demonstrar os equipamentos e metodologias cruciais empregados durante os testes, juntamente com os procedimentos de segurança executados ao fazer a manutenção de uma subestação elétrica. Apresentar casos de estudo que ilustre as atividades executadas durante o serviço de manutenção em uma subestação de média e baixa tensão.

1.2.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

O objetivo deste estudo é apresentar informações baseadas em pesquisas bibliográficas, livros, artigos científicos, vivências no dia a dia. A estrutura do trabalho seguirá os procedimentos monográficos e será composta por 8 (oito) capítulos.

- O **capítulo 1** contém a introdução, com a contextualização, os objetivos e os procedimentos metodológicos.
- O **capítulo 2** descreve os três grandes blocos que formam o sistema elétrico de potência, incluindo o trajeto percorrido pelas linhas de transmissão e distribuição até chegar às unidades consumidoras.
- No **capítulo 3** é abordada a classificação das subestações de energia elétrica e suas características, com ênfase nas subestações de consumidor do tipo ao tempo e abrigada, incluindo a descrição de cada equipamento constituinte da subestação.
- O **capítulo 4** discute o avanço das técnicas de manutenção e sua importância na redução das indisponibilidades de equipamentos, com destaque para a manutenção preventiva. Também é relatada a importância da NR 10 na manutenção de instalações elétricas, assim como os requisitos e procedimentos de segurança fundamentais, contendo também as ferramentas e os equipamentos de ensaios utilizados.
- No **capítulo 5** são apresentados os procedimentos realizados em uma manutenção de uma subestação de média e baixa tensão, passando pela liberação da equipe de segurança, depois o desligamento de todas as cargas e os circuitos existentes, seguindo pela realização do teste zero, e a importância do uso do aterramento temporário junto com as boas práticas de limpeza do local e reaperto

das conexões elétricas até chegar novamente na descrição dos instrumentos responsáveis pelos ensaios de manutenção preventiva e os principais ensaios nos equipamentos de uma subestação.

- O **capítulo 6** apresentação e explicação dos principais equipamentos elétricos de uma subestação e o modo de execução dos ensaios realizados em cada componente.
- O **capítulo 7** apresenta um exemplo prático do tema principal deste trabalho, utilizando valores reais coletados em campo para os resultados dos ensaios.
- O **capítulo 8** são descritas as considerações finais deste trabalho.

2.0 – SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA (S.E.P.)

Conforme a Agência Nacional de Energia Elétrica - ANEEL, o sistema elétrico de potência é composto por estruturas, cabos e fios condutores de energia, transformadores, subestações e seus equipamentos, dispositivos, isoladores e outros meios necessários para geração, transmissão, distribuição e uso de energia elétrica. O principal objetivo desse sistema é fornecer energia elétrica de qualidade para usuários de pequeno e grande porte, em qualquer momento. O sistema elétrico é dividido em três blocos principais: geração, transmissão e distribuição, como pode ser visto na Figura 1, que apresenta uma representação do sistema elétrico de potência.

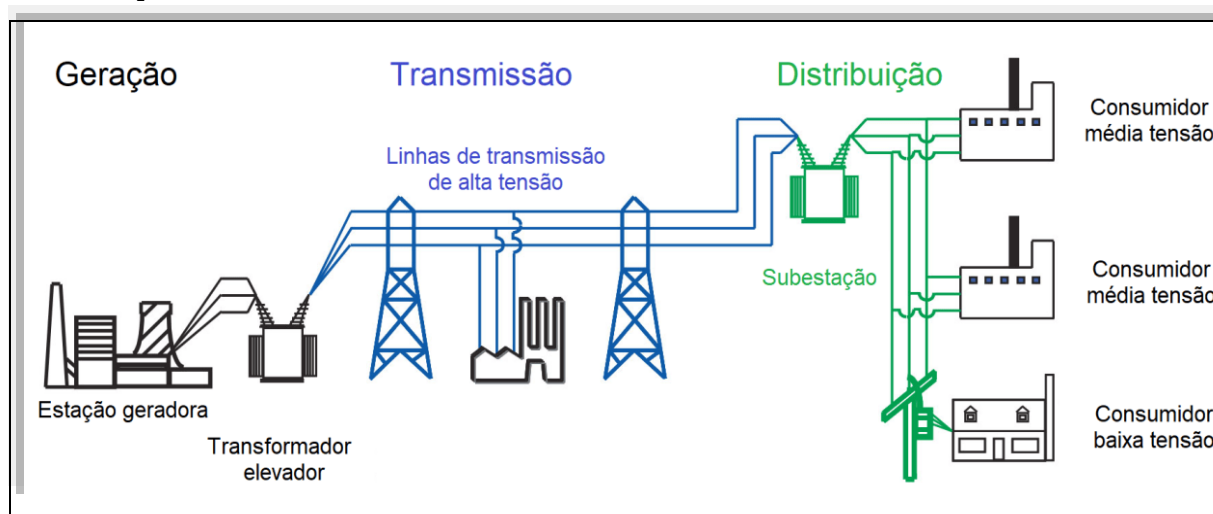


Figura 1 – Sistema de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica

Fonte: <https://alfacomp.net/portfolio-item/energia-eletrica/>

2.1 – SISTEMA DE GERAÇÃO

O bloco inicial do sistema elétrico de potência é conhecido como sistema de geração. Este bloco é responsável por converter várias formas de energia em energia elétrica, utilizando geradores síncronos ou alternadores rotativos que operam comumente em 60 Hz. Atualmente a hidrelétrica é a principal fonte de geração de energia elétrica no Brasil, aproveitando o potencial hidráulico disponível.

Através da Figura 02 é possível analisar que além das usinas hidrelétricas, as usinas termoeletricas também podem gerar energia elétrica através da queima de diferentes tipos de combustíveis, como derivados de petróleo, carvão, gás natural e biomassa. Os derivados de petróleo correspondem a apenas 3% da matriz energética do país e são produzidos a partir do

petróleo bruto. Exemplos desses derivados incluem óleo diesel, querosene, asfalto e gás liquefeito de petróleo (GLP).

O gás natural, que é derivado do petróleo bruto, é o combustível mais utilizado pelas usinas termoeletricas do Brasil, representando 12,8% da geração de energia elétrica do país. A biomassa, que é um recurso natural renovável derivado de matéria vegetal ou animal, é outra fonte utilizada pelas usinas termoeletricas e representa 8,2% da matriz energética nacional. O carvão e seus derivados também são utilizados na geração de energia elétrica através das usinas termoeletricas e representam 3,9% da matriz energética do país.

A energia nuclear, que utiliza a fissão do urânio em um reator para gerar calor e movimentar turbinas, contribui com 2,2% da geração de energia elétrica no Brasil.

Nos últimos anos, as fontes de energia renováveis têm se expandido significativamente no setor elétrico brasileiro, pois são derivadas de recursos naturais que são renováveis e inesgotáveis. A energia eólica é uma das fontes renováveis de energia e representa 10,6% da matriz energética nacional. A energia eólica é gerada através da transformação da energia cinética de translação do ar em energia de rotação das pás das turbinas eólicas, conhecidas como aerogeradores.

Além disso, a energia solar é outra fonte de energia renovável em grande crescimento no Brasil, sendo gerada através da conversão da luz solar em energia elétrica. Outras fontes de geração de energia elétrica incluem energia marítima e energia geotérmica. A Figura 2 mostra a matriz elétrica do Brasil em 2021, de acordo com (“BEN - Relatório Síntese 2022”, 2021) em 2022.

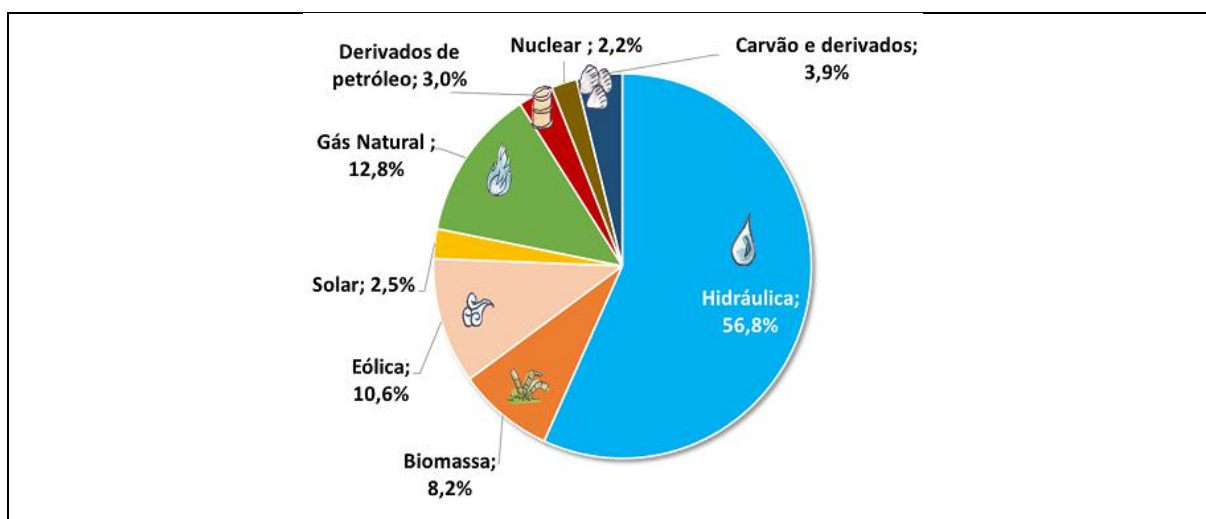


Figura 2 - Matriz elétrica brasileira 2021 (BEN, 2022)

Fonte: <https://www.epe.gov.br/pt/abcdenergia/matriz-energetica-e-eletrica>

2.2 – SISTEMA DE TRANSMISSÃO

A transmissão de energia elétrica refere-se à movimentação de energia elétrica da usina geradora para as subestações distribuidoras, ou entre duas ou mais usinas geradoras. Em resumo, a transmissão é o deslocamento da energia entre os pontos de produção e consumo, desempenhando um papel crucial no setor elétrico. Vale ressaltar que toda a malha de transmissão compõe o Sistema Interligado Nacional (SIN).

Os sistemas de transmissão de energia elétrica operam em alta tensão, enquanto as redes de distribuição podem ser de alta, média ou baixa tensão. As linhas de transmissão são responsáveis por transportar a energia das usinas para os consumidores, e a tensão em uma linha de transmissão é determinada pela potência que será transmitida e pela distância entre o ponto de geração e os centros de consumo.

Embora as tensões de geração não sejam muito elevadas devido à segurança operacional, são necessários equipamentos para elevar a tensão durante o transporte e reduzi-la no ponto de consumo. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel), a malha de transmissão é composta por uma rede primária de transmissão e uma rede secundária (subtransmissão) que alimenta cidades menores e grandes consumidores industriais.

As linhas de transmissão são conectadas em subestações, onde se instalam transformadores que elevam ou reduzem tensões, utilizando princípios eletromagnéticos. Além disso, nas subestações há equipamentos para medição, controle e proteção do sistema elétrico.

As linhas de transmissão de Rede Básica possuem tensão igual ou superior a 230 kV e são definidas pela Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel). Já as linhas abaixo de 230 kV são denominadas subtransmissão ou Demais Instalações de Transmissão (DITs), usadas para transportar energia a médias distâncias. As transmissoras operam as linhas de transmissão conforme as orientações fornecidas pelo Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS). A malha de operação permite o envio de energia para quatro regiões distintas do país, os submercados: Sudeste-Centro-Oeste, Norte, Nordeste e Sul.

Antes da década de 1930, a produção de energia era totalmente descentralizada. A primeira interligação de sistemas com frequências diferentes ocorreu em 1930, com a construção da subestação conversora de Rio da Cidade, em Petrópolis (RJ). Já o sistema de transmissão como conhecemos teve impulso a partir da década de 1960, com a implantação do Projeto Canabira, que sugeriu a unificação das frequências para 60 Hz e a construção de linhas de transmissão para integração das regiões do país.

Com a construção de hidrelétricas de grande porte, a partir da década de 1960, houve a necessidade de se realizar uma interligação mais coordenada dos sistemas elétricos, de modo a se aproveitar as potencialidades de regiões distintas do país e reduzir os riscos de blecautes, garantindo a segurança no suprimento de energia. Em 1969, surgiu o Comitê Coordenador da Operação Interligada (CCOI) do Centro-Sul e, em 1973, com o acordo Brasil e Paraguai para a construção da hidrelétrica de Itaipu, aumentou-se a necessidade de se expandir a rede nacional.

As (“Lei N° 8.987 DE 1995”, 1995) estabeleceram as regras para a concessão de serviço público e de ativos de energia elétrica, respectivamente. Em 1996, o governo iniciou a reestruturação do setor elétrico com a criação da Agência Nacional de Energia Elétrica (Aneel) e do Mercado Atacadista de Energia (MAE), além da separação das atividades de geração, transmissão e distribuição.

2.3 – SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO

As linhas de transmissão e subtransmissão têm como destino as estações de distribuição, onde a tensão é reduzida para um valor usualmente de 13,8 kV. A partir dessas subestações, saem alimentadores que se conectam aos transformadores de distribuição da concessionária ou aos consumidores em tensão primária e secundária.

A energia, com tensão primária, é fornecida a um grande número de consumidores, como indústrias, centros comerciais e hospitais de grande porte. Os alimentadores primários fornecem uma grande quantidade de transformadores de distribuição que reduzem a tensão para a tensão secundária, usada para consumo doméstico e pequenos consumidores comerciais e industriais.

2.3.1. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO PRIMÁRIO

O sistema de distribuição primária de energia elétrica no Brasil é responsável por levar a energia gerada pelas usinas até os consumidores finais, como indústrias, comércios e residências. Esse sistema é composto por redes de distribuição de média tensão, que normalmente operam em níveis de tensão de 13,8 kV e 34,5 kV, e que se ramificam por todo o território nacional.

No estado de Goiás, a rede de distribuição primária é operada por concessionárias de energia elétrica, que possuem a responsabilidade de fornecer energia elétrica de qualidade e com segurança para a população. O sistema de distribuição primária em Goiás é caracterizado

por sua extensão territorial, sendo que em algumas regiões do estado é necessário utilizar níveis de tensão mais elevados, como é o caso da tensão de 69 kV.

Os consumidores de energia elétrica em Goiás são atendidos por redes de distribuição primária de tensão média, que normalmente operam em níveis de tensão de 13,8 kV e 34,5 kV, sendo que em algumas regiões do estado são utilizados níveis de tensão mais elevados, como é o caso da tensão de 69 kV. Esses níveis de tensão são adequados para a transmissão de energia elétrica em longas distâncias, e permitem que a energia chegue aos consumidores finais de forma eficiente e segura.

É importante ressaltar que, para garantir a qualidade e a segurança da energia elétrica fornecida aos consumidores, é necessário que o sistema de distribuição primária seja mantido em perfeitas condições de operação, com manutenções preventivas e corretivas regulares. Além disso, é necessário que as concessionárias de energia elétrica invistam em tecnologia e equipamentos de medição e controle, que permitam a detecção e o reparo rápido de eventuais problemas na rede de distribuição primária, garantindo assim um fornecimento de energia elétrica confiável e seguro para a população.

2.3.2. SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO SECUNDÁRIO

O sistema de distribuição secundária é responsável por levar a energia elétrica, que já passou pelo processo de transformação de alta para baixa tensão na subestação, até os consumidores finais. No Brasil, e particularmente em Goiás, existem diferentes valores de tensão elétrica utilizados na distribuição secundária.

Os valores mais comuns de tensão elétrica utilizados na distribuição secundária em Goiás são 220/127V e 380/220V, para as redes que utilizam transformadores com secundário em estrela aterrado. Já para as redes que utilizam transformadores com secundário em delta aberto ou delta fechado (delta com neutro), é comum utilizar a tensão elétrica de 230/115V, utilizada pela distribuidora Enel Distribuição Goiás.

Além disso, também é possível encontrar a utilização da tensão elétrica de 220V para secundário em estrela isolado, utilizada em algumas regiões específicas de Goiás. É importante ressaltar que a escolha do valor de tensão elétrica a ser utilizado na distribuição secundária depende das características da região atendida e da demanda de energia dos consumidores finais.

Outra particularidade do sistema de distribuição secundária em Goiás é a existência de redes subterrâneas em algumas áreas urbanas, onde são utilizados valores padronizados de 127/220V, entre fase e neutro, e 220/380V, entre fases. Essas redes subterrâneas são uma solução estética e de segurança para a distribuição de energia elétrica em áreas urbanas densamente povoadas.

O sistema de distribuição secundária no Brasil e em Goiás apresenta diferentes valores de tensão elétrica, escolhidos de acordo com as características e necessidades de cada região atendida. A escolha adequada desses valores é fundamental para garantir a qualidade do fornecimento de energia elétrica aos consumidores finais. Segue a seguir a Tabela 1 demonstrando os níveis de tensões em suas respectivas áreas do sistema elétricos e suas aplicações.

TENSÃO EM UM SISTEMA DE POTÊNCIA		
NÍVEIS DE TENSÃO (KV)	CAMPO DE APLICAÇÃO	ÁREA DO SISTEMA DE POTÊNCIA
0,220 / 0,127	Secundário (BT)	Distribuição
0,380 / 0,220		
13,8	Primário (MT)	
34,5		
69	Subtransmissão (AT)	
138		
138	Transmissão AC	Transmissão
230		
345		
500		

TABELA 1 – Tensões do sistema elétrico nacional

Fonte – (Próprio autor)

3.0 – SUBESTAÇÕES DE ENERGIA ELÉTRICA

O sistema de energia elétrica de potência é composto por geradores de energia elétrica, que geralmente estão localizados longe dos centros de carga. Para transportar o fluxo de potência com eficiência, reduzindo as perdas por efeito Joule e os custos de construção de linhas de transmissão (condutores e torres), as unidades de geração precisam elevar o nível de tensão. Para isso, é necessário construir subestações de energia elétrica ao longo do trajeto de transporte da energia elétrica até os centros de carga. Essas subestações são responsáveis por elevar e reduzir o nível de tensão e corrente à medida que se aproximam dos usuários finais.

De acordo com (MAMEDE FILHO, 2017), as subestações de energia elétrica podem ser definidas, como: Subestação é um conjunto de condutores, aparelhos e equipamentos destinados a modificar as características da energia elétrica (tensão e corrente), permitindo a sua distribuição aos pontos de consumo em níveis adequados de utilização.

3.1 – CARACTERÍSTICAS GERAIS

Uma subestação elétrica é um elemento fundamental no sistema de distribuição de energia elétrica. Basicamente, é uma instalação composta por equipamentos que transformam a tensão da energia elétrica que é transportada nas linhas de transmissão, de alta para média ou baixa tensão, ou vice-versa. A subestação elétrica é responsável por permitir que a energia elétrica chegue aos pontos de consumo com a tensão adequada e em condições seguras.

A construção de uma subestação elétrica envolve diversos componentes, tais como transformadores, disjuntores, chaves seccionadoras, para-raios, capacitores e reatores. Esses equipamentos são responsáveis por realizar as funções de transformação, proteção, manobra e controle da energia elétrica.

Os transformadores são elementos essenciais nas subestações elétricas, pois são responsáveis por elevar ou reduzir a tensão da energia elétrica. Os disjuntores são utilizados para proteger os equipamentos elétricos contra sobrecarga e curto-circuito, enquanto as chaves seccionadoras são utilizadas para interromper ou restabelecer a corrente elétrica. Os para-raios são responsáveis por proteger os equipamentos contra surtos de tensão e os capacitores e reatores são utilizados para melhorar o desempenho do sistema elétrico.

As subestações elétricas podem ser classificadas de acordo com o seu nível de tensão, como subestações de alta tensão, média tensão ou baixa tensão. Além disso, as elas podem ser

classificadas de acordo com a sua função, como subestações de transformação, subestações de distribuição, subestações de interconexão e subestações de compensação de reativos.

Por fim, as subestações elétricas devem ser projetadas e construídas seguindo as normas técnicas e de segurança estabelecidas pelos órgãos reguladores. O objetivo é garantir a qualidade e a confiabilidade do fornecimento de energia elétrica, além de proteger as pessoas e o meio ambiente contra riscos de acidentes elétricos.

3.1.1. NÍVEL DE TENSÃO

As subestações de energia elétrica são utilizadas com frequência para modificar o nível de tensão da alimentação e podem ser classificadas de acordo com a tensão de entrada. Conforme (MAMEDE FILHO, 2021), a Tabela 2 apresenta a classificação das subestações de acordo com o nível de tensão, começando pela subestação de média tensão nível 1, com valores entre 2,3 kV á 25 kV, até a subestação de alta tensão nível 4, com valores de 230 kV á 440 kV. Além disso, a tabela descreve a aplicação de cada tipo de subestação.

FAIXA DE TENSÃO (KV)	APLICAÇÃO	NÍVEL DE TENSÃO DA SUBESTAÇÃO
2,3 á 25	Indústrias de pequeno e médio porte, condomínios residenciais, centros comerciais de consumo elevado.	Subestação de média tensão Nível 01
34,5 á 46	Redes coletoras aéreas ou subterrâneas de centros de geração eólica e fotovoltaicas, indústrias de grande porte.	Subestação de média tensão Nível 02
69 á 145	Concessionárias distribuidoras, maioria das indústrias de médio porte, parques eólicos pequenos e médios.	Subestação de alta tensão Nível 03
230 á 440	Rede básica do Sistema Interligado Nacional (SIN), concessionárias, subestações industriais de eletrointensivas.	Subestação de alta tensão Nível 04

TABELA 2 – Classificação das subestações através dos seus níveis de tensões

Fonte – (Próprio autor)

3.1.2. SUBESTAÇÕES INDUSTRIAIS

As subestações elétricas industriais são instalações fundamentais para a distribuição de energia elétrica em plantas fabris e indústrias, tendo como objetivo principal a redução do nível

de tensão de alimentação de um ou mais alimentadores da rede de distribuição, linha de subtransmissão ou linhas de transmissão para valores compatíveis com as cargas elétricas dos equipamentos e maquinários presentes na unidade industrial.

Essas subestações são compostas por equipamentos elétricos que realizam diversas funções, como transformadores, disjuntores, chaves seccionadoras, para-raios, entre outros. O transformador é um dos principais equipamentos de uma subestação, responsável por elevar ou reduzir o nível de tensão elétrica, conforme necessário.

A importância dessas subestações reside no fato de que as plantas fabris e indústrias possuem cargas elétricas de alta demanda, tornando-se inviável a utilização de redes de distribuição de alta tensão diretamente para a alimentação dos equipamentos. Dessa forma, as subestações possibilitam a redução da tensão elétrica para valores compatíveis com as cargas, o que garante uma maior eficiência e segurança no fornecimento de energia elétrica.

Além disso, uma curiosidade interessante sobre as subestações elétricas industriais é que elas podem ser personalizadas e projetadas de acordo com as necessidades de cada unidade industrial, levando em consideração fatores como a potência elétrica demandada pelos equipamentos, a configuração da rede elétrica local, entre outros aspectos. Dessa forma, cada subestação é única e adaptada para a realidade da unidade industrial em que está instalada.

Em resumo, as subestações elétricas industriais são instalações fundamentais para a distribuição de energia elétrica em plantas fabris e indústrias, realizando a redução do nível de tensão elétrica para valores compatíveis com as cargas elétricas dos equipamentos e garantindo eficiência e segurança no fornecimento de energia elétrica.

De acordo com (MAMEDE FILHO, 2021), as subestações industriais são instaladas em plantas de fabricação com o objetivo de diminuir a tensão de alimentação de um ou mais alimentadores da rede de distribuição, linha de subtransmissão ou linhas de transmissão, a fim de torná-las adequadas aos níveis de tensão necessários para as cargas industriais.

3.2 – TIPOS CONSTRUTIVOS DE SUBESTAÇÕES

As subestações elétricas são elementos fundamentais para o sistema elétrico de potência, responsáveis por modificar o nível de tensão da energia elétrica e direcioná-la aos pontos de consumo. A construção dessas subestações pode ocorrer de diferentes formas e tamanhos, de acordo com as necessidades de cada local e objetivo específico.

Entre os tipos construtivos mais comuns, destacam-se as subestações aéreas, subterrâneas e isoladas a gás. As subestações aéreas são aquelas em que as estruturas de suporte, os transformadores e demais equipamentos são montados em torres de alta tensão, normalmente feitas de aço. Já as subestações subterrâneas são construídas abaixo do solo e apresentam menor impacto visual e maior segurança em relação às subestações aéreas. Por fim, as subestações isoladas a gás utilizam o gás SF₆ para isolar os componentes elétricos, permitindo uma maior compactação da subestação.

A importância dessas subestações é inegável, uma vez que elas permitem que a energia elétrica seja transportada e distribuída de forma eficiente e segura. Além disso, as subestações também são responsáveis por garantir a qualidade da energia fornecida, evitando oscilações e interrupções no fornecimento elétrico.

Em suma, as subestações elétricas representam um elemento crucial para a distribuição de energia elétrica, possibilitando que a energia chegue aos consumidores com qualidade e segurança. A escolha do tipo construtivo deve ser feita de acordo com as necessidades e particularidades de cada local, e a possibilidade de integração de fontes renováveis torna essas estruturas ainda mais importantes para a transição energética.

As instalações fundamentais para a transmissão e distribuição de energia elétrica permitem a elevação ou redução dos níveis de tensão, a proteção e o controle dos equipamentos e sistemas elétricos. Existem diferentes tipos de instalações de subestação elétrica, cada uma com características específicas de acordo com a finalidade e localização.

Conforme mencionado por (MAMEDE FILHO, 2021), as construções das subestações podem ser classificadas em diferentes tipos, conforme a sua estrutura física.

- Instalação abrigada;
- Instalação ao tempo em barramentos nus e instalação convencional;
- Instalação ao tempo em barramentos isolados compactos;
- Instalação blindada.

A escolha do tipo de instalação de subestação elétrica deve ser baseada na análise de diversos fatores, como a finalidade da instalação, as condições ambientais, a demanda energética e os aspectos econômicos.

Em relação às curiosidades, vale destacar que a primeira subestação elétrica foi construída em Nova Iorque, nos Estados Unidos, em 1882. Ela tinha capacidade para atender cerca de 85 clientes e sua construção marcou o início da era da eletricidade. Desde então, as

subestações elétricas evoluíram muito em termos de tecnologia e segurança, tornando-se fundamentais para o desenvolvimento e crescimento econômico das cidades e países.

3.2.1. INSTALAÇÃO ABRIGADA

Uma subestação abrigada é uma instalação fechada, geralmente localizada em áreas urbanas, que oferece maior segurança e proteção aos equipamentos, além de reduzir os impactos visuais e sonoros. Isso acontece devido os seus equipamentos estarem protegidos contra as condições climáticas em uma edificação construída geralmente com alvenaria e ventilada naturalmente ou de forma forçada e artificial. Em casos específicos, como em 230 kV, os equipamentos podem ser instalados e isolados no interior de cilindros metálicos preenchidos com gás SF₆ sob pressão (MAMEDE FILHO, 2021).

3.2.2. INSTALAÇÃO AO TEMPO EM BARRAMENTOS NUS E INSTALAÇÕES CONVENCIONAIS

De acordo com (MAMEDE FILHO, 2021), a subestação a céu aberto é o tipo mais prevalente e seus equipamentos são projetados para operar ao ar livre, resistindo às condições climáticas extremas. Os equipamentos instalados nesta subestação incluem TCs, TPs, para-raios, disjuntores, chaves seccionadoras, transformadores, entre outros. É importante destacar que a maioria das subestações com tensão igual ou superior a 69 kV são instaladas ao ar livre, já que apresentam a vantagem de serem mais econômicas.

3.2.3. INSTALAÇÃO AO TEMPO EM BARRAMENTOS ISOLADOS COMPACTOS

Conforme (MAMEDE FILHO, 2021), este tipo de subestação é igualmente construído ao tempo, contudo seus equipamentos possuem dimensões compactas e os barramentos são isolados, possibilitando um arranjo com menor distância entre eles. Isso permite que sua construção em áreas urbanas seja realizada com dimensões reduzidas em relação à subestação de barramentos nus e instalação convencional, resultando em menores custos de implementação. Tal característica faz deste tipo de instalação uma opção viável em áreas urbanas onde o espaço disponível é limitado.

3.2.4. INSTALAÇÃO BLINDADA

Neste tipo de instalação de subestação, os equipamentos de potência são acomodados em cubículos de metal, os quais podem ser instalados ao ar livre ou em ambientes fechados, dependendo do nível de proteção contra fatores externos, como água, objetos sólidos e partículas. Essas subestações geralmente são construídas para tensões de até 34,5 kV e são ideais para áreas com espaço limitado ou próximas a cargas de alta potência (CARLETO, 2017). Ela é constituída por um invólucro metálico, que protege os equipamentos internos contra impactos, fogo e vandalismo. Esse tipo de subestação é utilizado em áreas com alta incidência de raios e em ambientes com risco de explosão.

3.3 – SUBESTAÇÃO DE MÉDIA TENSÃO

O objetivo deste estudo consiste em discorrer acerca da conservação de subestações de média e baixa tensão, encontradas em instalações fabris e industriais. De forma geral, essas subestações são utilizadas em propriedades particulares, como condomínios, centros comerciais, supermercados e indústrias, dentre outros, sendo alimentadas por um nível de tensão de distribuição primária proveniente da companhia de energia local. O cliente pode possuir uma ou várias subestações localizadas em sua área, de forma a ficarem próximas dos centros de carga, conforme apontado por (MAMEDE FILHO, 2021). O fornecimento de energia é realizado por meio de rede de distribuição primária subterrânea ou aérea, em tensões de 13,8 kV ou 34,5 kV.

Tendo em vista que este estudo se concentra nesse tipo de subestação, será dado destaque para suas partes componentes, tanto internas quanto externas, bem como para seus respectivos equipamentos.

3.3.1. PARTE EXTERNA DE UMA SUBESTAÇÃO

Concessionárias de energia definem que as principais partes externas de uma subestação incluem os pontos de:

- ligação ou derivação,
- Ramal de ligação,
- Ponto de entrega,
- Ramal de entrada.

A Figura 3 ilustra as interconexões da rede de distribuição até a entrada da subestação do consumidor.

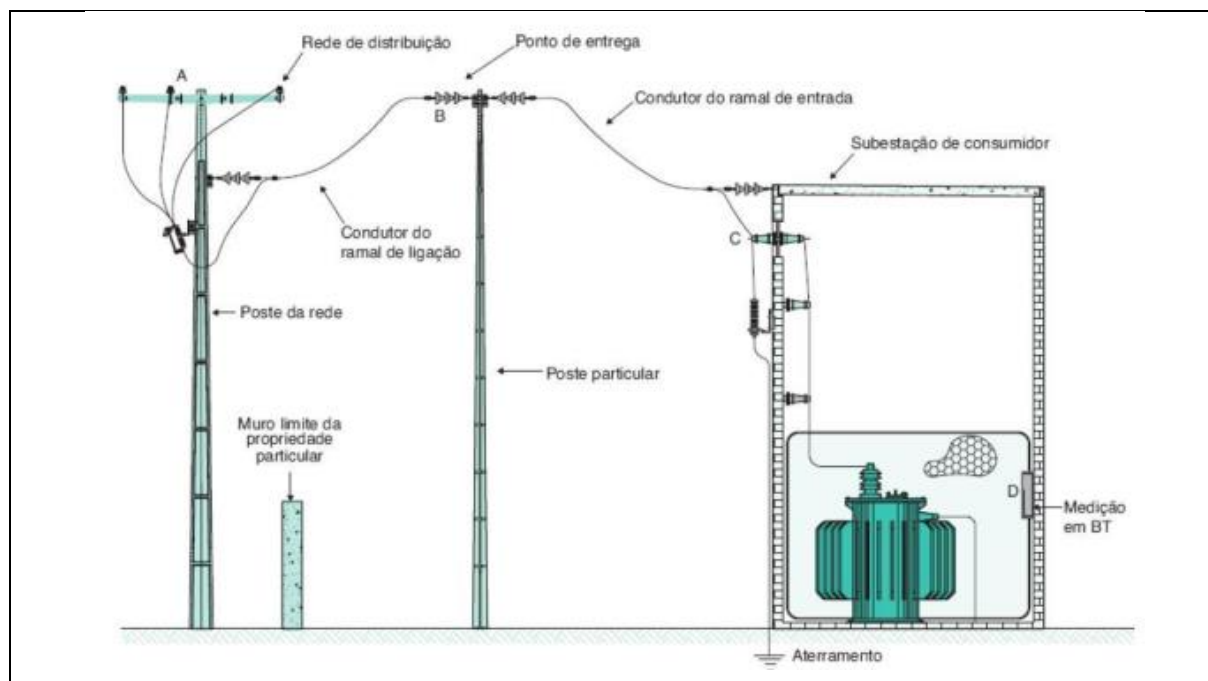


Figura 3 – Parte externa de uma subestação.

Fonte: (Mamede,2017)

3.3.2. PONTO DE LIGAÇÃO OU DERIVAÇÃO

Os pontos de ligação ou derivação são elementos essenciais em uma subestação elétrica, sendo responsáveis por conectar à rede de distribuição da concessionária de energia local com a subestação de consumidor. Esses pontos são localizados em postes da rede de distribuição e a partir deles é derivado o ramal de ligação, que é composto por um conjunto de condutores e acessórios instalados pela concessionária de energia.

A importância desses pontos reside no fato de que são eles que permitem o acesso da energia elétrica à subestação do consumidor, possibilitando a distribuição da energia elétrica para as cargas instaladas na propriedade. Além disso, é através desses pontos que é realizada a medição do consumo de energia elétrica pelo consumidor, o que é fundamental para o cálculo da fatura de energia elétrica.

Em suma, os pontos de ligação ou derivação são elementos fundamentais em uma subestação elétrica, permitindo a conexão da rede de distribuição com a subestação de consumidor e a medição do consumo de energia elétrica. Sua importância e funcionalidade devem ser consideradas para garantir a segurança e eficiência do sistema elétrico, além de se buscar medidas de proteção contra a ação de vândalos e ladrões.

Conforme mencionado por (MAMEDE FILHO, 2017), o ponto de ligação ou derivação é situado no poste da rede de distribuição da concessionária de energia local, a partir do qual se origina o ramal de ligação.

3.3.3. RAMAL DE LIGAÇÃO

O ramal de ligação é um conjunto de condutores e acessórios que conectam o ponto de derivação da rede de distribuição da concessionária de energia elétrica com o ponto de entrega da subestação elétrica. Ele é fundamental para garantir a eficiência e a segurança do sistema elétrico.

O ramal de ligação é projetado e construído pela concessionária de energia elétrica, que é responsável por sua manutenção e operação. Ele é composto por cabos elétricos, isoladores, conectores e outros acessórios que asseguram a conexão segura e confiável entre a rede elétrica e a subestação.

A importância do ramal de ligação reside no fato de que ele é o elo de ligação entre a concessionária de energia elétrica e o consumidor final. Sem ele, não seria possível fornecer energia elétrica para as subestações elétricas, que por sua vez, alimentam as cargas elétricas dos consumidores. O ramal de ligação também é importante para a segurança das pessoas, pois é projetado para suportar sobrecargas elétricas e proteger contra falhas elétricas.

Uma curiosidade interessante sobre o ramal de ligação é que ele pode ser construído de diferentes formas, dependendo das características do terreno e das necessidades de carga elétrica dos consumidores. Por exemplo, em áreas rurais ou em locais onde o acesso é difícil, o ramal de ligação pode ser construído com cabos subterrâneos, enquanto em áreas urbanas é comum que ele seja instalado em postes de concreto ou de madeira.

Em suma, o ramal de ligação é uma parte fundamental do sistema elétrico e sua construção e manutenção devem ser realizadas com rigor técnico para garantir a segurança e a eficiência do fornecimento de energia elétrica para os consumidores.

3.3.4. PONTO DE ENTRADA

O ponto de entrada de uma subestação elétrica é uma das partes fundamentais do sistema elétrico de distribuição de energia, responsável por garantir a conexão segura e eficiente entre a rede da concessionária de energia e a unidade consumidora. Ele é definido como o ponto de

conexão do sistema elétrico da concessionária de energia com a unidade consumidora, localizado no limite da via pública com a propriedade onde está localizada a subestação.

O ponto de entrada é composto por diversos componentes elétricos, tais como cabos, disjuntores, transformadores, seccionadoras, entre outros dispositivos. Esses elementos são projetados para garantir que a energia elétrica seja distribuída de forma segura e eficiente para os pontos de carga, evitando perdas, sobrecargas e curtos-circuitos.

A importância do ponto de entrada está relacionada diretamente com a segurança e confiabilidade do sistema elétrico de distribuição. Um ponto de entrada bem projetado e construído garante a qualidade da energia fornecida e reduz os riscos de interrupções no fornecimento, danos aos equipamentos e acidentes elétricos.

Em resumo, o ponto de entrada de uma subestação elétrica é uma parte vital do sistema elétrico de distribuição, responsável por garantir a segurança e confiabilidade do fornecimento de energia elétrica para a unidade consumidora.

3.3.5. RAMAL DE ENTRADA

O ramal de entrada é uma parte essencial de uma subestação elétrica, sendo responsável por conduzir a energia elétrica da rede de distribuição até a subestação do consumidor. Esse ramal é composto por um conjunto de condutores, isoladores e acessórios, que garantem a proteção e o bom funcionamento do sistema elétrico.

A importância do ramal de entrada está diretamente relacionada à segurança e à confiabilidade do fornecimento de energia elétrica aos consumidores. Uma falha ou mau funcionamento nesse ramal pode resultar em interrupções no fornecimento de energia, danos a equipamentos e até mesmo acidentes com risco à vida humana.

É importante destacar que o projeto e a instalação do ramal de entrada devem seguir normas e regulamentações técnicas específicas, visando garantir a segurança e a eficiência do sistema elétrico. Além disso, a manutenção preventiva e corretiva do ramal de entrada também é fundamental para assegurar o seu bom desempenho ao longo do tempo.

Uma curiosidade interessante sobre o ramal de entrada é que ele pode ser aéreo ou subterrâneo, sendo a escolha entre um ou outro dependente das características do local e das necessidades do consumidor. O ramal aéreo é mais comum em áreas urbanas, enquanto o subterrâneo é utilizado em regiões mais rurais ou em locais onde a estética é um fator importante.

Em resumo, o ramal de entrada é responsável por conduzir a energia elétrica da rede de distribuição até o consumidor final. Sua importância está ligada à segurança e confiabilidade do fornecimento de energia elétrica, e seu projeto, instalação e manutenção devem seguir normas técnicas específicas para garantir a eficiência e a segurança do sistema elétrico.

3.4 – CARACTERÍSTICAS DE SUBESTAÇÕES ABRIGADAS

Conforme mencionado por (MAMEDE FILHO, 2017), neste tipo de subestação elétrica os equipamentos são instalados em ambientes protegidos das intempéries, também conhecidos como cubículos, cabines ou postos. Essas estruturas podem ser construídas em edificações de alvenaria ou em caixas metálicas compactas. As subestações em alvenaria normalmente são feitas de concreto armado, sendo amplamente utilizadas em estabelecimentos comerciais, fábricas e condomínios residenciais. Contudo, esse tipo de construção demanda uma área relativamente maior do que as subestações compactas em metal. Por outro lado, elas têm custo reduzido e são fáceis de montar e manter. Dentro das subestações em alvenaria, existem compartimentos destinados a funções específicas, tais como:

- Cubículo de medição;
- Cubículo de proteção;
- Cubículo de transformação.

As Figuras 4 e 5 ilustram duas subestações abrigadas em alvenaria, com ramal de entrada subterrâneo e aéreo, respectivamente.

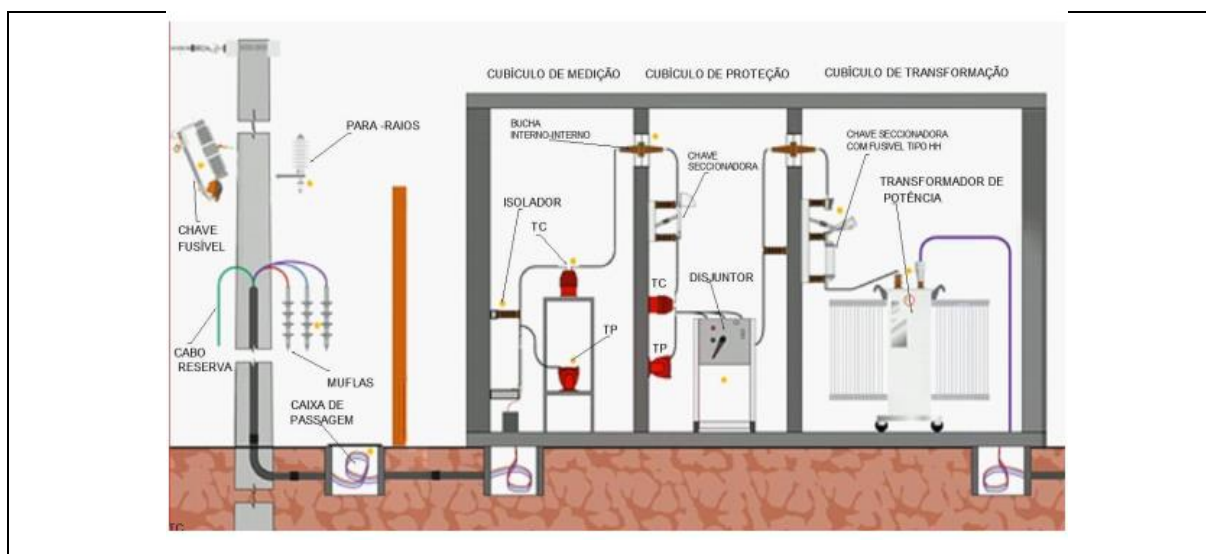


Figura 4 – Subestação abrigada com ramal de entrada subterrâneo.
Fonte: (Mesh Engenharia, 2021)

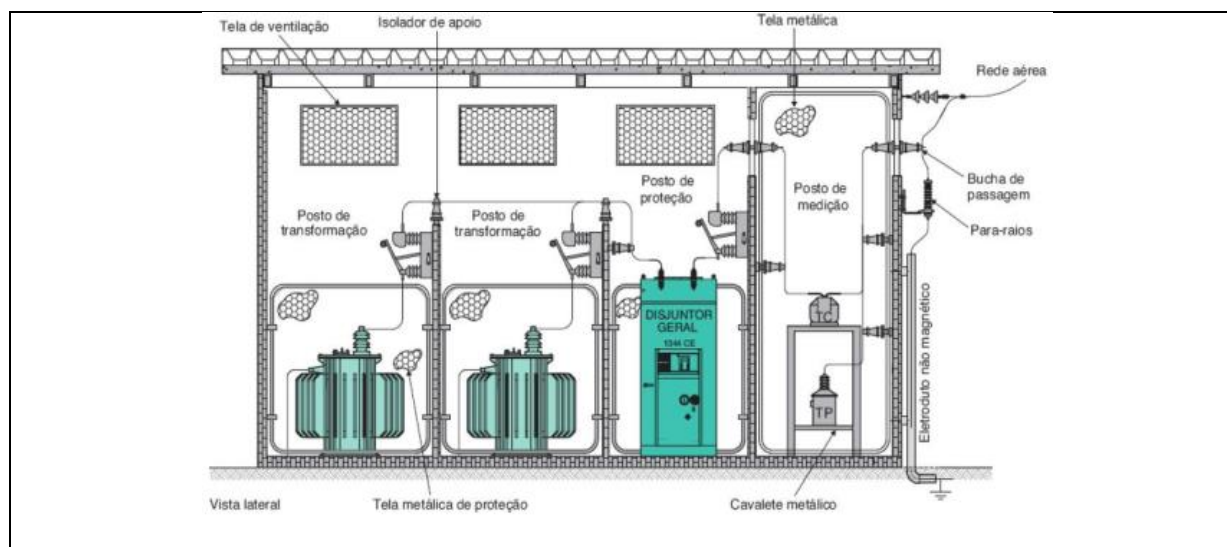


Figura 5 – Subestação com ramal de entrada aéreo.

Fonte: (Mamede, 2017)

3.4.1. CUBÍCULO DE MEDIÇÃO

Conforme evidenciado pelas imagens anteriormente apresentadas, logo após a área externa da subestação, encontra-se o cubículo de medição.

A cabine de medição é uma das partes fundamentais de uma subestação elétrica, sendo responsável por medir a quantidade de energia elétrica que é consumida por uma determinada unidade consumidora. Esse processo é realizado por meio de equipamentos auxiliares de medição, como o transformador de corrente (TC) e o transformador de potencial (TP), que reduzem a corrente e a tensão elétrica para valores compatíveis com o sistema de medição.

A cabine de medição é projetada para proteger os equipamentos de medição contra as intempéries e outros agentes externos, como poeira, umidade e calor excessivo. Além disso, o acesso à cabine é restrito apenas à equipe técnica da concessionária de energia elétrica, garantindo a segurança dos equipamentos e dos profissionais envolvidos no processo de medição.

Uma curiosidade interessante é que, na maioria das vezes, as cabines de medição são integradas aos cubículos de proteção e transformação, formando um único compartimento para a subestação. Esse compartimento pode ser construído em alvenaria ou em invólucro metálico, dependendo das necessidades específicas de cada projeto.

A importância da cabine de medição se dá pela necessidade de se medir com precisão a quantidade de energia elétrica que é consumida por uma determinada unidade consumidora.

Isso é fundamental tanto para garantir que o consumidor pague apenas pelo que efetivamente consumiu quanto para que a concessionária de energia elétrica possa fazer uma gestão eficiente da sua rede de distribuição, evitando sobrecargas e quedas de energia.

Na Figura 6 é apresentado o cubículo de medição. Verifica-se a presença dos seguintes componentes:

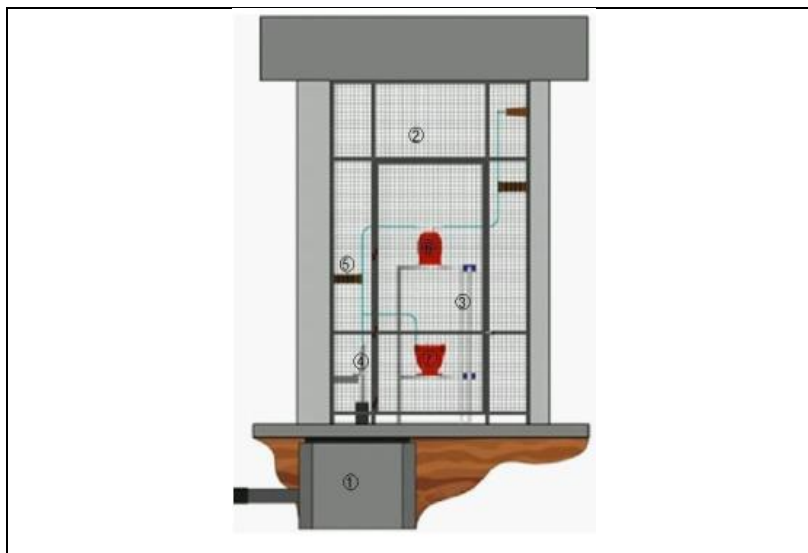


Figura 6 – Cubículo de medição com entrada subterrânea.

Fonte: (Mesh Engenharia, 2020)

1. Caixa de passagem;
2. Grade de Proteção;
3. Cavalete;
4. Mufla interna;
5. Isolador;
6. Transformador de Corrente;
7. Transformador de Potencial.

3.4.2. CUBÍCULO DE PROTEÇÃO

A cabine de proteção é um compartimento presente em subestações elétricas que tem como função proteger os equipamentos e o sistema elétrico contra falhas e anomalias. De acordo com (MAMEDE FILHO, 2017), esse compartimento abriga os dispositivos de proteção, que são responsáveis por detectar e isolar os circuitos elétricos em caso de curtos-circuitos, sobrecargas, falta de fase, entre outros problemas que podem afetar a segurança e a eficiência do sistema elétrico.

A importância da cabine de proteção reside na sua capacidade de garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica para os consumidores, ao mesmo tempo em que protege os equipamentos da subestação contra danos que possam afetar o sistema como um todo. Além disso, a cabine de proteção também contribui para a segurança dos operadores e técnicos que atuam na subestação, reduzindo os riscos de acidentes elétricos e minimizando os impactos das falhas no sistema.

Entre as curiosidades sobre as cabines de proteção, podemos destacar a variedade de dispositivos de proteção disponíveis atualmente no mercado, que oferecem diferentes níveis de sensibilidade, seletividade e rapidez na detecção de falhas elétricas. Alguns exemplos de dispositivos de proteção comuns incluem relés de sobrecorrente, relés de sobretensão, relés de falta de fase e disjuntores, entre outros.

Em resumo, a cabine de proteção é um compartimento essencial em subestações elétricas, que desempenha um papel fundamental na proteção dos equipamentos e do sistema elétrico como um todo. Através da utilização de dispositivos de proteção modernos e eficientes, é possível garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica para os consumidores, ao mesmo tempo em que se reduz os riscos de acidentes e falhas no sistema.

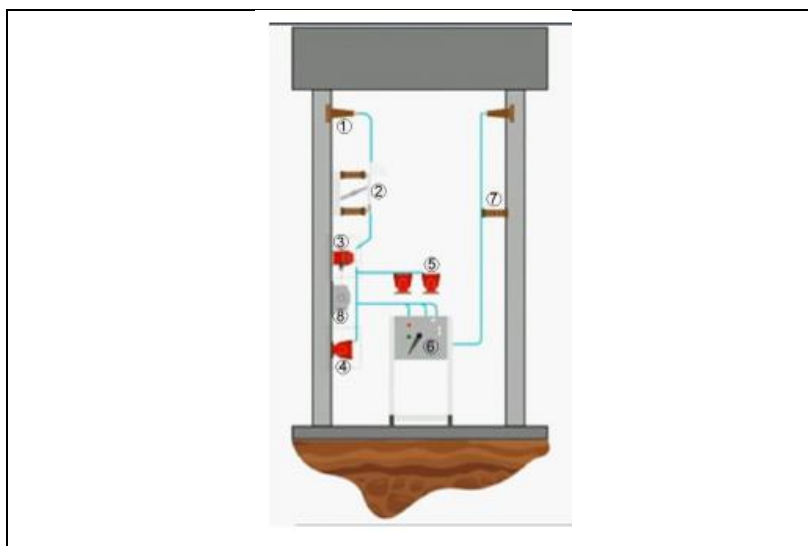


Figura 7 – Cubículo de proteção.

Fonte: (Mesh Engenharia, 2020)

Na Figura 7 é apresentado o cubículo de proteção. Pode-se verificar a presença dos seguintes componentes:

1. Bucha de passagem;
2. Chave seccionadora – abertura sob carga;
3. TC – Transformador de corrente para proteção;

4. TP – Transformador de potencial para proteção;
5. TP – Transformador de potencial para alimentação da proteção;
6. Disjuntor de média tensão;
7. Isolador de pedestal;
8. Punho de manobra.

3.4.3. CUBÍCULO DE TRANSFORMAÇÃO

A cabine de transformação é um dos compartimentos essenciais de uma subestação elétrica, responsável por converter os níveis de tensão do sistema elétrico para atender às necessidades da rede de distribuição ou do consumidor final.

Essa cabine abriga os equipamentos de transformação, como os transformadores de potência, responsáveis por elevar ou reduzir a tensão elétrica para níveis adequados de distribuição. Esses equipamentos são compostos por um núcleo magnético e enrolamentos que transferem a energia elétrica do primário para o secundário, alterando assim os níveis de tensão.

A importância da cabine de transformação se dá pela sua função crucial na distribuição da energia elétrica, permitindo que a tensão seja ajustada para níveis seguros e compatíveis com a demanda dos consumidores.

Em resumo, a cabine de transformação é responsável por converter os níveis de tensão do sistema elétrico para atender às necessidades da rede de distribuição ou do consumidor final, além de garantir a proteção do sistema elétrico.

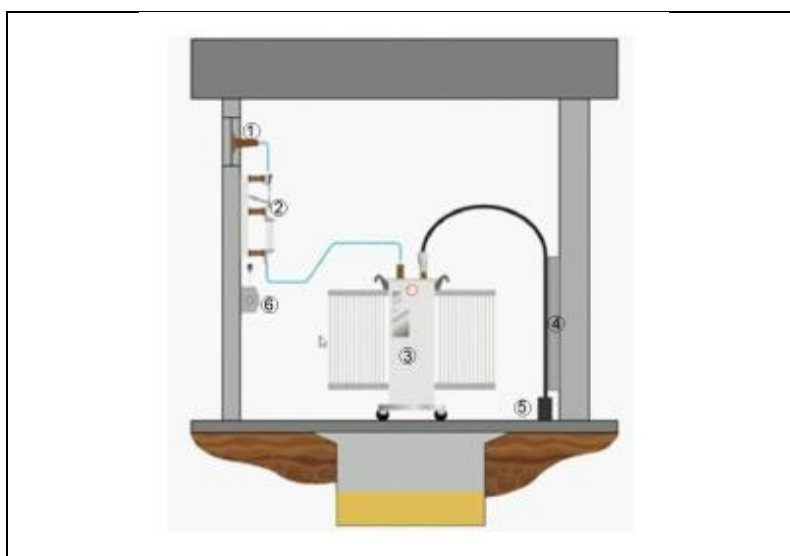


Figura 8 – Cubículo de transformação.

Fonte: (Mesh Engenharia, 2020)

O posto de transformação é constituído pelos seguintes componentes listados a seguir e que podem ser visualizados na Figura 8.

1. Bucha de passagem interno – interno;
2. Chave seccionadora com base fusível (tipo HH);
3. Transformador de potência;
4. Eletroleito;
5. Duto de distribuição / caixa de passagem.
6. Punho de acionamento.

3.5 – EQUIPAMENTOS DE UMA SUBESTAÇÃO

As subestações de energia elétrica são compostas por diversos equipamentos que desempenham funções específicas na transformação, controle, proteção e distribuição da energia elétrica. Dentre os principais equipamentos de uma subestação destacam-se:

1. Transformador de Potência;
2. Disjuntor;
3. Chave Seccionadora;
4. Transformadores de Corrente (TC);
5. Transformadores de Potencial (TP);
6. Relés de proteção;
7. Mufla;
8. Para-raios.

Transformadores de potência: Equipamentos responsáveis por transformar a energia elétrica de alta tensão recebida da rede de transmissão em energia de média ou baixa tensão, adequada para a distribuição aos consumidores finais. Esses equipamentos possuem alta eficiência energética e são projetados para operar em regime contínuo, com capacidades variando de alguns MVA (mega volt-ampères) até dezenas de MVA.

Disjuntores: Equipamentos utilizados para interromper o fluxo de corrente elétrica em situações de emergência ou falhas no sistema elétrico. Os disjuntores possuem alta capacidade de ruptura e são projetados para suportar altas correntes elétricas sem sofrer danos.

Chaves seccionadoras: Equipamentos utilizados para isolar seções do sistema elétrico, permitindo a manutenção ou reparo de equipamentos ou circuitos sem interromper o fornecimento de energia elétrica para os consumidores.

Transformadores de corrente (TC) e transformadores de potencial (TP): Equipamentos utilizados para medir a corrente e a tensão elétrica em um sistema elétrico. Esses equipamentos reduzem a corrente e a tensão elétrica para valores adequados para os sistemas de medição, permitindo a realização de testes e aferições precisas.

Relés de proteção: Equipamentos utilizados para monitorar e proteger o sistema elétrico contra sobrecargas, curto-circuito, falhas de isolamento, entre outros problemas. Esses equipamentos possuem alta sensibilidade e rapidez na detecção de anomalias no sistema elétrico, permitindo a atuação rápida dos disjuntores e minimizando os danos ao sistema.

Mufla: São dispositivos utilizados para conectar cabos de alta tensão. Elas são essenciais para garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica, pois permitem a transferência segura e eficiente de energia de um cabo para outro. Além disso, as muflas também são usadas para isolar e proteger as conexões elétricas contra danos causados por fatores ambientais, como umidade e poeira. As muflas são compostas por uma série de materiais isolantes, como borracha, silicone e resina epóxi, que ajudam a isolar os cabos elétricos e a proteger as conexões.

Para-raios: É um equipamento de proteção contra descargas atmosféricas utilizado em subestações elétricas e outras instalações que possam ser afetadas por raios. Seu objetivo é direcionar a corrente elétrica da descarga atmosférica para o solo de maneira segura, evitando danos aos equipamentos e possíveis acidentes.

A importância desses equipamentos para o funcionamento adequado e seguro de uma subestação elétrica é fundamental, pois eles garantem a qualidade e confiabilidade do fornecimento de energia elétrica aos consumidores. Uma curiosidade interessante é que, apesar de sua aparência robusta e imponente, muitos desses equipamentos possuem componentes eletromecânicos de alta precisão e tecnologia avançada, permitindo o controle e monitoramento da energia elétrica de forma cada vez mais precisa e eficiente.

3.5.1. TRANSFORMADOR DE POTÊNCIA

Dentro de uma subestação de energia elétrica, o transformador de potência é um equipamento de grande importância para o funcionamento do sistema elétrico. Ele é

responsável por transformar a tensão elétrica de um nível para outro, permitindo que a energia elétrica seja transmitida de forma mais eficiente.

O transformador de potência funciona com base nos princípios de eletromagnetismo. Ele é composto por dois enrolamentos, o primário e o secundário, que estão separados por um núcleo de ferro. Quando uma corrente elétrica passa pelo enrolamento primário, é gerado um campo magnético que induz uma corrente elétrica no enrolamento secundário. O número de espiras nos dois enrolamentos determina a relação de transformação da tensão elétrica.

Os transformadores de potência são classificados de acordo com a sua potência nominal e tensão nominal. Eles podem ser monofásicos ou trifásicos e são utilizados em diversas aplicações, desde a transmissão de energia elétrica em longas distâncias até a distribuição de energia em redes de baixa tensão.

A importância do transformador de potência na subestação elétrica se deve ao fato de que ele permite a transmissão de energia elétrica em altas tensões, reduzindo as perdas por efeito Joule e aumentando a eficiência do sistema elétrico.

Uma curiosidade sobre os transformadores de potência é que eles podem produzir ruídos devido ao movimento das correntes elétricas no seu interior, que vibram as lâminas do núcleo de ferro. Para minimizar esses ruídos, é comum a utilização de materiais isolantes acústicos e a instalação de barreiras físicas entre o transformador e o ambiente externo.

Em resumo, o transformador de potência é um equipamento fundamental na subestação elétrica, permitindo a transmissão de energia elétrica de forma mais eficiente. Seu funcionamento baseia-se nos princípios de eletromagnetismo e sua escolha depende da potência e tensão elétrica necessárias para cada aplicação.



Figura 9 – Transformador de potência.

Fonte: (Acervo do autor)

3.5.2. DISJUNTOR

O disjuntor é um equipamento fundamental dentro de uma subestação de energia elétrica, responsável por interromper a corrente elétrica em caso de falhas no sistema, como curtos-circuitos e sobrecargas. O disjuntor de média tensão é projetado para operar em tensões entre 1kV e 36kV e é capaz de suportar correntes de até 40kA.

O funcionamento do disjuntor ocorre através da abertura e fechamento de contatos elétricos, interrompendo a corrente elétrica em situações de falha. O acionamento do disjuntor pode ser realizado de forma manual ou automática, sendo que nos últimos anos tem sido cada vez mais comum o uso de sistemas automatizados para garantir maior eficiência e segurança no funcionamento do sistema elétrico.

Além de sua função de proteção, o disjuntor também permite manobras na rede elétrica, como a ligação e desligamento de equipamentos ou setores da subestação. Isso permite que a manutenção seja realizada de forma segura e eficiente, sem que haja riscos de danos aos equipamentos ou a integridade física dos trabalhadores envolvidos.

Vale ressaltar que o disjuntor de média tensão deve ser escolhido de acordo com a carga elétrica que será suportada e as condições ambientais da subestação. Além disso, é fundamental que o equipamento seja submetido a testes regulares de funcionamento para garantir que esteja operando de forma correta e segura.

Em resumo, o disjuntor de média tensão é um equipamento essencial para garantir a segurança e a eficiência do sistema elétrico de uma subestação, sendo responsável por proteger os equipamentos e garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica.

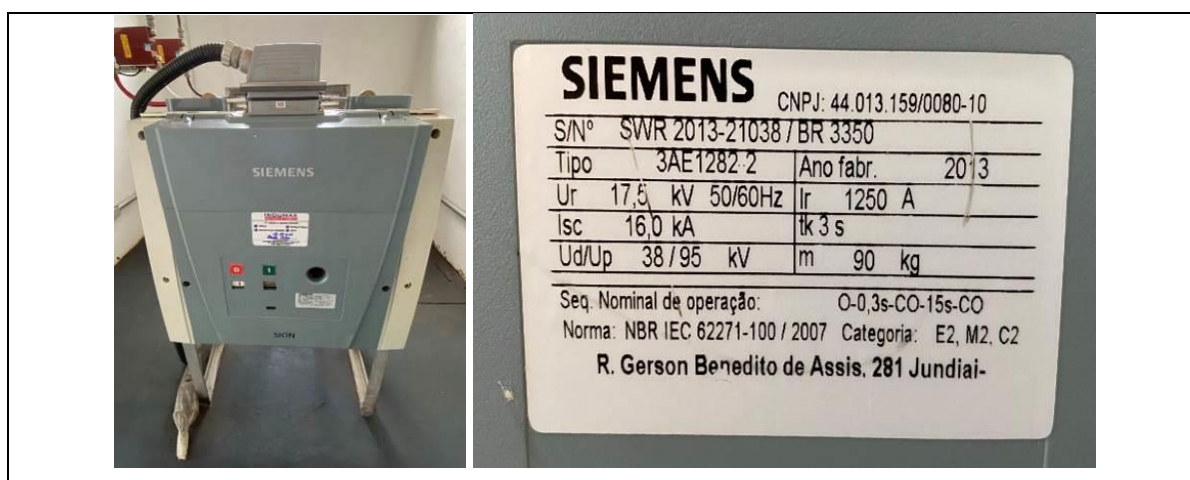


Figura 10 – Disjuntor de média tensão.

Fonte: (Acervo do autor)

3.5.3. CHAVE SECCIONADORA

As chaves seccionadoras são equipamentos utilizados em subestações de energia elétrica para realizar o isolamento de trechos de circuitos elétricos, permitindo a realização de manutenções e reparos com segurança. Esses equipamentos também são utilizados para a operação em paralelo de transformadores ou para o desligamento de equipamentos defeituosos.

Existem diversos tipos de chaves seccionadoras, sendo que algumas delas possuem fusíveis acoplados, como demonstrado na Figura 12. As chaves seccionadoras com fusíveis acoplados são utilizadas em circuitos que possuem cargas de menor potência, e a sua função principal é a de proteção do circuito. Caso ocorra uma sobrecarga, o fusível acoplado é queimado, interrompendo o circuito e protegendo os equipamentos da subestação.

Já as chaves seccionadoras sem fusíveis acoplados são utilizadas em circuitos que possuem cargas de maior potência, como os circuitos de transformadores de potência. Nesses casos, a proteção do circuito é realizada por meio de disjuntores ou outros equipamentos de proteção, e a função principal das chaves seccionadoras é a de realizar o isolamento do circuito, Figura 11.

É importante destacar que as chaves seccionadoras são equipamentos de extrema importância dentro de uma subestação de energia elétrica, uma vez que permitem a realização de manutenções e reparos de forma segura, além de garantir a integridade dos equipamentos e a continuidade do fornecimento de energia elétrica para os consumidores. A escolha do tipo de chave seccionadora a ser utilizada em cada circuito depende de diversos fatores, como a potência da carga, o nível de tensão e as condições de operação da subestação.



Figura 11 – Chave seccionadora sem fusível.

Fonte: (Acervo do autor)



Figura 12 – Chave seccionadora com fusível.

Fonte: (Acervo do autor)

3.5.4. TRANSFORMADORES DE CORRENTE (TC)

O transformador de corrente (TC) é um equipamento fundamental dentro de uma subestação de energia elétrica. Sua função é reduzir a corrente elétrica de alta tensão do sistema de potência para valores compatíveis com os instrumentos de medição e proteção. Ele funciona de forma similar a um transformador de potência, com um primário (enrolamento de alta tensão) e um secundário (enrolamento de baixa tensão). O primário é ligado em série com o condutor de alta tensão, enquanto o secundário é conectado aos instrumentos de medição ou proteção.

Os transformadores de corrente são classificados de acordo com a sua relação de transformação, que indica a relação entre a corrente de entrada e a corrente de saída. Por exemplo, um TC de relação 1000/5 irá reduzir uma corrente de entrada de 1000 A para uma corrente de saída de 5 A. É importante ressaltar que os TCs devem ser selecionados de acordo com as características do sistema elétrico e a faixa de corrente elétrica que será medida ou protegida.

Uma das principais características de um transformador de corrente é a sua precisão. Os TCs devem ser capazes de fornecer uma corrente de saída proporcional e linear em relação à corrente de entrada, com uma margem de erro bem definida. Além disso, eles devem ser projetados para suportar as condições de operação do sistema elétrico, como altas correntes de curto-circuito e sobrecargas.

Os TCs também podem ser classificados de acordo com o seu tipo de construção. Existem TCs de núcleo dividido, que podem ser instalados em torno do condutor de alta tensão

sem a necessidade de interromper a alimentação elétrica. Há também os de núcleo inteiro, que possuem uma abertura no núcleo por onde o condutor é passado, e devem ser instalados durante a construção do sistema elétrico.

Em relação à proteção, é comum que os transformadores de corrente possuam fusíveis acoplados, que são responsáveis por proteger o TC e o sistema elétrico em caso de falha ou curto-circuito. Esses fusíveis devem ser selecionados de acordo com as características do sistema elétrico e os requisitos de proteção.

Os transformadores de corrente são equipamentos fundamentais em subestações de energia elétrica, permitindo a medição e proteção do sistema elétrico de forma precisa e confiável. Sua seleção e instalação devem ser feitas de forma cuidadosa, de acordo com as características do sistema elétrico e as normas técnicas aplicáveis. Na Figura 13 é exemplificado um transformador de corrente.



Figura 13 – Transformador de corrente (TC).

Fonte: <https://www.poloelétrica.com.br/transformador-corrente-epoxi-15kv-100-5a>

3.5.5. TRANSFORMADORES DE POTENCIAL (TP)

O transformador de potencial (TP) é um equipamento de um único faseamento que contém dois enrolamentos, um primário e outro secundário, os quais são isolados eletricamente, mas conectados magneticamente. Seu uso tem o objetivo de diminuir a tensão para valores inferiores aos do enrolamento primário, a fim de atingir os seguintes objetivos:

- Garantir a segurança dos trabalhadores;
- Isolar eletricamente o circuito de energia dos equipamentos de proteção e medição;
- Reproduzir exatamente o valor da tensão no enrolamento primário no secundário.

A Figura 14 ilustra um exemplo de um TP que é comumente utilizado em subestações abrigadas de 13,8 kV.



Figura 14 – Transformador de potência (TP).

Fonte: <https://brasformer.com.br/produto/bps-10>

3.5.6. RELÉS DE PROTEÇÃO

Os relés de proteção são dispositivos eletrônicos essenciais em sistemas de energia elétrica, sendo responsáveis por detectar e isolar falhas em equipamentos e circuitos. Eles atuam como sensores de corrente, tensão e outros parâmetros elétricos, monitorando constantemente o sistema e emitindo sinais de alarme ou de corte de energia em caso de anomalias.

Existem diversos tipos de relés de proteção, cada um com funções específicas. Os relés de sobrecorrente, por exemplo, detectam correntes acima do valor nominal e desarmam o sistema para evitar danos aos equipamentos. Já os relés de subtensão protegem contra quedas de tensão, enquanto os relés de sequência de fase são responsáveis por detectar desequilíbrios nas fases do sistema.

Alguns relés de proteção possuem fusíveis acoplados, que se rompem automaticamente em caso de sobrecorrente, desligando o circuito e protegendo os equipamentos. Outros relés de proteção utilizam técnicas de análise digital para detectar anomalias no sistema e desarmar o circuito de forma mais precisa e rápida, como demonstrado na Figura 15.

A importância dos relés de proteção em uma subestação elétrica está diretamente relacionada à segurança e confiabilidade do sistema como um todo. Caso ocorra uma falha em um equipamento ou circuito, sem a atuação dos relés de proteção, a integridade de todo o sistema pode estar em risco, colocando em perigo a vida dos operadores.

Os relés de proteção são dispositivos eletrônicos capazes de detectar e isolar falhas em equipamentos e circuitos, protegendo a integridade do sistema e a segurança dos operadores. A utilização de relés de proteção com fusíveis acoplados ou técnicas de análise digital depende das especificidades de cada sistema, mas a presença desses dispositivos é imprescindível para garantir a confiabilidade e segurança do sistema elétrico.



Figura 15 – Relé de proteção de média tensão.

Fonte: <http://www.adstdisjuntores.com.br/produto/rele-de-protecao-pextron/>

3.5.7. MUFLA

Uma mufla de isolamento é um componente essencial dentro de uma subestação elétrica que é utilizada para conectar cabos elétricos de alta tensão. Esses cabos precisam ser isolados para garantir a segurança dos colaboradores e a confiabilidade do sistema elétrico.

Uma mufla de isolamento, como demonstrado na Figura 16, consiste em uma peça cilíndrica de porcelana ou resina epóxi que isola os cabos elétricos de alta tensão que passam por ela. É importante que a mufla seja capaz de suportar altas temperaturas e tensões elétricas, pois está localizada em um ambiente onde as correntes elétricas podem atingir valores muito elevados.

As muflas de isolamento são importantes na prevenção de acidentes elétricos e garantem a segurança dos colaboradores e do próprio sistema elétrico. Além disso, as muflas podem ser utilizadas em ambientes de alta umidade ou corrosão, como em instalações subaquáticas.



Figura 16 – Mufla.

Fonte: <https://www.celesp.com.br/produto/terminal-polimerico-mufla-para-externo-35-150mm-25kv-8537>

3.5.8. PARA-RAIO

O equipamento para-raios é um dispositivo essencial em subestações de energia elétrica para proteger os equipamentos elétricos de danos causados por descargas atmosféricas. Ele funciona por meio da dissipação de energia elétrica de um raio para o solo, evitando que a corrente flua para os equipamentos elétricos da subestação.

Existem duas principais categorias de para-raios: o para-raios comum e o para-raios com dispositivo de proteção contra sobretensão. O para-raios comum é constituído por um único elemento de proteção, enquanto o para-raios com dispositivo de proteção contra sobretensão é constituído por um dispositivo de proteção que atua como um limitador de sobretensão.

O para-raios é um dispositivo de extrema importância em subestações de energia elétrica, pois as descargas atmosféricas podem causar danos significativos aos equipamentos elétricos, gerando perdas financeiras e colocando em risco a segurança das pessoas. Portanto, a escolha de um para-raios adequado e sua manutenção regular são fundamentais para garantir a segurança e a integridade dos sistemas elétricos.

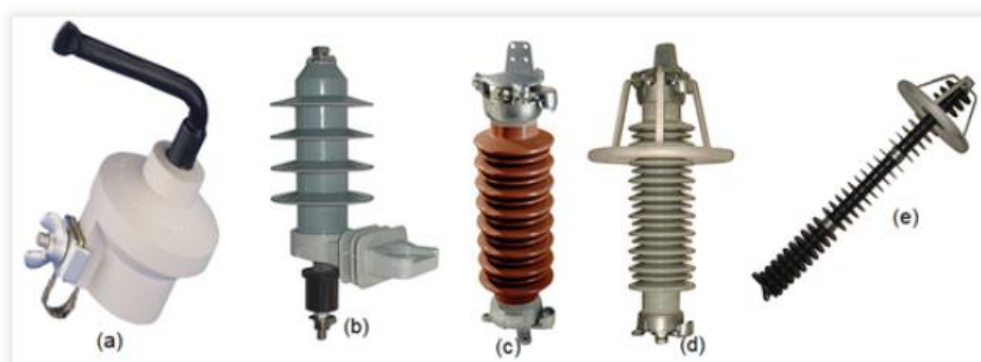


Figura 1 – Para-raios diversos: (a) de baixa tensão – 280V, (b) de corpo polimérico, (c) de corpo de porcelana – classe 3, (d) de corpo de porcelana – classe 4 e (e) polimérico para subestação ou redes aéreas.

Figura 17 – Para-raios: a) Baixa tensão – 280V, b) Corpo de polimérico, c) Corpo de porcelana – classe 3, d) Corpo de porcelana – classe 4, e) Polimérico para subestações ou redes aéreas.

Fonte: <http://blogdogabarito.blogspot.com/2013/12/equipamentos-eletricos-01-para-raios.html>

4.0 – MANUTENÇÃO DE SUBESTAÇÕES

No decorrer dos anos, o setor de manutenção sofreu quatro grandes transformações, conhecidas como "Gerações da Manutenção".

Na primeira geração, a manutenção era vista apenas como a ação de reparar um equipamento com defeito, ou seja, realizar a manutenção corretiva.

A segunda geração da manutenção surgiu após a Segunda Guerra Mundial, quando a economia cresceu e as indústrias estavam em expansão, tornando inviável a manutenção do equipamento após uma falha. Assim, foram implementadas medidas que permitiram a introdução da manutenção preventiva, criando um setor para gerenciar os ativos da empresa.

Com a Terceira Revolução Industrial e a introdução da tecnologia da informação, houve a automação do processo produtivo, o que deu origem à terceira geração de manutenção. Nesse período, a manutenção preditiva se popularizou através de técnicas de inspeção mais avançadas, como análise de óleo, análise de vibração, termografia e ultrassom, permitindo detectar falhas em equipamentos ainda em estágios iniciais.

A quarta geração da manutenção surgiu em meados dos anos 2000, permitindo garantir a confiabilidade, produtividade e disponibilidade dos ativos ainda em fase de projeto, tornando a manutenção uma estratégia definida. Com essa nova geração, surgiu o conceito de maneabilidade, que se refere à facilidade de manter um equipamento em operação.

GERAÇÕES DA MANUTENÇÃO	
1° Geração	Manutenção corretiva: Ação de consertar um equipamento com falha.
2° Geração	Manutenção preventiva: Ação de consertar um equipamento antes de uma eventual falha, permitindo gerenciar os ativos da empresa e evitar defeitos nos equipamentos.
3° Geração	Manutenção preditiva: possui o objetivo principal de antecipar e encontrar a raiz de problemas em máquinas e equipamentos.
4° Geração	Garantia de confiabilidade: Essa medição é feita através da avaliação de dados que incluem o histórico de desempenho dos equipamentos e de sua estimativa qualitativa de funcionamento futuro.

TABELA 3 – Evolução das técnicas de manutenção.

Fonte: (Próprio autor)

4.1 – FUNÇÕES DA MANUTENÇÃO

O objetivo da manutenção é preservar as características dos elementos ou componentes dos equipamentos industriais, evitando sua degradação. Seu propósito é aumentar a disponibilidade dos equipamentos de uma empresa, com o intuito de evitar paralisações dos setores produtivos e, conseqüentemente, elevar sua produtividade.

Na indústria, a subestação de energia requer manutenção regular para garantir a durabilidade dos equipamentos e a disponibilidade de energia elétrica aos setores produtivos. Uma equipe de manutenção, geralmente constituída por técnicos mecânicos e eletricitas, juntamente com analistas de PCM (Planejamento e Controle da Manutenção), realiza as ações técnicas e administrativas necessárias para manter ou restabelecer equipamentos, máquinas e infraestruturas em perfeito funcionamento.

A (“NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade”, 1994) classifica a manutenção em três tipos: corretiva, preventiva e preditiva, cabendo ao setor de manutenção a escolha do tipo adequado para manter a disponibilidade e confiabilidade dos ativos da empresa, baseado na análise do histórico de falhas das máquinas e na experiência dos responsáveis pelo planejamento.

4.1.1. MANUTENÇÃO CORRETIVA

A manutenção corretiva é uma das três abordagens da manutenção de equipamentos, ao lado da manutenção preventiva e da manutenção preditiva. Ela é definida como a correção de uma falha em um equipamento ou sistema após a ocorrência de uma interrupção não planejada no seu funcionamento. Essa interrupção pode ser causada por defeitos nos componentes, sobrecarga, envelhecimento ou mau uso, entre outros fatores.

De acordo com a (“NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade”, 1994), a manutenção corretiva é classificada em duas categorias:

- Manutenção corretiva não planejada;
- Manutenção corretiva planejada.

A manutenção corretiva não planejada é a correção de uma falha não prevista, enquanto a manutenção corretiva planejada é a correção de uma falha prevista, geralmente identificada durante a execução da manutenção preventiva ou preditiva.

A manutenção corretiva é considerada uma abordagem reativa, já que as intervenções só ocorrem após a ocorrência de um problema. No entanto, ela é essencial em muitas situações,

especialmente quando os equipamentos são antigos e não possuem históricos de falhas ou quando o custo da manutenção preventiva ou preditiva seria muito elevado.

No entanto, é importante destacar que a manutenção corretiva não deve ser a única abordagem adotada para a gestão da manutenção, pois ela pode ser custosa e afetar negativamente a produtividade da empresa. A manutenção corretiva deve ser utilizada de forma complementar à manutenção preventiva e preditiva, de modo a minimizar os custos e maximizar a disponibilidade dos equipamentos.

Em resumo, a manutenção corretiva é a correção de uma falha em um equipamento ou sistema após a sua ocorrência, sendo classificada em duas categorias: corretiva não planejada e corretiva planejada. É uma abordagem reativa e deve ser complementar à manutenção preventiva e preditiva para garantir a máxima disponibilidade dos equipamentos com o mínimo custo.

4.1.2. MANUTENÇÃO PREVENTIVA

A manutenção preventiva é uma estratégia de manutenção que busca evitar falhas em equipamentos e sistemas antes que elas ocorram, por meio de intervenções programadas em períodos regulares. Segundo a Norma Brasileira (“NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade”, 1994), a manutenção preventiva é definida como “aquela que se baseia na premissa de que um equipamento ou sistema tem uma vida útil determinada, podendo ter seu tempo de vida aumentado ou estendido, desde que sejam executadas ações sistemáticas de verificação, inspeção, substituição de peças, lubrificação, ajustes e reparos”.

A manutenção preventiva tem como objetivo evitar a ocorrência de falhas em equipamentos, aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos mesmos e reduzir os custos de manutenção corretiva. Para isso, são realizadas intervenções programadas em períodos determinados, de acordo com as recomendações do fabricante, levando em consideração o histórico de falhas e o ambiente de operação do equipamento.

A manutenção preventiva pode ser dividida em três tipos:

- Manutenção preventiva sistemática;
- Manutenção preventiva condicional;
- Manutenção preventiva oportunista.

A manutenção preventiva sistemática se refere às intervenções programadas com base em um plano pré-estabelecido, independentemente do estado de operação do equipamento.

A manutenção preventiva condicional se refere às intervenções programadas com base em condições de operação do equipamento, como o número de horas de operação ou a temperatura do equipamento.

Já a manutenção preventiva oportunista se refere às intervenções realizadas no momento em que um equipamento está inoperante ou com baixa produtividade, mas que não estavam previstas em um plano pré-estabelecido.

Em resumo, a manutenção preventiva é uma estratégia de manutenção que visa aumentar a confiabilidade e disponibilidade dos equipamentos, reduzir os custos de manutenção corretiva e prolongar a vida útil dos mesmos. Para implementar essa estratégia, é necessário ter um plano de manutenção preventiva bem elaborado, com base nas recomendações do fabricante, no histórico de falhas e no ambiente de operação do equipamento. Além disso, é importante realizar monitoramento e análise de dados para avaliar a eficácia do plano e fazer ajustes quando necessário.

4.1.3. MANUTENÇÃO PREDITIVA

A manutenção preditiva é uma estratégia de manutenção baseada na análise do comportamento dos equipamentos para determinar o momento ideal para realizar intervenções. Diferentemente da manutenção corretiva, que age após a falha de um componente, ou da manutenção preventiva, que age em intervalos regulares de tempo, a manutenção preditiva utiliza técnicas de monitoramento contínuo para identificar falhas incipientes antes que elas ocorram.

Segundo a (“NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade”, 1994), a manutenção preditiva é definida como “aquela que permite a detecção de um futuro defeito ou a determinação do ponto exato de sua ocorrência, mediante acompanhamento periódico ou contínuo”. Essa definição está alinhada com a filosofia de que é melhor prevenir do que remediar, evitando paradas de produção e reduzindo custos com reparos emergenciais.

Existem diversas técnicas de monitoramento contínuo utilizadas na manutenção preditiva, como análise de vibração, termografia, ultrassom, análise de óleo, entre outras. Essas técnicas permitem avaliar o desempenho do equipamento e detectar alterações em seu comportamento, que podem indicar a necessidade de uma intervenção.

A manutenção preditiva também está relacionada com a indústria 4.0 e a tecnologia de internet das coisas, que permitem a coleta e análise de grandes quantidades de dados em tempo real. Com a utilização de sensores e softwares de análise de dados, é possível monitorar

equipamentos e identificar padrões de comportamento que indiquem a necessidade de uma intervenção.

Em resumo, a manutenção preditiva é uma estratégia de manutenção avançada que utiliza técnicas de monitoramento contínuo para identificar falhas incipientes em equipamentos, permitindo que as intervenções sejam realizadas no momento ideal e evitando paradas de produção e custos com reparos emergenciais.

4.2 – APLICAÇÃO DA NR-10 EM MANUTENÇÕES ELÉTRICAS EM SUBESTAÇÕES

A (“NR 10-SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE”, 2019), é a norma regulamentadora que estabelece as diretrizes básicas para a segurança em instalações e serviços em eletricidade. A sua aplicação é obrigatória em todas as atividades que envolvam eletricidade, incluindo as manutenções elétricas em subestações. É importante destacar que esta norma se aplica não apenas à manutenção elétrica, mas também às fases de projeto, construção, montagem, operação, atividades próximas de áreas energizadas, como as realizadas pelos trabalhadores de telecomunicação, entre outras.

A manutenção elétrica em subestações é uma atividade de risco elevado que envolve a realização de trabalhos em contato direto com equipamentos energizados até a desenergização, sendo fundamental a adoção de medidas preventivas para garantir a segurança dos trabalhadores envolvidos.

De acordo com a (“NR 10-SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE”, 2019), a manutenção elétrica em subestações deve ser realizada por profissionais habilitados e qualificados, que tenham recebido treinamento específico para a realização dessas atividades. Além disso, é importante que os trabalhadores tenham acesso a equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados, bem como a ferramentas e equipamentos de proteção coletiva (EPCs), como isoladores, plataformas de trabalho e sinalização de segurança.

Toda vez que houver intervenção em uma instalação elétrica, é necessário tomar medidas preventivas para garantir a segurança e a saúde dos colaboradores envolvidos. Para isso, a norma exige o controle dos riscos envolvendo eletricidade e outros, por meio de técnicas que permitam a análise dos riscos envolvidos no serviço a ser executado.

Os itens 10.2.8 e 10.2.9 da norma estabelecem as medidas de proteção que os colaboradores devem adotar durante uma atividade envolvendo eletricidade. No que se refere

às medidas de proteção coletiva, devem ser implantados procedimentos no serviço a ser executado, como a desenergização quando for possível, ou quando não for, outras medidas como isolamento das partes energizadas e sinalização. Quando as medidas coletivas adotadas não forem suficientes para mitigar os riscos envolvidos na atividade, devem ser utilizados equipamentos de proteção individual que atendam a (“NR 06 - Equipamento de Proteção Individual - EPI”, 2022), como vestimentas em conformidade com o nível de tensão a se trabalhar, sendo proibido o uso de adornos principalmente metálicos como relógio, anel, pulseira e cordão nas proximidades de áreas das instalações elétricas.

A norma também estabelece os procedimentos a serem realizados durante a desenergização e reenergização das instalações elétricas, nos itens 10.5.1 e 10.5.2, respectivamente. Estes procedimentos são essenciais para a intervenção e recomposição da instalação de forma segura, mitigando riscos de acidentes. Além disso, o item 10.5.3 estabelece que os procedimentos adotados anteriormente podem sofrer mudanças de acordo com as particularidades da instalação e da atividade a ser executada, desde que sejam aprovados por um profissional habilitado e que as medidas de segurança se mantenham as mesmas.

No que se refere aos procedimentos de trabalho do item 10.11, a norma estabelece que as atividades em instalações elétricas devem ser planejadas conforme procedimentos específicos da tarefa a ser realizada, além de padronizadas e descritas passo a passo com a assinatura de um profissional habilitado e autorizado.

Outro aspecto relevante na aplicação da NR-10 em manutenções elétricas em subestações é a necessidade de elaboração de procedimentos e planos de manutenção, que estabeleçam as diretrizes e medidas de segurança a serem adotadas durante a realização das atividades. Esses documentos devem ser elaborados e revisados periodicamente, de forma a garantir que as melhores práticas e normas de segurança estejam sendo seguidas.

Para garantir a efetividade da aplicação da NR-10 em manutenções elétricas em subestações, é importante que as empresas contratantes e contratadas estejam alinhadas com as diretrizes da norma, promovendo treinamentos e conscientização dos trabalhadores, além de monitorar e fiscalizar o cumprimento das normas de segurança.

Dessa forma, a aplicação da NR-10 é essencial para garantir a segurança dos trabalhadores envolvidos em manutenções elétricas em subestações, prevenindo acidentes e garantindo a continuidade das atividades produtivas de forma segura e eficiente.

4.3 – PROCEDIMENTOS DE SEGURANÇA

A manutenção de subestações elétricas é uma atividade que exige cuidado e atenção especial por parte dos profissionais envolvidos. Para garantir a segurança dos trabalhadores, é necessário seguir algumas normas e procedimentos de segurança.

A Norma Regulamentadora (“NR 10-SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE”, 2019), que estabelece as condições mínimas de segurança e saúde no trabalho em serviços e instalações elétricas, é uma das principais referências para a realização de manutenções em subestações elétricas. De acordo com essa norma, é fundamental que a equipe envolvida na manutenção esteja devidamente capacitada e treinada para a atividade.

Entre os procedimentos de segurança que devem ser adotados na manutenção de subestações elétricas, destaca-se a necessidade de desenergização da subestação antes do início dos trabalhos. Isso significa que a energia elétrica deve ser completamente desligada da subestação, garantindo a segurança dos trabalhadores.

Além da desenergização, é importante adotar medidas de proteção coletiva, como o uso de equipamentos de proteção individual (EPIs) e a sinalização adequada da área de trabalho, como estabelecido na (“NR 06 - Equipamento de Proteção Individual - EPI”, 2022). De acordo com a NR-10, os trabalhadores envolvidos na manutenção devem utilizar EPIs adequados para a atividade, como luvas isolantes, capacetes, óculos de proteção, entre outros.

Outro procedimento de segurança importante na manutenção de subestações elétricas é a adoção de um plano de trabalho detalhado e específico para cada atividade. Esse plano deve incluir todas as informações necessárias para a realização segura da atividade, como os procedimentos de desenergização e reenergização, as medidas de proteção coletiva e individual, e as ferramentas e equipamentos necessários para a atividade.

É importante ressaltar que a segurança na manutenção de subestações elétricas é uma responsabilidade de todos os profissionais envolvidos na atividade. A NR-10 estabelece que os trabalhadores devem estar cientes dos riscos envolvidos na atividade e seguir as medidas de segurança estabelecidas para garantir a sua própria segurança e a segurança dos demais envolvidos na atividade.

Dessa forma, a adoção de procedimentos de segurança adequados na manutenção de subestações elétricas é fundamental para prevenir acidentes e garantir a integridade física dos trabalhadores envolvidos. A NR-10 é uma referência importante para a definição desses

procedimentos, e sua aplicação deve ser seguida rigorosamente para garantir a segurança na realização da atividade.

4.3.1. EQUIPAMENTOS DE USO INDIVIDUAL (EPI's)

Os Equipamentos de Proteção Individual (EPIs) são essenciais em ambientes de trabalho em que os trabalhadores estão expostos a riscos de acidentes, principalmente em atividades em âmbito fabril e industrial. A utilização de EPIs é uma medida de segurança para prevenir acidentes e doenças ocupacionais, garantindo a saúde e a integridade física dos trabalhadores.

A Norma Regulamentadora (“NR 06 - Equipamento de Proteção Individual - EPI”, 2022), do Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), define os EPIs como “todo dispositivo ou produto de uso individual utilizado pelo trabalhador, destinado à proteção de riscos suscetíveis de ameaçar a segurança e a saúde no trabalho”.

Os principais equipamentos de segurança utilizados em atividades fabris e industriais incluem capacetes, luvas, óculos de proteção, protetores auriculares, respiradores, cintos de segurança, botas e sapatos de segurança, além de uniformes especiais que protegem contra produtos químicos e materiais abrasivos.

De acordo com a NR-6, a empresa é responsável por fornecer os EPIs necessários para cada atividade e também por garantir que os trabalhadores os utilizem corretamente. É importante que os EPIs sejam adequados ao risco envolvido e que estejam em boas condições de uso, sendo necessário realizar inspeções regulares para garantir a eficácia do equipamento.

Além disso, os trabalhadores devem receber treinamento sobre o uso correto dos EPIs, bem como sobre a importância de sua utilização. A NR-6 estabelece que os EPIs devem ser fornecidos gratuitamente pela empresa e que o trabalhador não pode arcar com qualquer custo relacionado à sua aquisição.

A utilização adequada dos EPIs contribui para a prevenção de acidentes de trabalho, reduzindo os riscos de lesões, traumas, queimaduras e intoxicações, entre outras doenças ocupacionais. Além disso, a utilização dos EPIs é uma forma de valorizar a saúde e a segurança dos trabalhadores, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro e saudável.

Dessa forma, a utilização dos EPIs é um fator essencial para a promoção da saúde e segurança do trabalhador, contribuindo para a prevenção de acidentes e doenças ocupacionais.

Entre os principais EPI's utilizados em ambientes industriais e fabris, podemos citar:

- Luva isolante com classe de proteção adequada para o nível de tensão de serviço;



Figura 18 – Luva de isolamento de 17 Kv.

Fonte: <https://esafebysafe.com.br/product/luvas-isolantes-de-alta-tensao-classe-2-20kv-novax/>

- Óculos de segurança;



Figura 19 – Óculos de proteção com certificado CA.

Fonte: <https://www.superepi.com.br/oculos-de-seguranca-3m-virtua-incolor-antirrisco-e-antiembacante-protecao-uv-ca-15649-p1060808>

- Capacete de segurança;



Figura 20 – Capacete de segurança com aba frontal H-700 branco – 3M

Fonte: <https://www.santil.com.br/produto/capacete-de-seguranca-com-aba-frontal-h-700-branco-3m/471665>

- Cinto de segurança para atividades acima de 2 m;



Figura 21 – Cinto de segurança athenas paraquedista 5 pontos, cintura e perna.

Fonte: <https://www.climbclean.com.br/epis-cintos-de-seguranca/cinto-de-seguranca-athenas-paraquedista-5-pontos-cintura-e-pernas>

- Calçado de segurança de acordo com a NR – 10;



Figura 22 – Bota de segurança em microfibra, bico de composite.

Fonte: <https://www.lojaestival.com.br/produto/bota-de-seguranca-em-microfibra-preto-e-cinza-estival-en10073s21-bico-composite-e-palmilha-antiperfuro-ca-42555/>

- Vestimenta ATPV CAT 2;



Figura 23 – Vestimenta arco elétrico NR10 – Risco II.

Fonte: <https://www.acabine.com.br/vestimenta-risco-ii>

- Vestimenta ATPV CAT 4;



Figura 24 – Conjunto eletricista risco 3 e 4.

Fonte: <https://www.vectrawork.com.br/uniforme-epi-para-eletricista>

- Balaclava;



Figura 25 – Capuz segurança balaclava (arco elétrico).

Fonte: <https://1000marcassafetybrasil.com.br/produto/capuz-balaclava-arco-eletrico-hj660af/>

- Protetor auditivo;



Figura 26 -Protetor auditivo.

Fonte: <https://zonaderisco.blogspot.com/2017/07/protetores-auditivos-vida-util-e.html?m=0>

- Colete de sinalização (para locais com trânsito veicular)



Figura 27 – Colete de sinalização refletivo.

Fonte: <https://www.borplas.com.br/produto/colete-de-sinalizacao-refletivo>

4.3.2. EQUIPAMENTOS DE USO COLETIVO (EPC's)

Os Equipamentos de Proteção Coletiva (EPC's) são itens de segurança essenciais em ambientes de trabalho industriais e fabris, pois visam a proteção dos trabalhadores e demais pessoas presentes na área, além de prevenir acidentes e garantir a segurança de todos os envolvidos nas atividades.

De acordo com a (“NR 06 - Equipamento de Proteção Individual - EPI”, 2022) do Ministério do Trabalho e Emprego, é obrigação do empregador fornecer, de forma gratuita, os EPC's necessários para a proteção dos trabalhadores. Esses equipamentos devem ser adequados aos riscos existentes em cada atividade, com o objetivo de minimizar os efeitos nocivos causados por situações de emergência ou acidentes.

Entre os principais EPC's utilizados em ambientes industriais e fabris, podemos citar:

- Grades de proteção: utilizadas para isolar e proteger equipamentos e máquinas que possam apresentar riscos aos trabalhadores, evitando o acesso de pessoas não autorizadas;



Figura 28 – Grade de proteção em subestações.

Fonte: (Acervo do autor)

- Extintores de incêndio: equipamentos de combate a incêndio, fundamentais em qualquer ambiente onde haja risco de fogo;



Figura 29 – Extintor de incêndio.

Fonte: (Acervo do autor)

- Sinalização de segurança: placas, adesivos e avisos que indicam áreas de risco, restrição de acesso e outras informações importantes para a segurança dos trabalhadores;



Figura 30 – Sinalização de segurança.

Fonte: (Acervo do autor)

- Sistema de bloqueio padronizado;



Figura 31 – Componentes do sistema de bloqueio LOTO.

Fonte: <https://www.unifafibe.com.br/revistasonline/arquivos/revistaproducaoemdestaque/sumario/96/11082020135413.pdf>

- Detector de tensão;



Figura 32 – Detector de alta tensão.

Fonte: <https://www.antferramentas.com.br/detector-de-alta-tensao-sem-contato-minipa-ezhv-/p>

- Bastão de manobra;



Figura 33 – Vara de manobra 6 elementos com bolsa de lona.

Fonte: <https://www.mundolinhavivaloja.com.br/vara-de-manobra-6-elementos-com-bolsa-de-lona/prod-9370032/>

- Cones de sinalização;



Figura 34 – Cone de sinalização.

Fonte: <https://www.abcmetal.com.br/t10064>

- Tapete de borracha.



Figura 35 – Tapete de isolamento para cargas de alta tensão.

Fonte: (Acervo do autor)

- Kit de aterramento temporário.



Figura 36 – Conjunto de aterramento temporário para cabine / subestação de até 15kv

Fonte: <https://www.acabine.com.br/conjunto-para-aterramento-temporario-15-kv>

É importante ressaltar que, além de fornecer os EPC's necessários, é dever do empregador garantir a manutenção e a reposição dos equipamentos quando necessário. Além disso, os trabalhadores devem ser treinados para utilizar corretamente os EPC's, de forma a garantir a efetividade da proteção oferecida por eles. A falta de equipamentos de proteção coletiva ou o uso inadequado dos mesmos pode levar a acidentes de trabalho graves, colocando em risco a saúde e a vida dos trabalhadores, além de gerar consequências negativas para a empresa.

4.4 – EQUIPAMENTOS PARA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS

Durante a manutenção de subestações elétricas, são realizados diversos ensaios em componentes elétricos para garantir o bom funcionamento e segurança do sistema. Entre os testes mais comuns, destacam-se o teste de resistência de isolamento, resistência de contato e teste de relação de espiras.

O teste de resistência de isolamento é realizado em disjuntores de média tensão, chave seccionadora, para-raios, transformadores e muflas, utilizando o aparelho megômetro digital. O objetivo desse teste é verificar a qualidade da isolamento dos componentes elétricos, evitando possíveis falhas no isolamento, o que pode levar a curtos-circuitos e riscos de acidentes elétricos.

Já o teste de resistência de contato é realizado em disjuntores e chaves seccionadoras, utilizando o aparelho micrômetro. A finalidade desse teste é medir a resistência de contato dos componentes elétricos, verificando se não há presença de oxidação ou sujeira nos contatos, o que pode prejudicar o fluxo de corrente elétrica.

Por fim, o teste de relação de espiras é realizado em transformadores com o aparelho TTR. O objetivo desse teste é verificar se as espiras do transformador estão corretamente conectadas e se a relação entre a tensão e corrente está de acordo com o projeto.

A realização desses testes é de extrema importância, pois ajuda a identificar possíveis problemas nos componentes elétricos, antes que eles se tornem uma fonte de riscos elétricos. Além disso, esses testes podem garantir a eficiência energética dos equipamentos, evitando possíveis desperdícios de energia elétrica.

Durante a realização desses testes, é necessário utilizar os equipamentos de proteção individual (EPIs) adequados, como luvas isolantes, óculos de proteção, capacetes, entre outros, a fim de evitar acidentes elétricos. Também é importante seguir as normas técnicas e regulamentações específicas para a realização desses ensaios, como a NR-10 (Norma

Regulamentadora nº 10), que estabelece as diretrizes básicas para a segurança em instalações e serviços em eletricidade.

Em suma, a realização dos ensaios em componentes elétricos durante a manutenção de subestações elétricas é fundamental para garantir o bom funcionamento do sistema, bem como a segurança dos trabalhadores envolvidos na operação. A utilização dos equipamentos de proteção individual adequados e o cumprimento das normas técnicas são essenciais para garantir a realização dos testes de forma segura e eficiente.

4.4.1. MEGÔMETRO DIGITAL

O megômetro digital é um instrumento de medida utilizado para realizar o teste de resistência de isolamento em equipamentos elétricos. Sua finalidade é verificar a qualidade da isolamento dos componentes e detectar possíveis falhas que possam comprometer a segurança do sistema elétrico. O teste de resistência de isolamento é importante para prevenir possíveis curtos-circuitos e falhas elétricas, que podem ser prejudiciais para o funcionamento dos equipamentos e para a segurança dos profissionais envolvidos na operação.

O funcionamento do megômetro digital se baseia na aplicação de uma tensão elétrica entre os componentes a serem testados e o terra. O instrumento mede a corrente que flui entre os componentes e a terra, a partir da tensão aplicada, e calcula a resistência de isolamento. O resultado é exibido em uma tela digital e pode ser comparado com os valores de referência estabelecidos pelas normas técnicas ou através dos fabricantes dos equipamentos.

O megômetro digital demonstrado na Figura 37 é amplamente utilizado em indústrias e empresas de manutenção elétrica. Ele pode ser utilizado para testar diversos componentes, como disjuntores, chave seccionadora, para-raios, transformadores e muflas. A realização periódica do teste de resistência de isolamento pode aumentar a confiabilidade e a segurança do sistema elétrico, garantindo o bom funcionamento dos equipamentos e prevenindo possíveis falhas.

É importante ressaltar que o uso do megômetro digital deve ser realizado por profissionais capacitados e com o uso adequado dos equipamentos de segurança, como luvas isolantes, tapetes isolantes e varas de manobra. Dessa forma, é possível garantir a segurança dos profissionais envolvidos e a efetividade do teste.



Figura 37 – Megômetro digital – Megabras, capacidade de 0,5 KV a 10KV, alcance de 10Tohms.
Fonte: (Acervo do autor)

4.4.2. MICRO-OHMÍMETRO DIGITAL

O micro-ohmímetro digital é um equipamento utilizado para medir a resistência de contato em componentes elétricos, como disjuntores, chaves seccionadoras, cabos, entre outros. Sua função é garantir que a conexão elétrica entre os componentes esteja adequada e segura, evitando perdas de energia, mau funcionamento e até mesmo riscos de acidentes.

O funcionamento do micro-ohmímetro digital, esboçado na Figura 38, se baseia na lei de Ohm, que estabelece a relação entre a tensão, corrente e resistência elétrica. O equipamento aplica uma tensão elétrica conhecida e mede a corrente que flui através do componente, calculando então sua resistência elétrica. É importante destacar que o micro-ohmímetro digital deve ser utilizado apenas em componentes desenergizados, para garantir a segurança do técnico e do equipamento.

A norma (“NBR 14039 - ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas”, 2003), que estabelece os requisitos para instalações elétricas de média tensão, recomenda a utilização de micro-ohmímetro digital para a verificação da resistência de contato em disjuntores e chaves seccionadoras. Além disso, a norma NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS., 2004), que trata das instalações elétricas de baixa tensão, também cita a necessidade de verificação da resistência de contato em alguns componentes elétricos.

Em resumo, o micro-ohmímetro digital é um equipamento fundamental para garantir a segurança e eficiência das instalações elétricas, permitindo a verificação da resistência de contato em componentes críticos. Seu uso adequado, aliado à utilização de equipamentos de proteção individual (EPIs), é essencial para a realização de manutenções seguras em subestações elétricas e outros ambientes de trabalho com eletricidade.



Figura 38 – Micro-Ohmímetro digital 100A – Instrum.

Fonte: (Acervo do autor)

4.4.3. TRANSFORMER TURNS RATIO (TTR)

O TTR (Transformer Turns Ratio) é um equipamento utilizado para a medição da relação de espiras em transformadores, ou seja, é capaz de verificar a proporção entre o número de espiras nos enrolamentos primário e secundário. O funcionamento do TTR é baseado em princípios eletromagnéticos, que utilizam uma corrente alternada de alta frequência para excitar o enrolamento primário do transformador e medir a tensão induzida no enrolamento secundário.

O teste de relação de espiras em transformadores é de extrema importância na manutenção elétrica, pois a relação de espiras correta garante o bom funcionamento do transformador e, conseqüentemente, a qualidade da energia elétrica fornecida. Um desvio na relação de espiras pode resultar em perda de potência, sobreaquecimento, falha de isolamento e até mesmo avarias no equipamento.

Segundo a norma ABNT NBR 5410 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS., 2004), que regulamenta as instalações elétricas de baixa tensão, é recomendado que o teste de relação de espiras seja realizado periodicamente em transformadores para garantir a segurança e eficiência da instalação elétrica.

O TTR, como demonstrado na Figura 39, pode ser utilizado em diversos tipos de transformadores, como transformadores de potência, transformadores de distribuição, transformadores de instrumentos e transformadores de corrente. O equipamento é capaz de realizar medições precisas e confiáveis, tornando-se uma ferramenta indispensável na manutenção elétrica.

Em resumo, o TTR é um equipamento de extrema importância para a realização de testes de relação de espiras em transformadores, garantindo a qualidade e segurança da energia elétrica fornecida. A sua utilização é recomendada pelas normas técnicas e sua precisão e confiabilidade fazem dele uma ferramenta essencial na manutenção elétrica.



Figura 39 – Medidor de relação de transformadores - TTR 2000I – Instrum.

Fonte: (Acervo do autor)

5.0 – PROCEDIMENTOS ADOTADOS EM UMA MANUTENÇÃO DE SUBESTAÇÕES

As estações de energia elétrica são compostas por diversos equipamentos, cada um com sua respectiva função, e com um período de vida útil no qual espera-se que possam operar de maneira eficaz durante esse tempo. No entanto, ao longo do tempo de operação, esses equipamentos sofrem desgastes e danos, o que torna necessária sua manutenção. Esse tipo de serviço envolve atividades com eletricidade, o que exige o máximo de segurança possível durante sua execução. Portanto, para realizar essas manutenções, é preciso seguir rigorosos procedimentos de segurança em conformidade com a (“NR 10-SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE”, 2019), a fim de minimizar os riscos de acidentes com os profissionais envolvidos.

5.1 – DOCUMENTAÇÃO PARA LIBERAÇÃO DA ATIVIDADE

A liberação inicial para o início das atividades de manutenção em subestações elétricas é um processo importante que deve ser realizado com muito cuidado e atenção. É necessário que sejam cumpridos diversos requisitos para garantir a segurança dos trabalhadores e a integridade da instalação elétrica.

O documento de Permissão de Trabalho (PT) é um importante instrumento utilizado por empresas para controlar e gerenciar atividades que envolvam riscos, tais como as atividades de manutenção em subestações elétricas. O documento tem como objetivo avaliar os possíveis riscos envolvidos na atividade e estabelecer as medidas preventivas e de controle necessárias para garantir a segurança dos trabalhadores envolvidos.

A elaboração da PT é uma etapa importante do processo de gestão de segurança e saúde no trabalho, e deve ser realizada por profissionais habilitados e capacitados para identificar os riscos presentes na atividade a ser realizada. A elaboração da liberação de trabalho deve ser baseada em normas e regulamentos, como a (“NR 10-SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE”, 2019) - segurança em instalações e serviços em eletricidade, que estabelece as medidas de segurança para trabalhos em instalações elétricas.

A PT deve conter informações como a descrição da atividade a ser realizada, os possíveis riscos envolvidos, as medidas de controle e prevenção a serem adotadas, o responsável pela execução da atividade, os equipamentos de proteção individual e coletiva necessários, entre outras informações relevantes. É importante que todas as informações

contidas na PT sejam claras e precisas, para que os trabalhadores envolvidos na atividade possam compreender os riscos e as medidas preventivas e de controle a serem adotadas.

É fundamental que todos os envolvidos na atividade de manutenção em subestações elétricas sigam rigorosamente as orientações e medidas estabelecidas na documentação. Além disso, a PT deve ser atualizada sempre que houver mudanças nas condições de trabalho, como alterações nos equipamentos ou processos envolvidos na atividade. Na Figura 40 é representado um modelo de uma Permissão de trabalho adotado por algumas empresas.

A Permissão de Trabalho é um importante documento que visa garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores envolvidos em atividades que apresentam riscos. Sua elaboração deve ser realizada por profissionais habilitados e capacitados, seguindo as normas e regulamentos estabelecidos, e deve conter informações precisas e claras sobre os riscos e as medidas preventivas e de controle necessárias para a atividade a ser realizada.

Figura 40 – Exemplar de documento de permissão de trabalho seguro (PTS).

Fonte: (Acervo do autor)

5.2 – PROCEDIMENTOS DE DESENERGIZAÇÃO

O processo de desenergização é um procedimento fundamental em atividades de manutenção em subestações elétricas e em todo o ambiente fabril e industrial. O objetivo é garantir a segurança dos trabalhadores durante a execução das atividades.

Para realizar a desenergização, é necessário seguir as normas e procedimentos recomendados, como a (“NR 10-SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE”, 2019) do Ministério do Trabalho e Emprego. O processo deve ser feito de dentro de uma fábrica ou indústria até chegar à subestação de entrada de energia da empresa, pois isso evita riscos de arcos voltaicos.

Antes de iniciar a desenergização da chave seccionadora principal, todas as cargas devem ser retiradas dos circuitos e os equipamentos elétricos devem ser desligados. Em seguida, é necessário verificar se todos os circuitos estão realmente desenergizados, utilizando instrumentos de medição adequados.

Os riscos envolvidos na desenergização incluem arcos voltaicos, choques elétricos, curtos-circuitos, explosões e incêndios. Para evitar esses riscos, é fundamental utilizar equipamentos de proteção coletiva (EPCs) e equipamentos de proteção individual (EPIs), como luvas, capacetes, óculos de proteção, botas, entre outros, como exemplificados no item 4.3.

Alguns dos principais equipamentos de segurança utilizados durante o processo de desenergização incluem:

- Capacete isolante: protege a cabeça contra impactos e choques elétricos;
- Luvas isolantes: protegem as mãos contra choques elétricos e outros riscos;
- Óculos de proteção: protegem os olhos contra faíscas e detritos;
- Protetor auricular: protege os ouvidos contra o ruído intenso;
- Vestimentas de proteção: protegem o corpo contra arcos voltaicos e outros riscos.

De acordo com a seção 10.5.1 da Norma Regulamentadora NR-10, uma instalação elétrica é considerada desenergizada e pronta para a realização de atividades quando os seguintes procedimentos são realizados nesta ordem:

- I. Seccionamento dos circuitos elétricos;
- II. Verificação da ausência de tensão em todos os pontos da instalação elétrica;
- III. Impedimento de reenergização da instalação;
- IV. Instalação de aterramento temporário, com a equipotencialização dos condutores dos circuitos;
- V. Instalação de sinalização de impedimento de reenergização, que deve ser colocada em conjunto com os dispositivos de seccionamento elétrico.

A seção 6.3.6.1 da (“NBR 14039 - ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas”, 2003) estabelece as especificações para os dispositivos de seccionamento de instalações elétricas de média tensão. Nas subestações de energia elétrica, o seccionamento é realizado por meio da abertura dos disjuntores de média e baixa tensão, seguida da abertura das chaves seccionadoras dos cubículos de transformação, proteção e medição. Após a desenergização da subestação, é necessário impedir sua reenergização para garantir a segurança dos trabalhadores, o que pode ser feito por meio de bloqueio ou intertravamento mecânico, elétrico, pneumático ou físico.

Para garantir que a instalação elétrica esteja completamente desenergizada, é necessário verificar a ausência de tensão elétrica em todos os pontos da instalação utilizando um detector de tensão adequado ao nível de tensão. É importante que o instrumento esteja funcionando corretamente e que as medições sejam realizadas em todas as fases e em todos os pontos, mantendo a distância de segurança das zonas energizadas.

A instalação de aterramento temporário com equipotencialização dos condutores dos circuitos é essencial para prevenir possíveis choques elétricos aos trabalhadores decorrentes de erros, defeitos ou tensões induzidas nas instalações elétricas, garantindo a segurança durante todo o período de manutenção. Além disso, a proteção dos elementos energizados na zona controlada é feita por meio de obstáculos isolantes, chamados de EPCs, instalados a uma distância segura com o auxílio de bastões de manobra, que possuem propriedades dielétricas adequadas ao nível de tensão em operação e são periodicamente limpos.

Por fim, a sinalização de impedimento de reenergização deve ser instalada por meio de cartazes, placas, bandeiras ou outros elementos que indiquem a proibição de manobras, e deve estar próxima aos dispositivos de seccionamento elétrico. Os trabalhadores envolvidos na atividade devem estar familiarizados com a sinalização para garantir a segurança durante a realização das atividades.

A desenergização é um procedimento crítico que deve ser realizado com muita atenção e cuidado. A adoção de medidas de segurança adequadas, como o uso de EPIs e EPCs, é fundamental para garantir a integridade física dos trabalhadores e a efetividade das atividades de manutenção.

5.2.1. SECCIONAMENTO DOS CIRCUITOS ELÉTRICOS

Para os procedimentos de aberturas/fechamento de circuitos de média tensão em todas as salas elétricas o eletricitista deverá utilizar a roupa retardante a fogo, capuz eletricitista e luva de média tensão 17KV, como demonstrado na Figura 41, o profissional deverá também estar sobre o tapete de borracha para tal manobra, como demonstrado na Figura 42.

Todos procedimentos de manobra dos componentes elétricos de média tensão deverá ser realizado sem carga e o eletricitista não deverá estar portando nenhum equipamento eletrônico e objetos de metal.



Figura 41 – Profissional equipado com os EPI's apropriados para circuitos de média tensão.

Fonte: (Acervo do autor)



Figura 42 – Tapetes de isolamento para cargas de média tensão.

Fonte: (Acervo do autor)

A retirada das cargas dos circuitos elétricos é a primeira etapa crucial para um processo de desenergização segura em uma empresa. Esse processo se inicia com a abertura dos disjuntores de baixa tensão do QGBT (Quadro Geral de Baixa Tensão), que é responsável por

distribuir energia elétrica para os demais circuitos da empresa, como exemplificado na Figura 43.

Ao desligar o disjuntor de baixa tensão, todas as cargas elétricas que estão conectadas aos circuitos são desenergizadas, o que significa que não há mais tensão elétrica presente nesses circuitos. Esse procedimento é fundamental para garantir a segurança dos trabalhadores que irão realizar a manutenção ou reparo dos equipamentos elétricos. deverão ser realizados preferencialmente através dos acionadores remotos localizados fora das salas elétricas, as portas deverão estar fechadas durante o procedimento.

Caso o processo de desenergização não comece com a retirada das cargas dos circuitos elétricos e a abertura dos disjuntores de baixa tensão, os trabalhadores podem estar expostos a riscos elétricos graves, como choques elétricos, arcos elétricos e outros acidentes que podem ser fatais.



Figura 43 – Pannel de acionamento remoto do Quadro Geral De Baixa Tensão (QGBT).

Fonte: (Acervo do autor)

Após concluído a etapa anterior, é a vez de iniciar os procedimentos de abertura/fechamento dos disjuntores de média tensão que deverão ser realizados preferencialmente através dos acionadores remotos localizados fora das salas elétricas, as portas deverão estar fechadas durante o procedimento.

Só serão permitidos a realização do procedimento de abertura/fechamento diretamente no disjuntor de média tensão caso não possuir o acionamento remoto ou se o mesmo não estiver em funcionamento, a representação do painel de acionamento remoto com um disjuntor de média tensão é demonstrados na Figura 44. Para este procedimento o eletricista deverá utilizar a roupa retardante a fogo, capuz eletricista e luva de média tensão 17KV.



Figura 44 – Pannel de acionamento remoto do disjuntor de média tensão.

Fonte: (Acervo do autor)

Durante uma manutenção de subestação elétrica, é importante seguir os procedimentos corretos para garantir a segurança dos trabalhadores envolvidos na atividade. Um dos procedimentos importantes é a abertura de uma chave seccionadora, que deve ser realizada somente após a retirada das cargas e a abertura dos disjuntores de baixa e média tensão. Isso porque, se a chave seccionadora for aberta com as cargas ainda conectadas, pode haver um arco elétrico que pode causar sérios danos à saúde do trabalhador, como queimaduras, lesões graves e até mesmo a morte. Na Figura 45 é representada por uma subestação de distribuição, contendo diversas chaves seccionadoras.

Além disso, para a realização da abertura da chave seccionadora em uma subestação elétrica, é importante que o trabalhador esteja isolado em um tapete isolante de borracha para tensão de média tensão. Isso garante que o trabalhador não estará em contato direto com o solo, que pode conduzir eletricidade, e que estará protegido contra choques elétricos. É importante também que o trabalhador esteja utilizando equipamentos de proteção individual, como demonstrado nos tópicos anteriores.

Portanto, é fundamental seguir todos os procedimentos de segurança na abertura de uma chave seccionadora em uma subestação elétrica. Somente assim é possível garantir a segurança do trabalhador e a efetividade da manutenção.

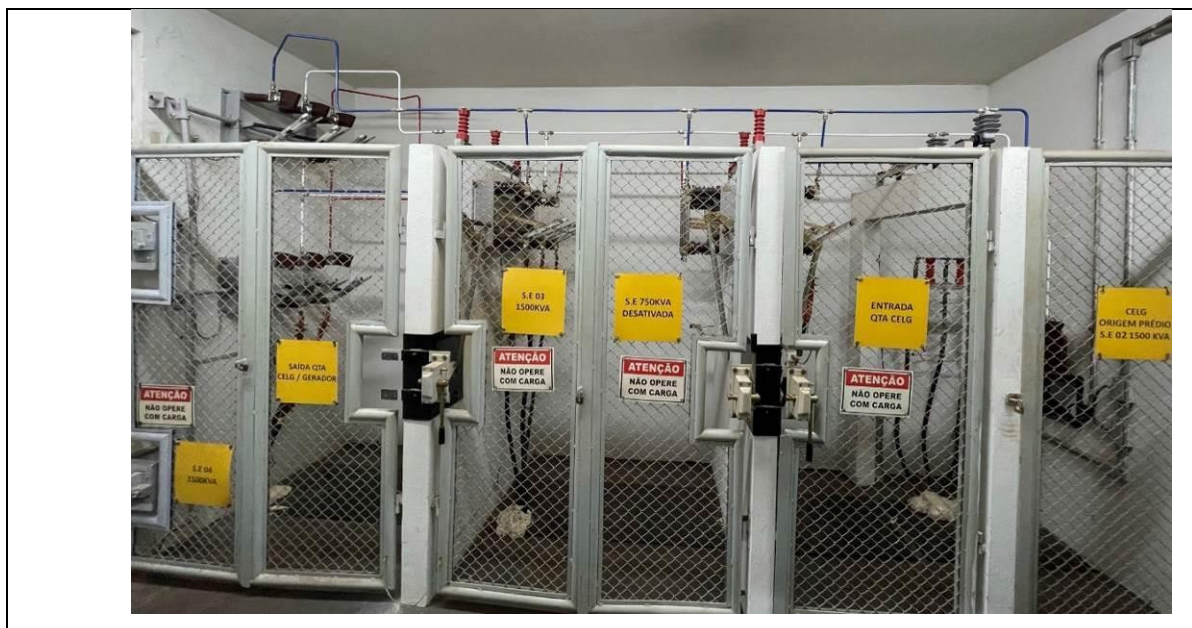


Figura 45 – Cubículos com chaves seccionadoras de média tensão.

Fonte: (Acervo do autor)

5.3 – VERIFICAÇÃO DA AUSÊNCIA DE TENSÃO

Após a abertura das chaves seccionadoras deverá ser realizado o teste de tensão (teste zero) no ramal de média tensão utilizando-se o Detector de tensão acoplado ao Bastão de manobra.

O teste zero é uma etapa crucial no processo de desenergização de um circuito elétrico. Ele consiste em realizar uma verificação completa para garantir que não há mais energia no circuito antes de se iniciar qualquer trabalho de manutenção ou reparo. A importância desse teste não pode ser subestimada, pois a falha em realizá-lo adequadamente pode colocar em risco a vida do profissional que está executando a tarefa e também das pessoas que se encontram nas proximidades.

O teste zero é um procedimento padrão que deve ser seguido em todas as situações em que se pretende trabalhar em um circuito elétrico. Ele é realizado com o uso de um equipamento específico, que é capaz de detectar a presença de tensão no circuito. Esse equipamento é conhecido como detector de tensão ou detector de ausência de tensão.

Ao realizar o teste zero, o profissional deve seguir rigorosamente as instruções do fabricante do equipamento e das normas de segurança aplicáveis. É importante verificar se o detector de tensão está funcionando corretamente antes de começar o teste e também após a realização do mesmo. É ideal aguardar um tempo mínimo de 5 minutos depois do desligamento para que ocorra a descarga dos bancos de capacitores para assim realizar o teste de tensão (teste

zero) para a certificação da ausência de tensão. Na Figura 46 é representada por um profissional realizando a conferência de ausência de tensão em uma chave seccionadora.

Em resumo, a realização do teste zero é fundamental para garantir a segurança dos profissionais que trabalham com eletricidade. Esse procedimento deve ser realizado com o máximo cuidado e atenção, seguindo todas as normas de segurança aplicáveis e as instruções do fabricante do equipamento. Somente após a realização do teste zero e a confirmação de que o circuito está realmente sem energia é que se pode começar a trabalhar com segurança.

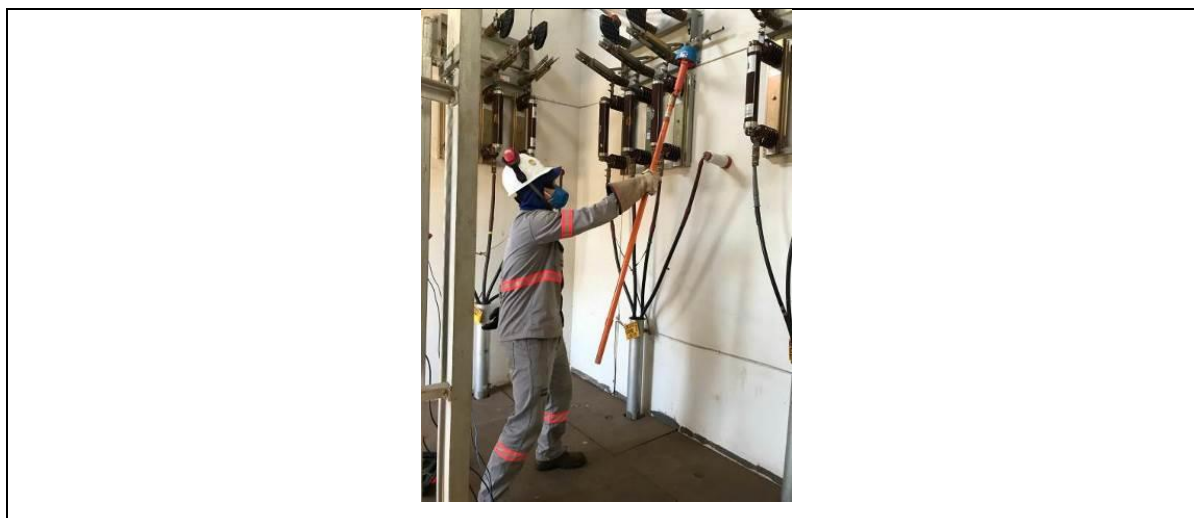


Figura 46 – Aplicação prática do teste zero.

Fonte: (Acervo do autor)

5.4 – IMPEDIMENTO DE REENERGIZAÇÃO DA INSTAÇÃO.

O bloqueio de energia é uma medida fundamental de segurança em qualquer atividade que envolva trabalhos em instalações elétricas. Ele tem como objetivo evitar a energização acidental dos equipamentos e garantir a segurança dos trabalhadores envolvidos. O bloqueio consiste em um procedimento de isolamento elétrico que impede a liberação de energia elétrica em um determinado circuito, equipamento ou máquina. Esse procedimento é realizado por meio de dispositivos específicos, como cadeados e placas de bloqueio.

A Figura 47, exemplifica o bloqueio com placas e cadeados de todos os trabalhadores envolvidos na chave seccionadora principal, este é um exemplo prático de como esse procedimento é importante para garantir a segurança dos trabalhadores. Essa chave seccionadora é a responsável por isolar o circuito elétrico para que o trabalho possa ser realizado com segurança. No entanto, é necessário garantir que ninguém possa energizar o circuito durante o processo de manutenção.

Dessa forma, cada trabalhador envolvido no processo de manutenção deve colocar seu próprio dispositivo de bloqueio na chave seccionadora principal. Isso garante que ninguém possa energizar o circuito enquanto o trabalho estiver sendo realizado. O dispositivo de bloqueio só pode ser retirado quando todos os trabalhadores envolvidos tiverem concluído suas tarefas e estiverem em um local seguro. Essa medida garante a segurança de todos os trabalhadores envolvidos no processo e evita acidentes graves.

Em resumo, o bloqueio de energia é uma medida fundamental para garantir a segurança dos trabalhadores envolvidos em atividades que envolvem instalações elétricas. O procedimento de bloqueio deve ser realizado de forma rigorosa e todos os trabalhadores devem estar cientes da importância de seguir as normas de segurança. A utilização de dispositivos de bloqueio, como cadeados e placas, é uma forma eficaz de garantir a segurança dos trabalhadores durante o processo de manutenção.



Figura 47 – Bloqueio realizado na seccionadora de alimentação de todo o circuito.

Fonte: (Acervo do autor)

5.5 – ATERRAMENTO TEMPORÁRIO

Conforme mencionado por Pessoa (2014), é indispensável a presença do sistema de aterramento antes da execução de uma manutenção em uma subestação com os equipamentos desenergizados. Essa medida é fundamental para salvaguardar a segurança dos profissionais envolvidos no serviço, uma vez que uma reenergização inadequada pode colocar em perigo a vida dos colaboradores.

As energizações indevidas podem ser ocasionadas pelos seguintes motivos:

- Energização acidental;

- Descargas atmosféricas;
- Tensões induzidas;
- Tensão estática.

O sistema de aterramento temporário desempenha um papel crucial ao permitir a dissipação da energia armazenada no transformador de uma subestação, além de proteger contra possíveis energizações indevidas durante a realização do serviço. Esse conjunto é composto por cabos condutores, grampos e quatro conectores que estão interligados entre si.

Portanto, deverá ser instalado o aterramento temporário nas duas extremidades do ramal onde será realizado a atividade para a eliminação de correntes residuais nos condutores de média tensão, como demonstrado na Figura 48.



Figura 48 – Aterramento temporário acoplado no sistema.

Fonte: (Acervo do autor)

5.6 – LIMPEZA ESTRUTURAL DAS SUBESTAÇÕES E SEUS COMPONENTES ELÉTRICOS

A limpeza da parte estrutural de uma subestação elétrica e de seus componentes elétricos é uma etapa essencial na manutenção e preservação adequada do sistema. É fundamental garantir que os equipamentos e as estruturas estejam livres de sujeira, umidade, corrosão e outros contaminantes, a fim de assegurar o desempenho ideal e a segurança operacional.

A limpeza adequada da parte estrutural de uma subestação elétrica e de seus componentes é uma prática fundamental para garantir o desempenho eficiente e seguro do

sistema elétrico. Diversos autores e especialistas no campo da engenharia elétrica enfatizam a importância dessa atividade.

A limpeza regular dos componentes elétricos e da estrutura da subestação é crucial para garantir o bom funcionamento e a confiabilidade do sistema. A presença de sujeira, poeira e umidade pode comprometer a dissipação de calor, causar corrosão nos componentes e aumentar o risco de falhas e curto-circuito.

A sujeira e o acúmulo de resíduos podem afetar negativamente o funcionamento dos equipamentos elétricos, comprometendo sua eficiência e vida útil. Além disso, a presença de umidade e contaminantes pode aumentar o risco de falhas e curto-circuito, resultando em interrupções no fornecimento de energia e danos aos componentes.

Em relação à importância da limpeza na prevenção de falhas elétricas, a obra (C. DUGAN et al., 2004) ressalta que "a sujeira e os contaminantes presentes nos equipamentos elétricos podem prejudicar a isolamento e causar perdas dielétricas, interferindo no desempenho do sistema. A limpeza adequada, especialmente em áreas de alta umidade ou poluição, é essencial para minimizar o risco de falhas e manter a confiabilidade do sistema elétrico".

Entre os principais benefícios da limpeza da subestação e de seus componentes, destacam-se:

1. **Melhora do desempenho dos equipamentos:** A remoção de sujeira e contaminantes garante um funcionamento eficiente dos equipamentos elétricos, evitando perdas de energia, superaquecimento e falhas no sistema.
2. **Aumento da vida útil dos equipamentos:** A limpeza regular contribui para a prevenção da corrosão e do desgaste prematuro dos componentes, prolongando sua vida útil e reduzindo os custos de manutenção.
3. **Redução do risco de falhas e curto-circuito:** A presença de sujeira e umidade pode criar condições propícias para falhas elétricas. A limpeza adequada minimiza esses riscos, garantindo a segurança operacional e a continuidade do fornecimento de energia.
4. **Manutenção de um ambiente seguro:** A remoção de resíduos e a limpeza da subestação contribuem para a criação de um ambiente de trabalho seguro para os profissionais envolvidos na operação e manutenção do sistema elétrico.

É importante ressaltar que a limpeza dos componentes elétricos deve ser realizada por profissionais qualificados e seguindo as diretrizes de segurança. Equipamentos de proteção

individual (EPIs) devem ser utilizados durante o processo, como luvas isolantes, óculos de proteção e vestimentas adequadas.

As Figuras 49 e 50 demonstram subestações antes e depois da realização da limpeza em seu ambiente interno e externo e em seus componentes elétricos.

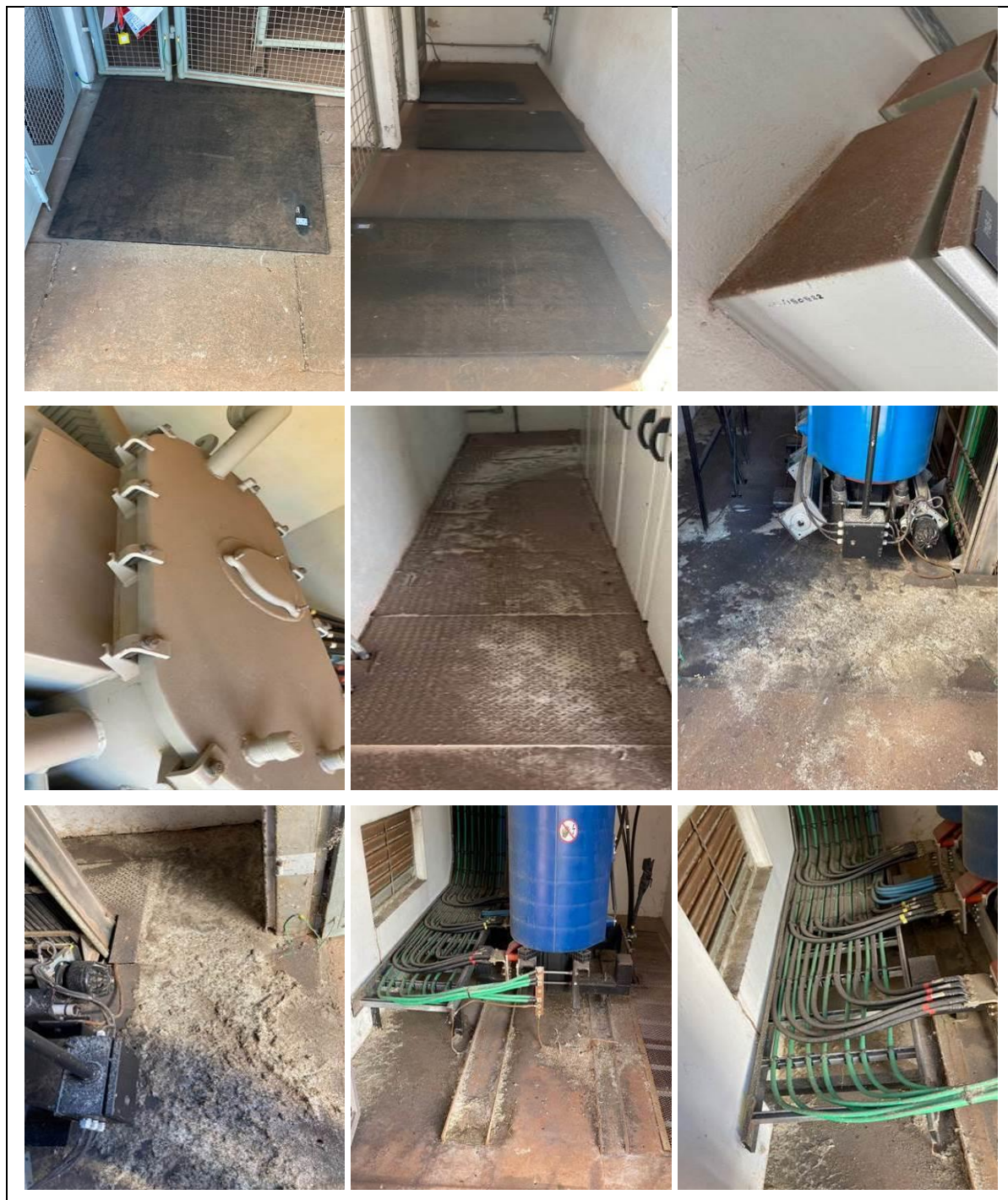


Figura 49 – Subestação e componentes elétricos antes de realizar a limpeza.

Fonte: (Acervo do autor)



Figura 50 - Subestação e componentes elétricos depois de realizar a limpeza.

Fonte: (Acervo do autor)

5.7 – REAPERTO DAS CONEXÕES ELÉTRICAS

O reaperto das conexões elétricas em uma subestação desempenha um papel crucial na garantia do desempenho confiável e seguro do sistema elétrico. Essa prática visa minimizar o risco de falhas, interrupções no fornecimento de energia e danos aos equipamentos.

A manutenção adequada das conexões elétricas em uma subestação elétrica e em seus componentes é de extrema importância para garantir a confiabilidade e a segurança do sistema elétrico como um todo. O reaperto regular das conexões elétricas é uma prática essencial para prevenir problemas como falhas de contato, aquecimento excessivo e mau funcionamento dos equipamentos.

Vários estudos e especialistas na área de engenharia elétrica enfatizam a importância do reaperto das conexões elétricas. Segundo o livro "Electrical Power Systems Quality" (C. DUGAN et al., 2004), "a perda de aperto nas conexões elétricas pode levar ao surgimento de resistência excessiva e aquecimento, o que resulta em maior perda de energia e possibilidade de falhas no sistema. O reaperto regular das conexões elétricas é essencial para manter a integridade elétrica, reduzir a resistência de contato e garantir uma transferência eficiente de energia".

Em relação à importância do reaperto na prevenção de falhas elétricas, o livro "Electric Power Substations Engineering" (GRIGSBY, 2006) ressalta que conexões elétricas frouxas são uma das principais causas de mau funcionamento e falhas em equipamentos elétricos. O reaperto adequado das conexões, utilizando ferramentas de aperto adequadas e seguindo as especificações do fabricante, é fundamental para garantir a continuidade operacional e evitar interrupções indesejadas".

Outra referência relevante é o (IEEE 902-1998 - IEEE guide for maintenance, operation, and safety of industrial and commercial power systems, 1998) que destaca: "O reaperto periódico das conexões elétricas é necessário para prevenir problemas como arcos elétricos, aquecimento excessivo e mau funcionamento dos equipamentos. Essa prática deve seguir as recomendações e procedimentos estabelecidos pelos fabricantes dos equipamentos e normas aplicáveis".

Com base nas citações anteriores é possível notar a importância do reaperto das conexões elétricas em uma subestação elétrica. É importante ressaltar que essa atividade deve ser realizada por profissionais qualificados, seguindo as normas e regulamentações específicas, além de utilizar ferramentas adequadas para garantir a aplicação correta do torque nas conexões elétricas.

Em conclusão, o reaperto regular das conexões elétricas é fundamental para assegurar o funcionamento confiável e seguro de uma subestação elétrica. Essa prática contribui para a redução de falhas, aumento da eficiência energética e preservação dos equipamentos, garantindo a continuidade do fornecimento de energia elétrica.

6.0 – ENSAIO NOS EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

A realização de ensaios nos equipamentos elétricos de uma subestação é de extrema importância para garantir o seu desempenho confiável e seguro. Dentre os ensaios mais relevantes estão os testes de resistência de isolamento, resistência de contato e de transformação de espiras em transformadores. Esses ensaios têm como objetivo verificar as condições de isolamento dos equipamentos, a integridade das conexões elétricas e a eficiência dos transformadores, respectivamente.

De acordo com o livro "Electrical Power Systems: Design and Analysis" (E. EL-HAWARY, 1995), os ensaios de resistência de isolamento são cruciais para verificar a qualidade do isolamento em equipamentos como cabos, transformadores e capacitores. Esses ensaios são realizados aplicando-se uma tensão adequada ao equipamento e medindo-se a corrente de fuga. Um isolamento deficiente pode levar a falhas de isolamento, descargas elétricas e comprometimento da segurança do sistema elétrico.

Já os ensaios de resistência de contato têm como objetivo verificar a integridade das conexões elétricas nos equipamentos e nas linhas de transmissão. Segundo o livro "Power System Engineering" (SCHLABBACH; ROFALSKI, 2008), esses ensaios são essenciais para identificar problemas como conexões soltas, corrosão e oxidação, que podem resultar em resistência de contato elevada, aquecimento excessivo e perdas de energia. Os ensaios de resistência de contato são realizados utilizando-se equipamentos específicos, como micro ohmímetros, para medir a resistência das conexões elétricas.

Por fim, os ensaios de transformação de espiras em transformadores são realizados para verificar a relação de transformação, a eficiência e a integridade do isolamento nos enrolamentos dos transformadores. Segundo o livro "Electrical Power Systems Technology" (FARDO; PATRICK, 2009), esses ensaios são cruciais para garantir o desempenho adequado dos transformadores e a transferência eficiente de energia. Eles envolvem a aplicação de uma tensão ao primário do transformador e a medição das tensões resultantes no secundário, bem como a verificação da resistência de isolamento entre os enrolamentos.

É importante ressaltar que os ensaios nos equipamentos elétricos devem ser realizados por profissionais qualificados, seguindo as normas técnicas e as recomendações dos fabricantes. Esses ensaios permitem identificar eventuais problemas nos equipamentos, prevenir falhas e garantir a segurança e a confiabilidade do sistema elétrico.

6.1 – TESTE DE RESISTÊNCIA DE ISOLAÇÃO

A realização de testes de resistência de isolamento é fundamental para avaliar a integridade do sistema de isolamento em equipamentos elétricos. Esses testes são aplicados para identificar possíveis falhas ou degradações no isolamento, o que pode levar a problemas de segurança e desempenho do sistema.

O teste de resistência de isolamento é uma das técnicas mais comuns e importantes para avaliar o estado do isolamento em equipamentos elétricos. Ele envolve a aplicação de uma tensão elétrica aos terminais do equipamento, enquanto mede-se a corrente de fuga que passa através do isolamento. Um isolamento adequado apresentará uma corrente de fuga baixa, indicando uma alta resistência de isolamento.

A norma técnica (ABNT NBR IEC 60601-1 Equipamento eletromédico, 2010) estabelece os requisitos para testes de resistência de isolamento em equipamentos elétricos. Ela enfatiza a importância da realização desses testes, destacando que eles devem ser executados em conformidade com os procedimentos adequados e com o uso de equipamentos de medição calibrados. A norma também define valores de referência para a resistência de isolamento, auxiliando na interpretação dos resultados e na avaliação do estado do isolamento.

Portanto, os testes de resistência de isolamento são essenciais para a garantia da segurança e do desempenho dos equipamentos elétricos. Eles permitem identificar precocemente falhas no isolamento, possibilitando ações corretivas antes que ocorram danos mais graves. A realização regular desses testes, seguindo as normas técnicas e recomendações dos fabricantes, contribui para a manutenção preventiva e a otimização dos sistemas elétricos.

O megôhmetro é um dispositivo utilizado para a medição da resistência de isolamento, possibilitando identificar e diagnosticar falhas em equipamentos elétricos. Sua operação é fundamentada na aplicação de uma tensão contínua em um material isolante, resultando em três componentes distintos da corrente que circula por ele:

A corrente de carga de capacitância, inerente ao material sob teste, é um dos componentes presentes quando uma tensão contínua é aplicada. Além disso, a corrente de absorção dielétrica circula pelo material isolante em si. Por fim, a corrente de fuga pelo isolante possui duas partes relevantes: a fuga pela superfície do material e a fuga pelo próprio isolante. Esses três componentes são considerados durante a medição da resistência de isolamento por meio do megôhmetro.

Por meio dessas considerações, o megôhmetro é capaz de fornecer uma medida precisa da resistência dielétrica do material isolante. Esse instrumento é composto por três terminais, nos quais os cabos de cores correspondentes são conectados. Cada cabo possui as seguintes características:

- Borne da cor vermelha (LINE) – Responsável por injetar tensão no equipamento sob ensaio;
- Borne da cor preta (EARTH) – Chamado de retorno ou negativo, responsável por enviar para o instrumento o resultado dos valores de corrente de fuga do equipamento analisado;
- Borne da cor verde (GUARD) – Responsável por filtrar algumas situações indesejadas (correntes parasitas e indutivas).

Os megômetros disponíveis no mercado geralmente possuem uma classe de tensão de 5 kV, 10 kV ou 20 kV. No entanto, é importante ter um cuidado especial ao realizar o ensaio no enrolamento de baixa tensão do transformador, pois nesse caso é recomendado utilizar a menor tensão disponível no equipamento, que geralmente é de 500 V. Em subestações com tensão nominal de 13,8 kV, é aconselhável utilizar tensões inferiores, variando de 5 kV a 10 kV, para garantir a segurança e evitar danos nos equipamentos.

Após desligar o equipamento, é necessário aguardar alguns segundos até que a luz indicadora de tensão se apague completamente. Somente então é seguro manusear os cabos, evitando qualquer risco de choque elétrico. Essa precaução é essencial para garantir a segurança do operador durante o teste de resistência de isolamento.

Os ensaios de resistência de isolamento com o megôhmetro podem ser realizados em diversos equipamentos presentes em uma subestação, tais como:

- Transformadores;
- Disjuntores;
- Chaves seccionadoras;
- Muflas e cabos de baixa e média tensão.
- Para-raios;
- Motores;

Esses testes têm a finalidade de avaliar a qualidade do isolamento presente nos equipamentos elétricos, identificando possíveis falhas ou deteriorações que possam comprometer o desempenho e a segurança do sistema elétrico.

6.1.1. ENSAIO EM TRANSFORMADOR

O ensaio de resistência de isolamento em transformadores de potência de média tensão utilizando o megôhmetro é um procedimento crucial para avaliar a qualidade do isolamento presente no transformador. Esse ensaio tem como objetivo principal identificar possíveis falhas ou problemas de isolamento que possam comprometer o desempenho e a segurança do transformador.

No ensaio de resistência de isolamento, são realizados três testes distintos. O primeiro teste consiste em aplicar uma alta tensão entre a carcaça do transformador e os enrolamentos do mesmo. Esse teste tem como objetivo verificar se existe alguma fuga de corrente entre os enrolamentos e a carcaça do transformador, o que pode indicar uma falha no isolamento.

O segundo teste envolve a aplicação de uma alta tensão entre os enrolamentos de alta tensão e os enrolamentos de baixa tensão do transformador. Nesse teste, busca-se identificar possíveis falhas de isolamento entre os enrolamentos, o que poderia resultar em um curto-circuito ou perda de eficiência no transformador.

O terceiro teste é realizado aplicando-se uma alta tensão entre os enrolamentos do transformador e o aterramento do transformador. Nesse caso, o objetivo é verificar se há alguma fuga de corrente do transformador para a terra, o que pode ser um indício de problemas no isolamento.

Em todos os testes, o megôhmetro é utilizado para aplicar as altas tensões e medir a resistência de isolamento do transformador. Ele é capaz de identificar correntes de fuga indesejadas, fornecendo uma leitura precisa da resistência de isolamento. Caso sejam encontradas resistências de isolamento muito baixas ou correntes de fuga significativas, é indicativo de que a isolamento do transformador está comprometida e que medidas de manutenção ou reparo devem ser tomadas para garantir o seu correto funcionamento e a segurança do sistema elétrico.

Os transformadores frequentemente possuem dois bobinados, o primário e o secundário, embora alguns também possam ter um terceiro bobinado. Os ensaios descritos a seguir são aplicáveis a transformadores de dois bobinados, que são os mais utilizados em subestações abrigadas de média tensão.

Conforme mencionado por Barros (2015), para realizar a medição da resistência de isolamento em transformadores de dois bobinados com uma classe de tensão de 15 kV ou superior, são aplicadas tensões de ensaio de 5 kV cc ou 10 kV cc nos bobinados de alta tensão do transformador, enquanto nos terminais de baixa tensão utiliza-se uma tensão de 500 V cc.

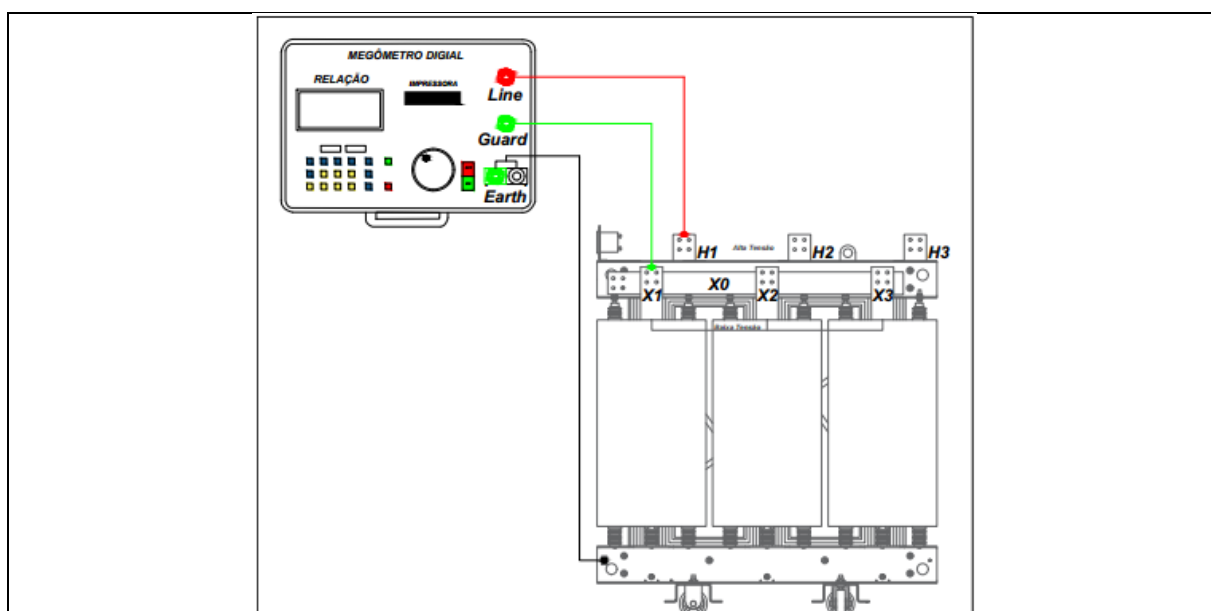
I. – Ensaio de resistência de isolação entre os contatos de alta e a carcaça do transformador.

Para a realização do ensaio de resistência de isolamento entre a carcaça e o enrolamento de alta tensão de um transformador de 13,8kV usa-se o megôhmetro, respeitando os procedimentos a seguir:

1. Abrir a chave seccionadora que alimenta o transformador;
2. Conectar o cabo de linha (LINE) do megôhmetro no terminal de alta tensão do transformador (H1, H2 e H3), um de cada vez;
3. Conectar o cabo de (GUARD) do megôhmetro no terminal de baixa tensão do transformador (X1, X2, X3), um de cada vez;
4. Conectar o cabo de terra (EARTH) do megôhmetro à carcaça do transformador.

Na Figura 51 é apresentado um diagrama de conexão do megôhmetro ao transformador para o ensaio de resistência de isolamento entre a carcaça e o enrolamento de alta tensão.

5. Após finalizar as conexões injetar uma tensão de 10 kV em corrente contínua através do megôhmetro durante um período de tempo;
6. Em seguida anotar os resultados aferido na folha de inspeção.



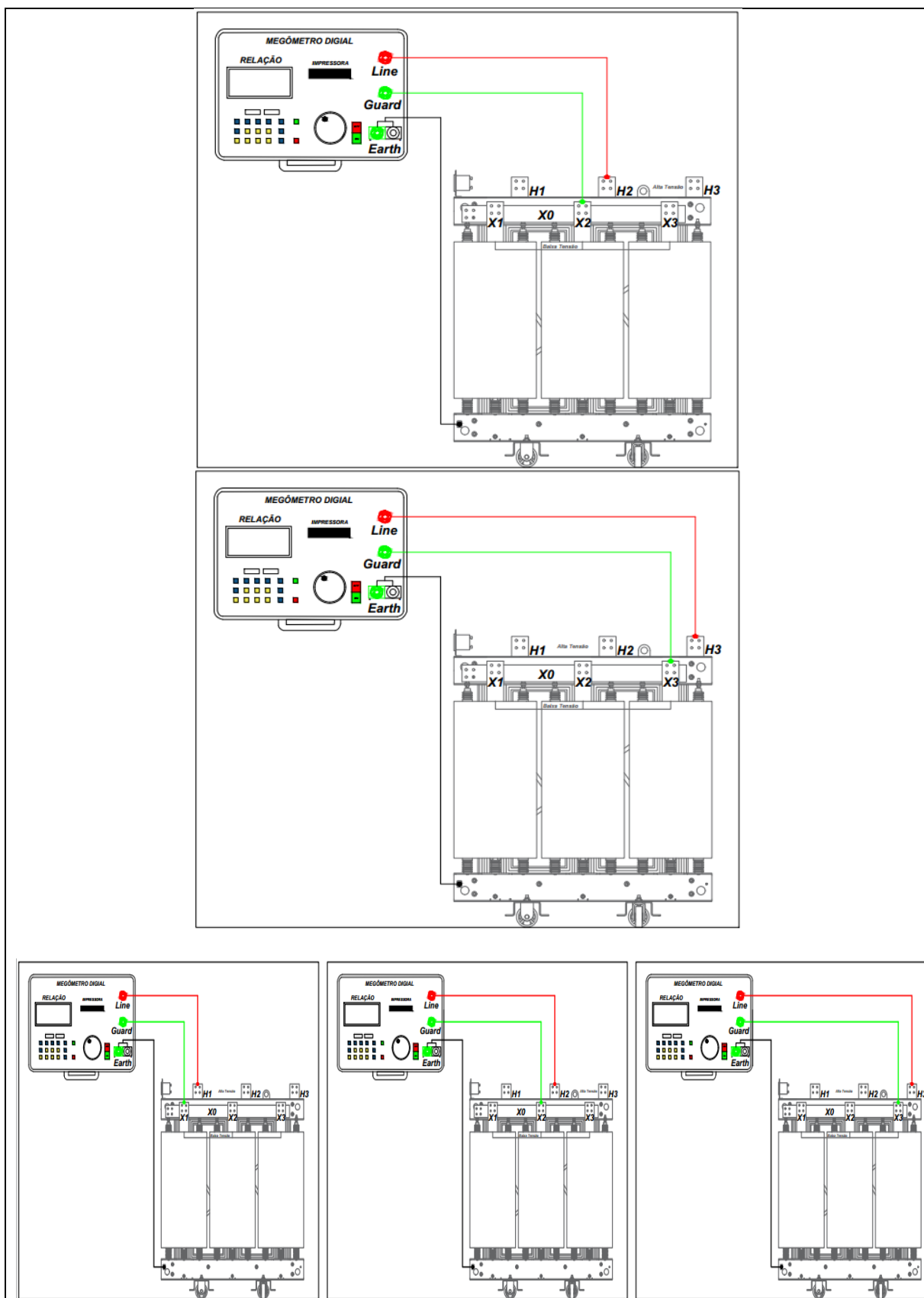


Figura 51 - Ensaio de resistência de isolamento entre a carcaça e os contatos de alta do transformador.

Fonte: (Próprio autor)

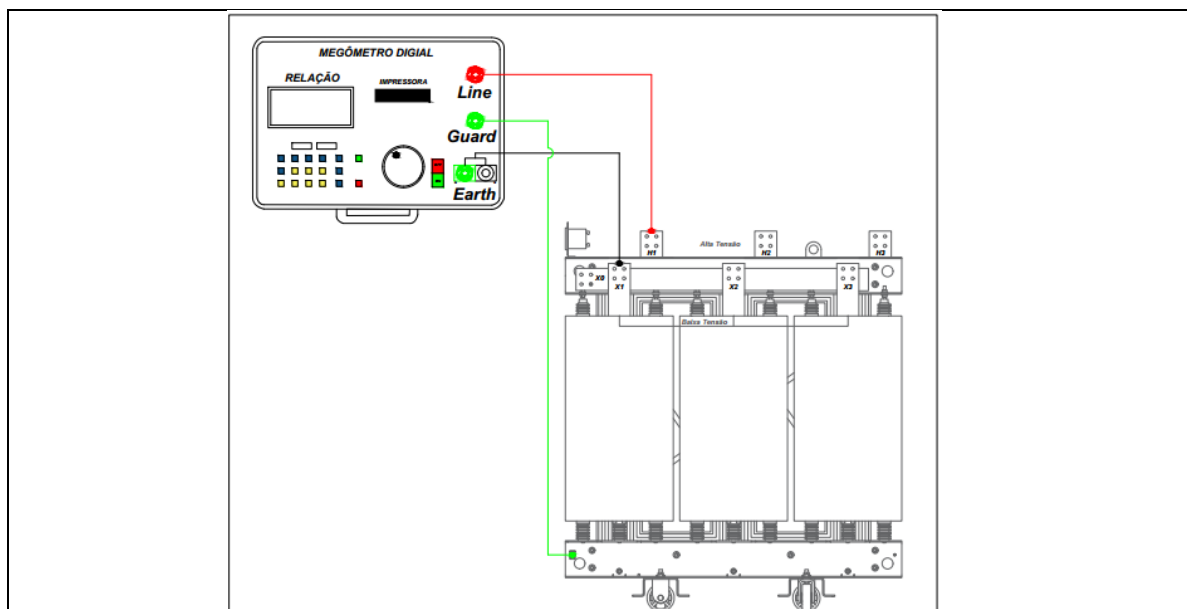
II. – Ensaio de resistência de isolação entre os contatos de alta e os contatos de baixa tensão do transformador.

Para a realização do ensaio de resistência de isolamento entre o enrolamento de alta tensão e o enrolamento de baixa tensão de um transformador de média tensão, usa-se o megôhmetro, respeitando os procedimentos a seguir:

1. Abrir a chave seccionadora que alimenta o transformador;
2. Conectar o cabo de linha (LINE) do megôhmetro no terminal de alta tensão do transformador (H1, H2 e H3), um de cada vez;
3. Conectar o cabo de (EARTH) do megôhmetro no terminal da baixa tensão do transformador (X1, X2 e X3), um de cada vez;
4. Conectar o cabo (GUARD) do megôhmetro a carcaça aterrada do transformador.

Na Figura 52 é apresentado um diagrama de conexão do megôhmetro ao transformador para o ensaio de resistência de isolamento entre o enrolamento de alta e o enrolamento de baixa tensão do transformador.

5. Após finalizar as conexões injetar uma tensão de 10 kV em corrente contínua através do megôhmetro durante um período de tempo;
6. Em seguida anotar os resultados aferido na folha de inspeção.



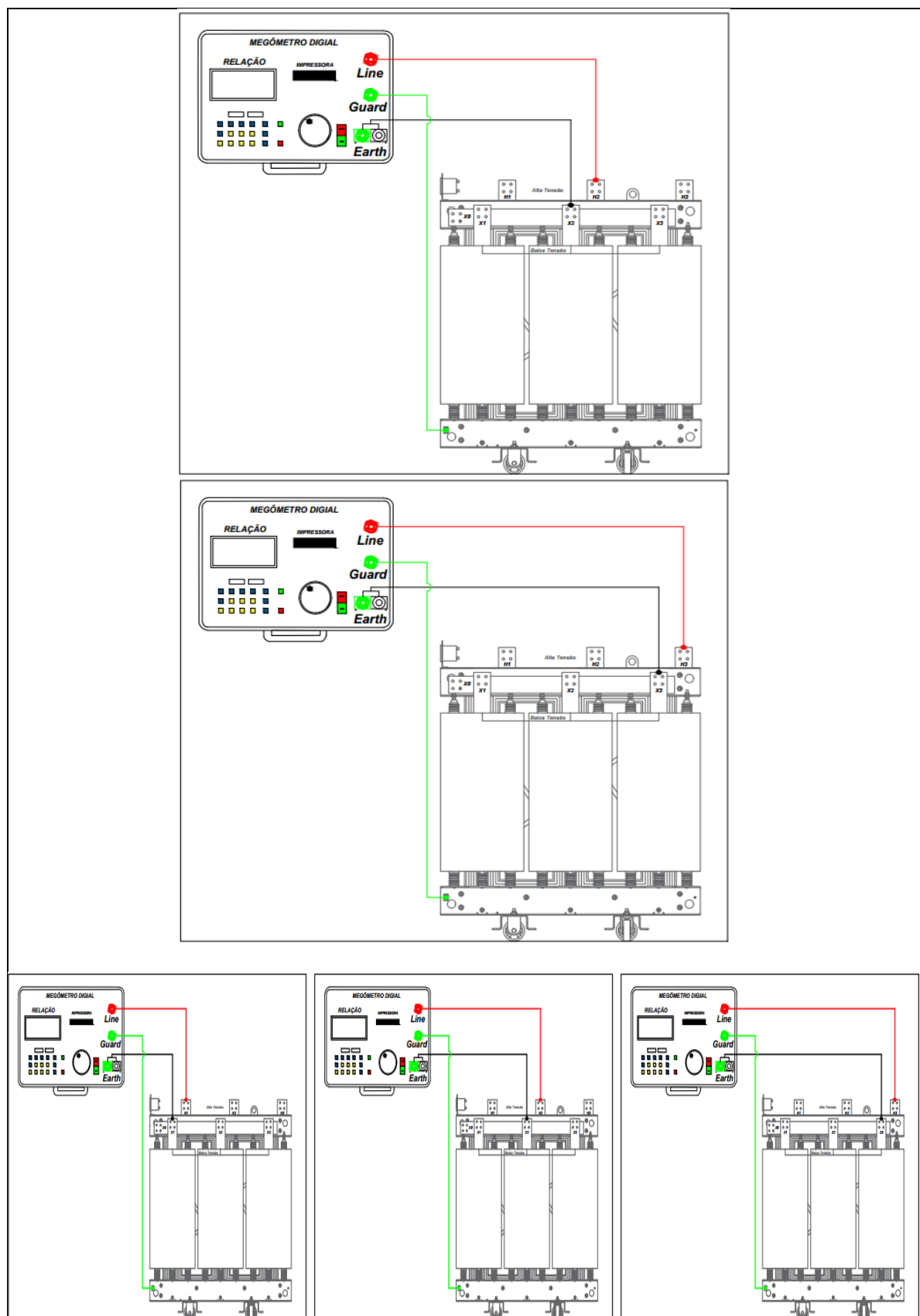


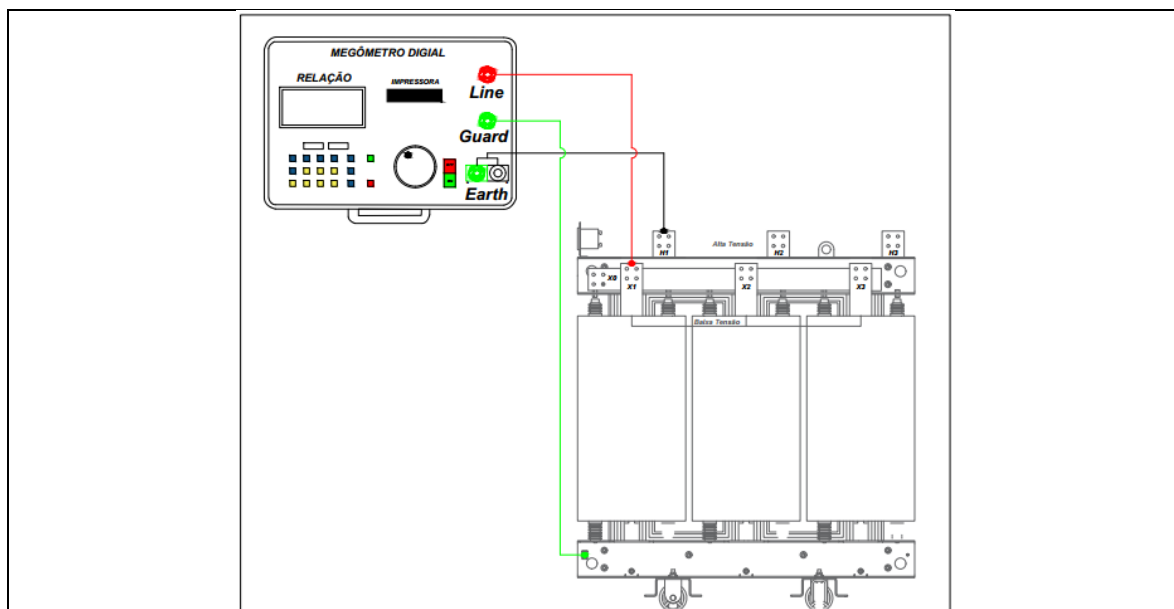
Figura 52 - Ensaio de resistência de isolamento entre a carcaça e os contatos de alta do transformador.

Fonte: (Próprio autor)

III. – Ensaio de resistência de isolamento entre os contatos de baixa e a carcaça do transformador.

Para a realização do ensaio de resistência de isolamento entre o enrolamento de alta tensão e aterramento de um transformador de média tensão, usa-se o megôhmetro, respeitando os procedimentos a seguir:

1. Abrir a chave seccionadora que alimenta o transformador;
2. Conectar o cabo de linha (LINE) do megôhmetro no terminal de baixa tensão do transformador (X1, X2 e X3), um de cada vez;
3. Conectar o cabo de terra (EARTH) do megôhmetro no terminal a carcaça aterrada do transformador;
4. O cabo (GUARD) do megôhmetro no terminal de alta tensão do transformador (H1, H2 e H3), um de cada vez. Na Figura 53 é apresentado um diagrama de conexão do megôhmetro ao transformador para o ensaio de resistência de isolamento entre a carcaça e o enrolamento de baixa tensão do transformador.
5. Após finalizar as conexões injetar uma tensão de 10 kV em corrente contínua através do megôhmetro durante um período de tempo;
6. Em seguida anotar os resultados aferido na folha de inspeção.



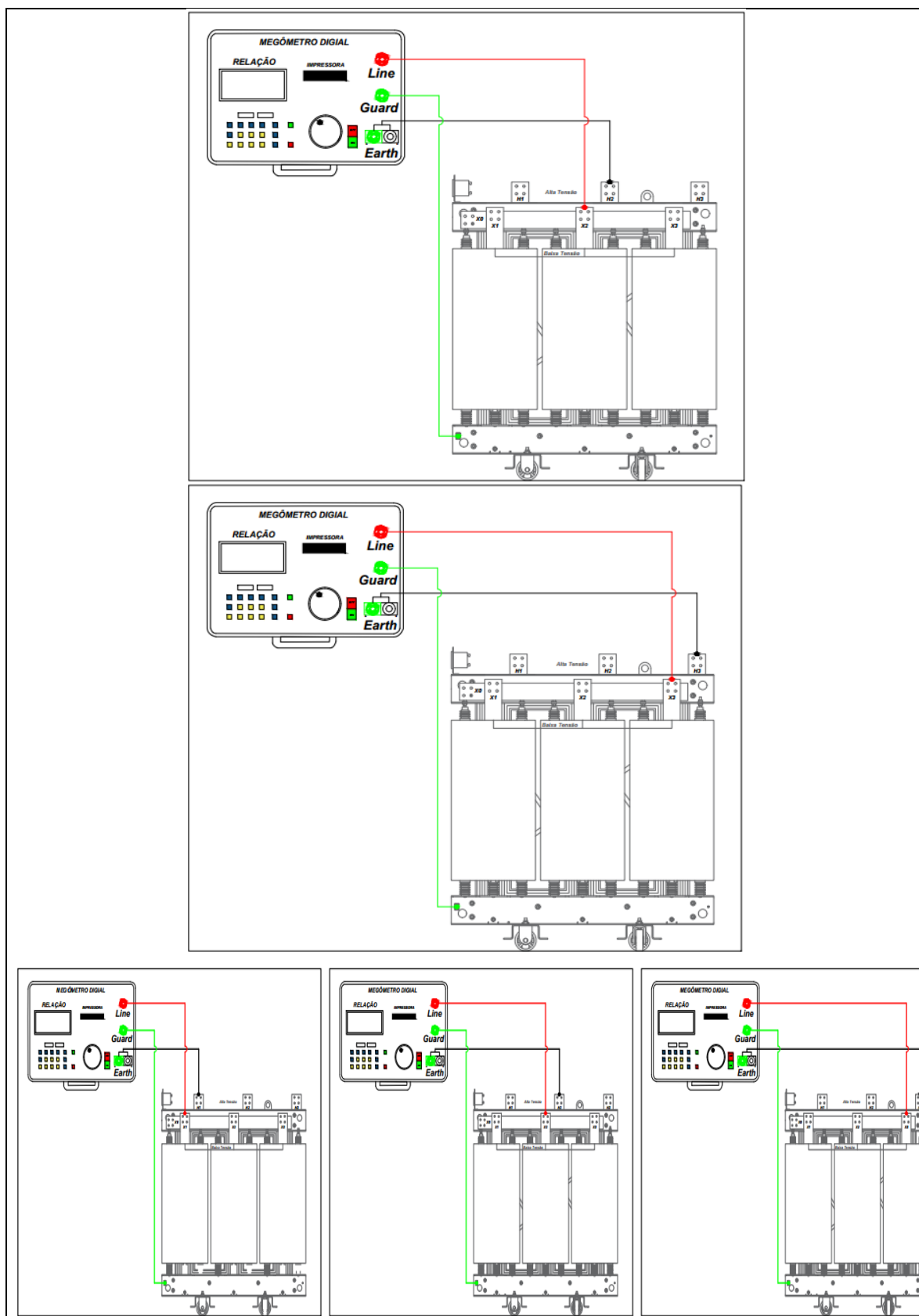


Figura 53 - Ensaio de resistência de isolamento entre os contatos de baixa e a carcaça do transformador.

Fonte: (Próprio autor)

6.1.2. ENSAIO EM DISJUNTOR

O ensaio de resistência de isolamento realizado em disjuntores de média tensão por meio do uso do megôhmetro tem como objetivo principal verificar a integridade dos polos do disjuntor e dos isoladores. Nesse ensaio, é feita uma análise minuciosa para identificar possíveis fugas de corrente nos bastões de acionamento e nos isoladores em relação à massa, ou seja, à carcaça do equipamento.

O megôhmetro, ao aplicar uma tensão de corrente contínua nos componentes em teste, permite medir a resistência de isolamento, que é a capacidade do material isolante em evitar a passagem de corrente elétrica indesejada. Caso haja alguma falha na isolamento, ocorrerá uma fuga de corrente através dos bastões de acionamento e dos isoladores, indicando a necessidade de reparos ou substituição desses componentes.

Esse ensaio é fundamental para garantir o bom funcionamento do disjuntor e a segurança do sistema elétrico como um todo. Ao identificar possíveis falhas na isolamento, é possível tomar medidas corretivas adequadas, evitando riscos de curtos-circuitos, danos aos equipamentos e até mesmo acidentes graves.

Para executar o teste de resistência de isolamento, é de costume o emprego do megôhmetro. Essa análise visa avaliar o estado dos bastões de acionamento, bem como dos isoladores presentes nas entradas e saídas de cada fase. Além disso, o ensaio também permite verificar a qualidade da isolamento de cada polo do disjuntor, estabelecendo uma comparação entre a entrada e a saída.

I. – Ensaio de resistência de isolamento entre as fases do disjuntor.

Para a realização do ensaio de resistência de isolamento do polo do disjuntor de uma subestação de 13,8kV, é recomendado seguir os procedimentos abaixo:

7. Abrir os polos do disjuntor aberto;
8. Conectar o cabo de linha (LINE) do megôhmetro ao terminal de saída de uma das fases do disjuntor, este procedimento deve ser repetido para as três fases;
9. Conectar o cabo de terra (EARTH) do megôhmetro ao terminal de entrada da mesma fase escolhida no item anterior, este procedimento deve ser repetido para as três fases;

10. Conectar o cabo de GUARD do megôhmetro à massa do disjuntor. Na Figura 54 é apresentado um diagrama de conexão do megôhmetro ao disjuntor para o ensaio de resistência de isolação dos polos.
11. Após a conexão dos cabos injetar uma tensão de 10 kV em corrente contínua através do megôhmetro durante um período de tempo;
12. Em seguida anotar os resultados aferido na folha de inspeção.

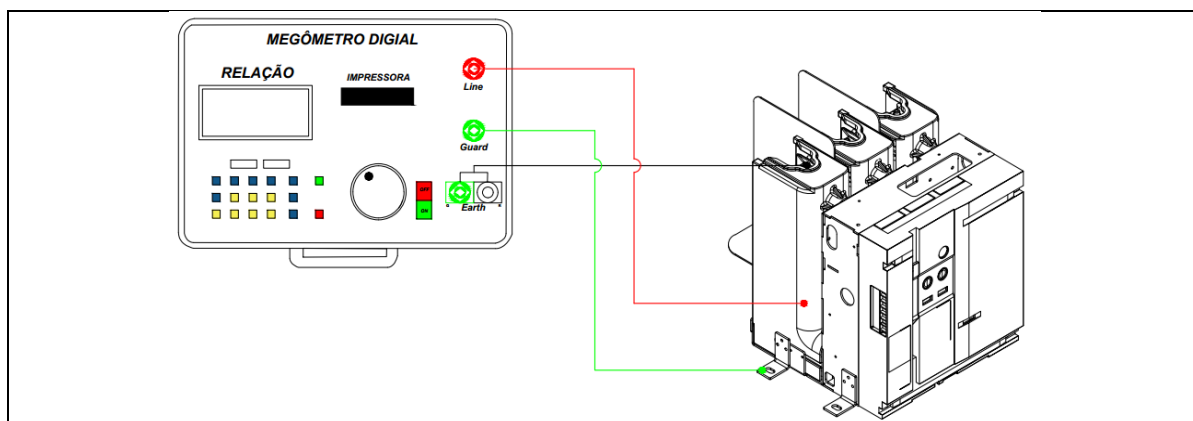


Figura 54 - Ensaio de resistência de isolação dos polos do disjuntor.

Fonte: (Próprio autor)

II. – Ensaio de resistência de isolação entre fase pela massa do equipamento.

Para a realização do ensaio de resistência de isolamento dos isoladores do disjuntor de uma subestação de 13,8kV usa-se o megôhmetro, respeitando a os procedimentos a seguir:

1. Fechar os polos do disjuntor;
2. Conectar o cabo de linha (LINE) do megôhmetro ao terminal de saída de uma das fases do disjuntor, este procedimento deve ser repetido para as três fases;
3. Conectar o cabo de terra (EARTH) do megôhmetro à massa do disjuntor. Na Figura 55 é apresentado um diagrama de conexão do megôhmetro ao disjuntor para o ensaio de resistência de isolação dos isoladores;
4. Após a conexão dos cabos injetar uma tensão de 10 kV em corrente contínua através do megôhmetro durante um período de tempo.

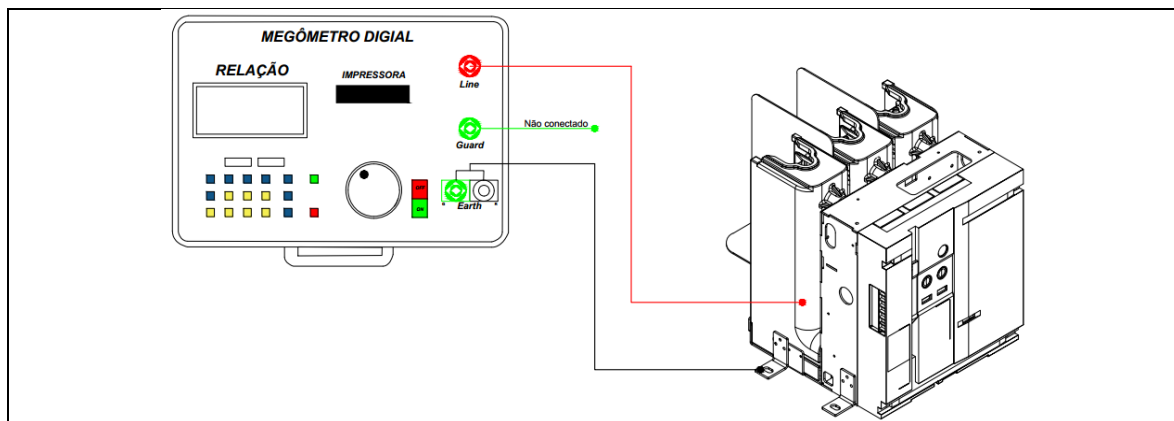


Figura 55 - Ensaio de resistência de isolamento dos isoladores do disjuntor.

Fonte: (Próprio autor)

6.1.3. ENSAIO EM CHAVE SECCIONADORA

O ensaio de resistência de isolamento realizado em chave seccionadora de média tensão por meio do uso do megômetro tem como objetivo principal verificar a qualidade da isolamento dos componentes da chave. Nesse ensaio, são realizados dois testes distintos: o primeiro é entre as fases da chave seccionadora e o segundo é entre cada fase e a carcaça do equipamento.

No teste de resistência de isolamento entre as fases, o megômetro é utilizado para aplicar uma tensão de corrente contínua nas conexões entre as fases da chave seccionadora. Através dessa aplicação de tensão, é possível medir a resistência de isolamento entre as fases, verificando se há alguma fuga de corrente indesejada que possa comprometer o funcionamento adequado da chave.

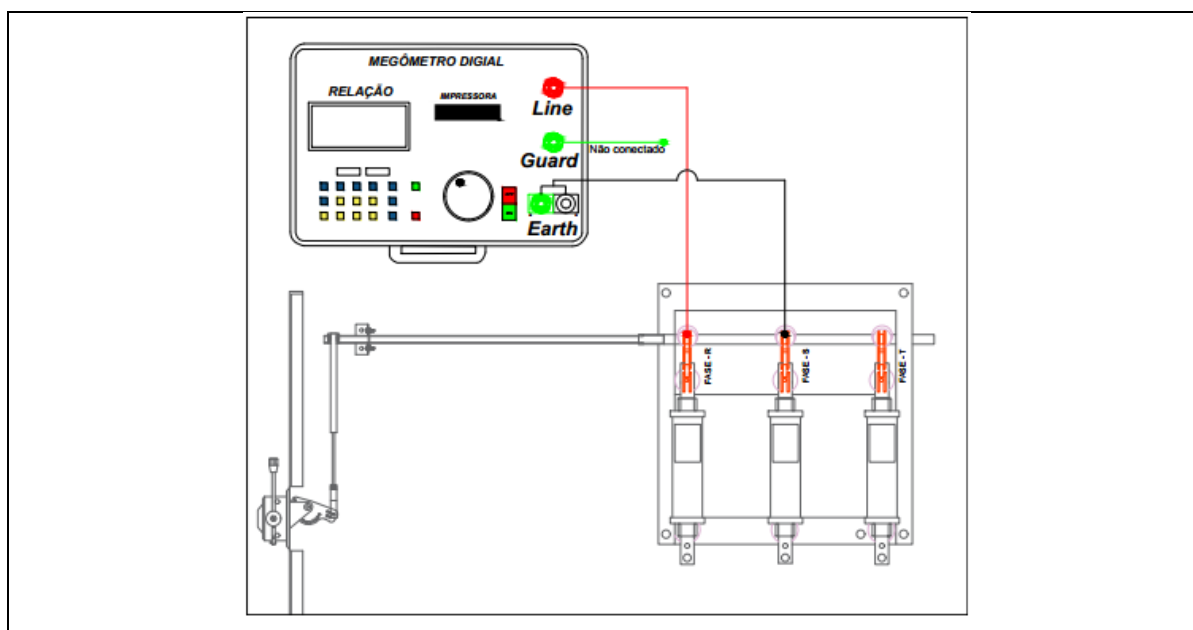
Já no teste de resistência de isolamento entre cada fase e a carcaça, o megômetro é utilizado para aplicar uma tensão de corrente contínua entre cada fase da chave seccionadora e a carcaça do equipamento. Esse teste tem como objetivo identificar possíveis falhas de isolamento que possam gerar correntes indesejadas entre as fases e a carcaça, o que pode resultar em danos aos equipamentos ou riscos para a segurança dos operadores.

Durante esses ensaios, é verificado se há fuga de corrente nos bastões de acionamento e nos isoladores em relação à massa, ou seja, à carcaça do equipamento. Caso sejam detectadas falhas na isolamento que resultem em correntes indesejadas, é indicado realizar reparos ou substituir os componentes defeituosos para garantir o bom funcionamento da chave seccionadora e a segurança do sistema elétrico. Esses ensaios são realizados com a chave seccionadora fechada.

I. – Ensaio de resistência de isolação entre as fases da chave seccionadora.

Para o teste de resistência de isolamento na chave seccionadora de uma subestação com tensão nominal de 13,8kV, para realizar a verificação entre cada uma das fases, deve-se seguir as etapas descritas abaixo:

1. Realizar os ensaios com as lâminas da chave seccionadora fechada;
2. No contato da chave seccionadora conectar o cabo de linha (LINE), realizar os mesmos procedimentos intercalando entre as três fases;
3. Em outro contato da chave seccionadora conectar o cabo de linha (EARTH), realizar os mesmos procedimentos intercalando entre as três fases. Na Figura 56 é apresentado um diagrama de conexão do megôhmetro à chave seccionadora para o ensaio de resistência de isolação entre os bastões de uma chave seccionadora.
4. Após a conexão dos cabos injetar uma tensão de 10 kV em através do megôhmetro durante um período de tempo;
5. Em seguida anotar os resultados aferido na folha de inspeção.



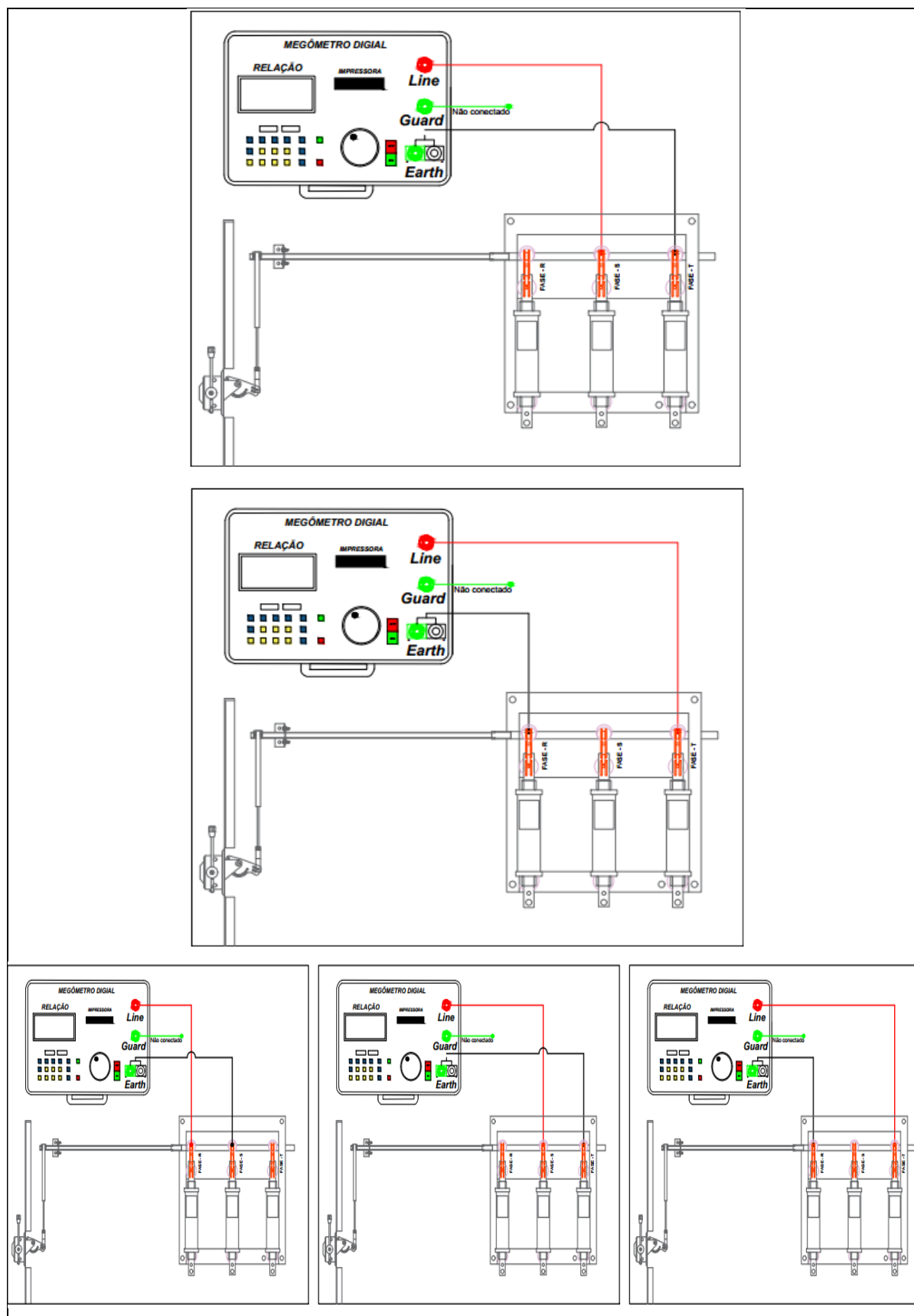


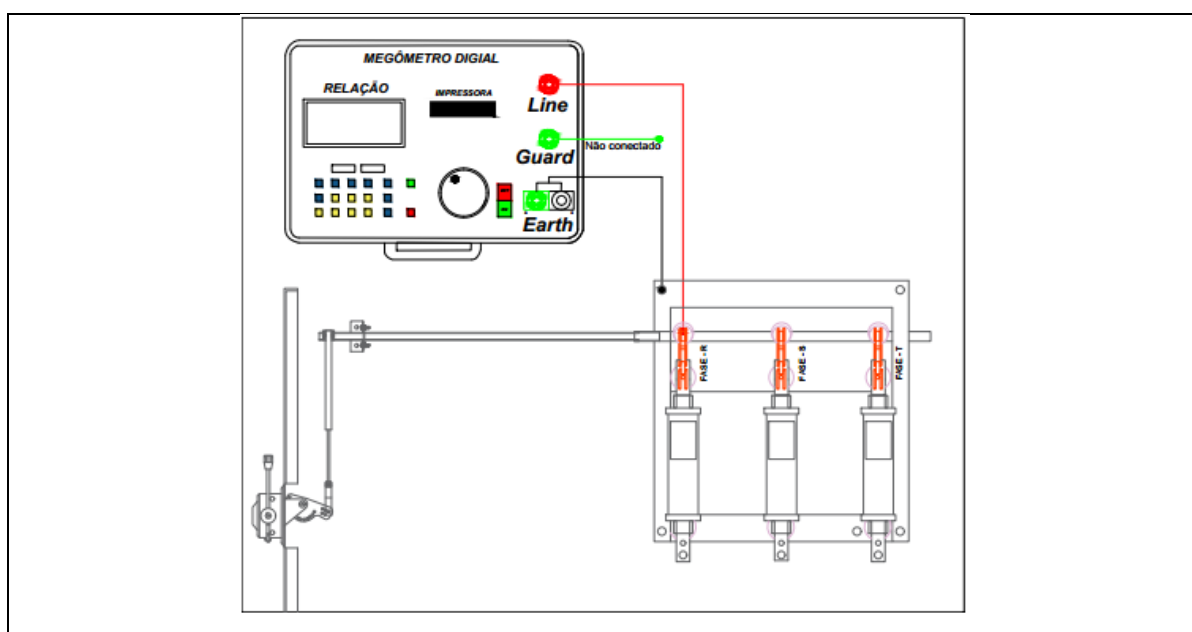
Figura 56 - Ensaio de resistência de isolamento entre os bastões de uma chave seccionadora.

Fonte: (Próprio autor)

II. – Ensaio de resistência de isolamento fase em relação a massa do equipamento.

Para efetuar o teste de resistência de isolamento na chave seccionadora de uma subestação com tensão nominal de 13,8kV, para realizar a verificação de cada fase em relação a massa do equipamento (carcaça), é indispensável seguir as etapas descritas abaixo:

1. Realizar os ensaios com as lâminas da chave seccionadora fechada;
2. No contato da chave seccionadora conectar o cabo de linha (LINE), realizar os mesmos procedimentos para as três fases;
3. Na massa (estrutura metálica) da seccionadora conectar o cabo de terra (EARTH), atentar para não conectar em um ponto com pintura, pois a pintura é isolante e pode interferir nos tentes realizados. Na Figura 57 é apresentado um diagrama de conexão do megôhmetro à chave seccionadora para o ensaio de resistência de isolamento em relação a massa.
4. Após a conexão dos cabos injetar uma tensão de 10 kV em através do megôhmetro durante um período de tempo;
5. Em seguida anotar os resultados aferido na folha de inspeção.



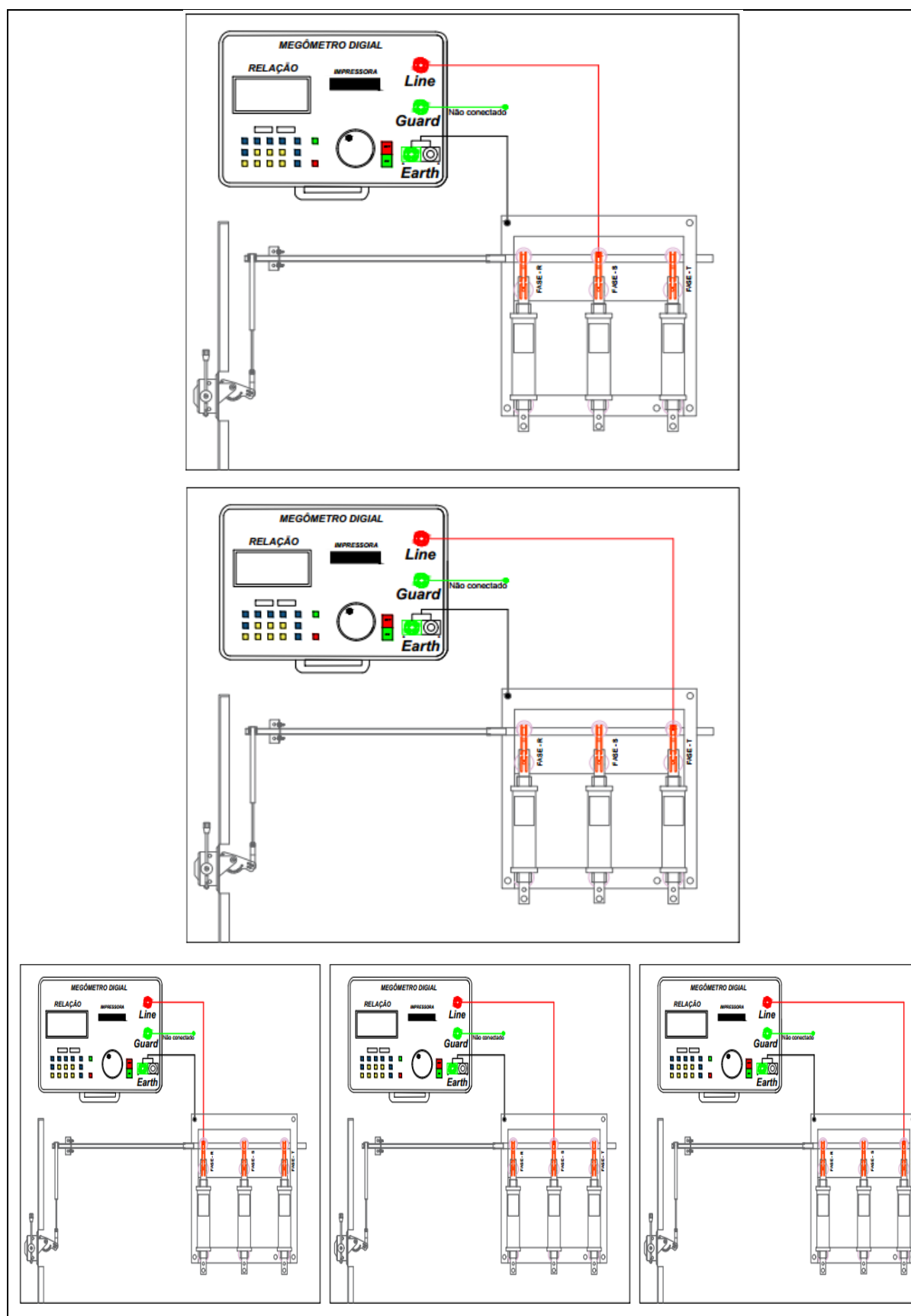


Figura 57 - Ensaio de resistência de isolamento em relação a massa.

Fonte: (Próprio autor)

Esses ensaios são importantes para assegurar a confiabilidade e a segurança do sistema elétrico, uma vez que a presença de fuga de corrente pode comprometer o desempenho e a eficiência energética da subestação.

6.1.4. ENSAIO EM MUFLA DE ISOLAÇÃO

O ensaio de resistência de isolamento em muflas de isolamento é realizado para verificar a integridade da isolamento das conexões e emendas dos cabos elétricos. A mufla de isolamento é um componente importante para garantir a continuidade e segurança do sistema elétrico.

Nesse ensaio, o equipamento utilizado é o megôhmetro, que permite medir a resistência de isolamento entre as partes condutoras e a mufla. O megôhmetro aplica uma tensão de corrente contínua nos terminais da mufla e mede a corrente de fuga que circula através da isolamento.

O procedimento para realizar o ensaio de resistência de isolamento em muflas de isolamento é o seguinte:

1. Desconectar a mufla de isolamento do sistema elétrico.
2. Conectar o cabo de linha (LINE) do megôhmetro ao terminal de entrada da mufla e o cabo de terra (EARTH) do megôhmetro à carcaça da mufla. A Figura 58 apresenta um diagrama de conexão do megôhmetro em mufla de isolamento para o ensaio de resistência de isolamento.
3. Aplicar uma tensão de ensaio adequada no megôhmetro, geralmente na faixa de 10 kV, dependendo da classe de tensão do sistema.
4. Registrar a leitura da resistência de isolamento indicada pelo megôhmetro.

O ensaio de resistência de isolamento em muflas de isolamento é fundamental para garantir a segurança e confiabilidade do sistema elétrico. Ao identificar falhas na isolamento, é possível tomar as medidas necessárias, como substituição ou reparo da mufla, evitando possíveis falhas elétricas e danos aos equipamentos e pessoas envolvidas.

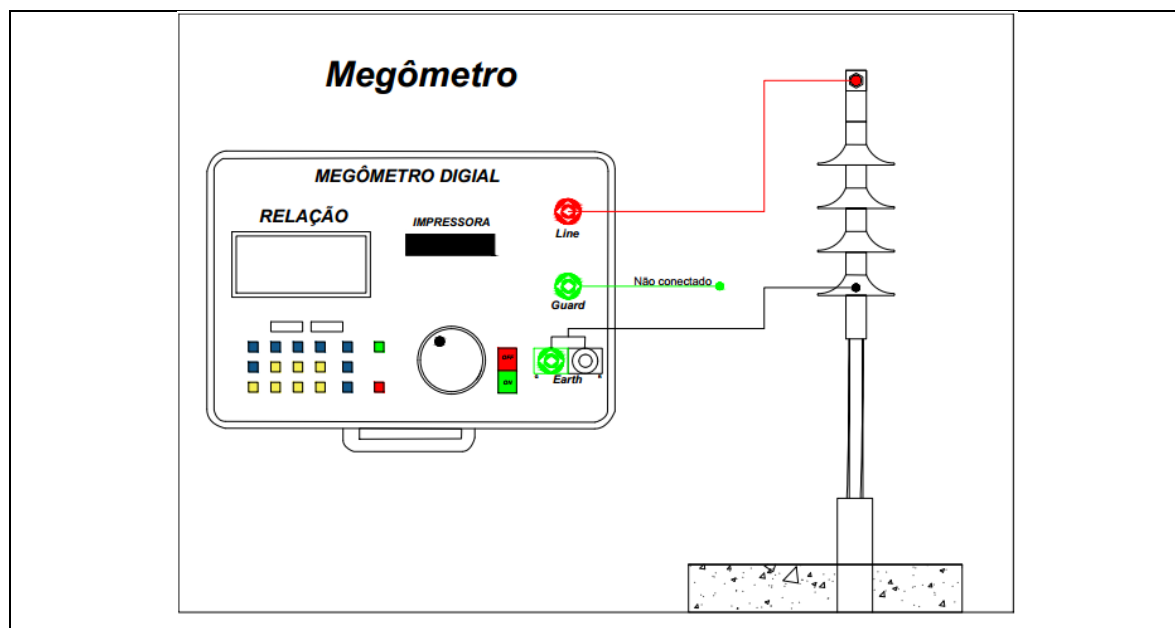


Figura 58 - Ensaio de resistência de isolamento de uma mufla de isolamento.

Fonte: (Próprio autor)

6.1.5. ENSAIO EM PARA-RAIO

O ensaio de resistência de isolamento em para-raios realizado com o uso do megômetro é essencial para verificar a integridade do sistema de isolamento do dispositivo. O objetivo principal desse ensaio é identificar possíveis falhas ou deteriorações na isolamento do para-raios, que podem comprometer seu desempenho e eficiência na proteção contra surtos elétricos.

Durante o ensaio, o megômetro é utilizado para aplicar uma tensão de corrente contínua no para-raios. Essa tensão é aplicada entre o terminal de linha (na parte superior) e o terminal de aterramento (na parte inferior) do para-raios. O megômetro mede a resistência de isolamento do dispositivo, ou seja, a resistência oferecida pelo isolante do para-raios ao fluxo de corrente.

Ao aplicar a tensão, o megômetro verifica se há alguma fuga de corrente indesejada através do isolante do para-raios em relação à massa (carcaça do equipamento). Essa fuga de corrente pode ocorrer tanto pela superfície do material isolante quanto pelo próprio isolante. O megômetro é capaz de detectar essas correntes de fuga e fornecer uma leitura precisa da resistência de isolamento do para-raios.

O ensaio de resistência de isolamento em para-raios com o uso do megômetro é fundamental para garantir a confiabilidade e a eficácia do dispositivo na proteção contra sobretensões. Caso sejam encontradas resistências de isolamento muito baixas ou correntes de fuga significativas, pode ser indicativo de problemas no isolamento do para-raios, como sujeira,

umidade, danos ou desgaste do material isolante. Nesses casos, é importante realizar as devidas inspeções, manutenções ou substituições necessárias para garantir o funcionamento adequado do para-raios e a segurança do sistema elétrico.

Durante a realização do ensaio de resistência de isolamento do para-raios em uma subestação abrigada de 13,8 kV, é necessário seguir os procedimentos a seguir:

1. Desconectar a entrada do para-raios do barramento.
2. Conectar o cabo de linha (LINE) do megôhmetro ao terminal de linha (parte superior) do para-raios.
3. Conectar o cabo de terra (EARTH) do megôhmetro ao terminal de aterramento (parte inferior) do para-raios. A Figura 59 apresenta um diagrama de conexão do megôhmetro ao para-raios para o ensaio de resistência de isolamento.
4. Após a conexão dos cabos, injetar uma tensão de 10 kV em através do megôhmetro por um período de tempo.
5. Em seguida, anotar os resultados obtidos na folha de inspeção.

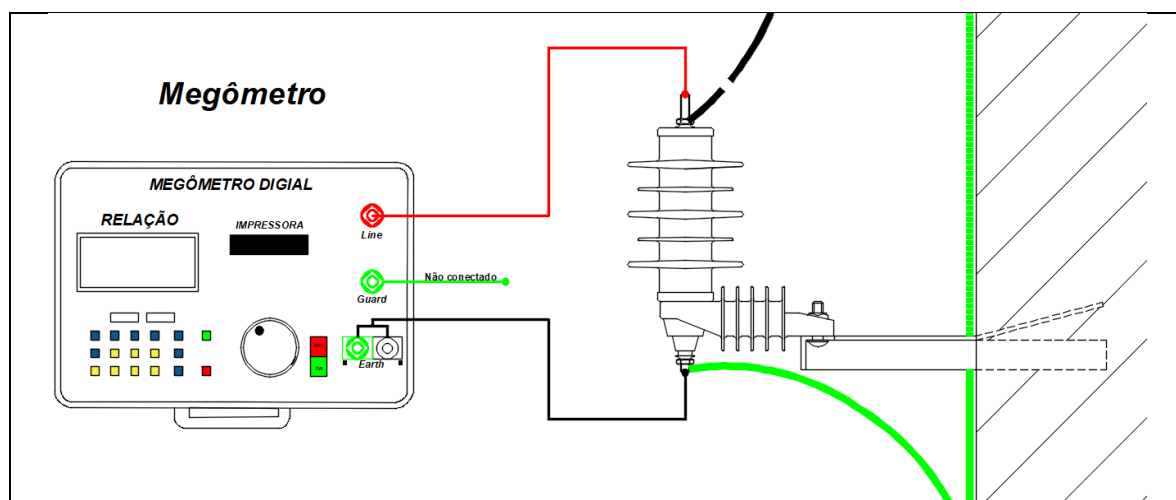


Figura 59 - Diagrama de ensaio em para-raios.

Fonte: (Próprio autor)

6.2 – TESTE DE RESISTÊNCIA DE CONTATO

A realização dos testes de resistência de contato em equipamentos de uma subestação elétrica, como disjuntores e chave seccionadora, é de suma importância para garantir o bom funcionamento e a segurança do sistema elétrico. Esses testes são realizados com o auxílio de um aparelho específico chamado micro-ohmímetro.

A resistência de contato refere-se à medida da resistência elétrica entre as partes condutoras de um equipamento quando este está fechado. É essencial que essa resistência seja mínima, pois uma alta resistência de contato pode resultar em perdas de energia, aquecimento excessivo, mau funcionamento e até mesmo falhas no sistema elétrico.

A resistência de contato em disjuntores e chave seccionadora é um parâmetro crítico a ser avaliado, uma vez que falhas nesses componentes podem comprometer a operação adequada do sistema elétrico. Por isso, a realização dos testes de resistência de contato se torna fundamental para identificar possíveis problemas e tomar as devidas providências antes que ocorram danos maiores.

O aparelho utilizado para a realização desses testes é o micro-ohmímetro, que é capaz de medir a resistência elétrica em valores muito baixos, da ordem de micro-ohms. Essa precisão é necessária para detectar variações mínimas na resistência de contato, que podem indicar desgaste, oxidação ou outros problemas nos terminais e conexões dos equipamentos.

Os testes de resistência de contato devem ser realizados com a chave seccionadora ou o disjuntor fechado, pois é nessa condição que a resistência de contato é medida de forma mais precisa. O micro-ohmímetro é conectado nos terminais de entrada e saída do equipamento, e uma corrente de valor conhecido é aplicada. O aparelho registra a queda de tensão resultante e calcula a resistência de contato.

A partir dos valores obtidos nos testes de resistência de contato, é possível avaliar se os equipamentos estão dentro dos limites aceitáveis. Normas técnicas, como a (“INTERNATIONAL STANDARD NORME INTERNATIONALE IEC 62271-100”, 2008), estabelecem critérios e limites para a resistência de contato em diferentes tipos de equipamentos elétricos.

Realizar os testes de resistência de contato de forma regular e sistemática é crucial para garantir a operação confiável e segura da subestação elétrica. Ao identificar e corrigir problemas de resistência de contato, evita-se a ocorrência de falhas no sistema elétrico, reduzindo riscos de interrupções no fornecimento de energia e potenciais danos aos equipamentos e às pessoas envolvidas.

Portanto, a realização dos testes de resistência de contato em equipamentos de uma subestação elétrica, utilizando o micro-ohmímetro, é uma prática indispensável para manter a eficiência e a confiabilidade do sistema elétrico, contribuindo para a segurança operacional e a qualidade do fornecimento de energia elétrica.

6.2.1. ENSAIO EM DISJUNTOR

A realização dos testes de resistência de contato em disjuntores de média tensão em subestações elétricas desempenha um papel fundamental na garantia da eficiência e confiabilidade do sistema elétrico. Esses testes, que são realizados utilizando o aparelho micro-ohmímetro, têm como objetivo principal verificar a integridade dos contatos elétricos presentes nos disjuntores, uma vez que a resistência de contato inadequada pode resultar em falhas operacionais e até mesmo em danos irreparáveis.

Os disjuntores são dispositivos responsáveis por interromper ou desviar a corrente elétrica em situações de sobrecarga, curto-circuito ou outras anormalidades no sistema elétrico. Sendo assim, é crucial que esses equipamentos estejam em pleno funcionamento, garantindo a segurança e estabilidade do sistema como um todo.

Durante a operação dos disjuntores, é natural que ocorra um desgaste gradual dos contatos elétricos devido à passagem de corrente elétrica e ao processo de abertura e fechamento dos circuitos. Esse desgaste pode levar a um aumento na resistência de contato, resultando em problemas como aquecimento excessivo, arcos elétricos, perdas de energia e até mesmo a falha do dispositivo.

A resistência de contato deve ser monitorada periodicamente para garantir o desempenho adequado dos disjuntores. Os testes de resistência de contato utilizando o micro-ohmímetro permitem avaliar a integridade dos contatos elétricos, identificar desgastes ou oxidações e tomar medidas preventivas antes que ocorram falhas críticas.

Para realizar o teste de resistência de contato, é necessário conectar o micro-ohmímetro aos terminais dos contatos principais do disjuntor. Em seguida, uma corrente de teste é aplicada através dos contatos e a queda de tensão resultante é medida pelo aparelho. Com base nesses valores, é possível calcular a resistência de contato.

Normas técnicas, como a (“INTERNATIONAL STANDARD NORME INTERNATIONALE IEC 62271-100”, 2008), estabelecem limites aceitáveis para a resistência de contato em disjuntores, levando em consideração a classificação de tensão e as especificações do fabricante. É importante ressaltar que esses limites devem ser estritamente seguidos, pois a não conformidade pode comprometer a operação segura dos disjuntores e, consequentemente, a estabilidade do sistema elétrico.

Para a realização do ensaio de resistência de contato do disjuntor de uma subestação abrigada de 13,8kV usa-se o micro-ohmímetro, respeitando a os procedimentos a seguir:

1. Deixar o disjuntor com seus polos fechados;

2. Nos contatos de entrada e saída da chave disjuntor conectar os cabos do micro-ohmímetro, este procedimento deve ser repetido para as três fases. Na Figura 60 é apresentado um diagrama de conexão do micro-ohmímetro ao disjuntor para o ensaio de resistência de contato dos polos.
3. Após a conexão dos cabos injetar uma corrente de 100 A através do micro-ohmímetro durante um determinado tempo;
4. Em seguida anotar os resultados aferido na folha de inspeção.

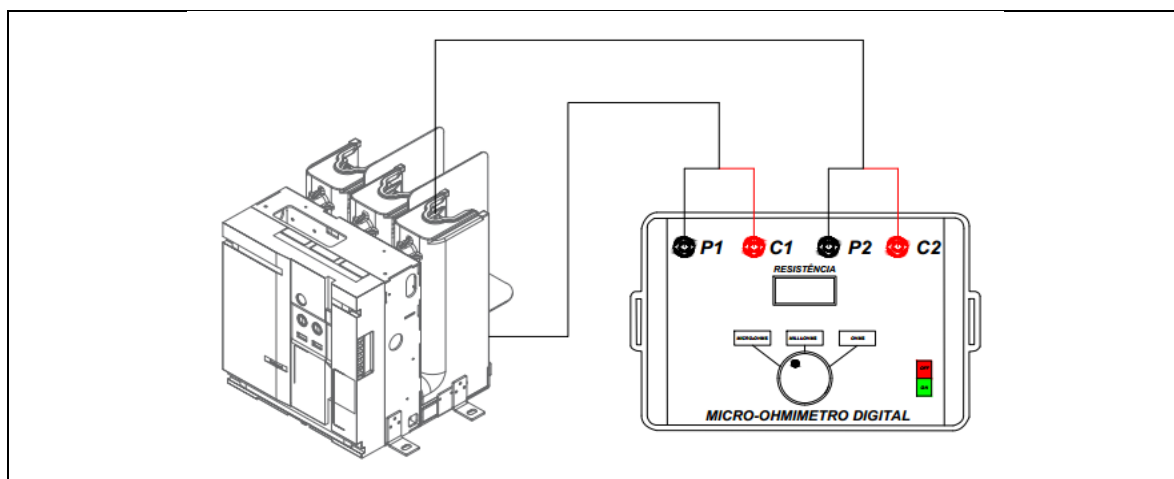


Figura 60 - Ensaio de resistência de contato do polo do disjuntor.

Fonte: (Próprio autor)

Através dos testes de resistência de contato, é possível detectar precocemente problemas nos contatos elétricos dos disjuntores, permitindo a realização de intervenções corretivas antes que ocorram falhas catastróficas. Além disso, esses testes contribuem para aumentar a vida útil dos equipamentos, reduzir custos de manutenção e garantir a confiabilidade do sistema elétrico.

6.2.2. ENSAIO EM CHAVE SECCIONADORA

A realização dos testes de resistência de contato em chaves seccionadoras de média tensão em subestações elétricas desempenha um papel crucial na garantia da operação confiável e segura do sistema elétrico. Esses testes, conduzidos com o auxílio do aparelho micro-ohmímetro, têm como objetivo principal verificar a integridade dos contatos elétricos presentes nas chaves seccionadoras, uma vez que uma resistência de contato inadequada pode resultar em falhas operacionais e até mesmo em danos irreversíveis.

As chaves seccionadoras são dispositivos essenciais para a operação e manutenção de subestações elétricas. Elas têm a função de interromper ou restabelecer o fluxo de corrente elétrica em circuitos desenergizados, possibilitando a execução de atividades de manutenção,

isolamento e transferência de cargas. Portanto, é imprescindível que essas chaves estejam em perfeito estado de funcionamento para garantir a continuidade do fornecimento de energia elétrica e a segurança dos operadores e equipamentos envolvidos.

Ao longo do tempo, devido à passagem de corrente elétrica e às condições ambientais, os contatos elétricos das chaves seccionadoras podem sofrer desgastes, oxidações e acúmulo de sujeira. Isso pode levar ao aumento da resistência de contato, resultando em problemas como aquecimento excessivo, arcos elétricos, perdas de energia e até mesmo falha da chave seccionadora.

É imprescindível monitorar regularmente a resistência de contato nas chaves seccionadoras, a fim de identificar possíveis problemas e tomar medidas corretivas oportunas. Os testes de resistência de contato utilizando o micro-ohmímetro são uma ferramenta essencial nesse processo, permitindo a avaliação precisa dos contatos elétricos e a detecção de qualquer anomalia.

Para realizar o teste de resistência de contato, é necessário conectar o micro-ohmímetro aos terminais dos contatos principais da chave seccionadora. Em seguida, uma corrente de teste é aplicada através dos contatos e a queda de tensão resultante é medida pelo aparelho.

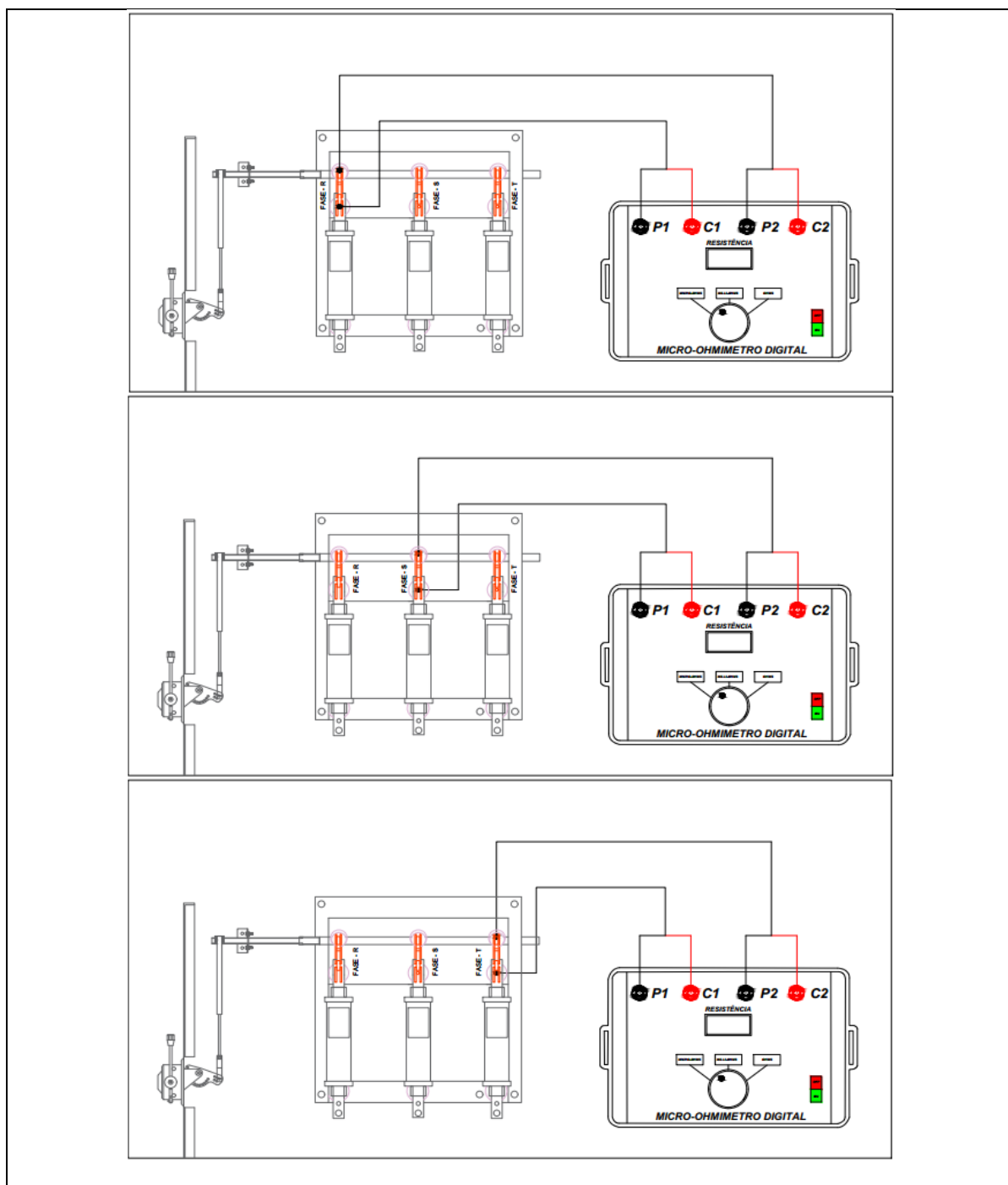
Normas técnicas, como a (“ABNT NBR IEC 62271-102”, 2006), estabelecem limites aceitáveis para a resistência de contato em chaves seccionadoras, levando em consideração a classificação de tensão e as especificações do fabricante. É crucial que esses limites sejam rigorosamente seguidos, uma vez que a não conformidade pode comprometer a operação segura das chaves seccionadoras e a integridade do sistema elétrico.

Através dos testes de resistência de contato, é possível identificar precocemente problemas nos contatos elétricos das chaves seccionadoras, permitindo a execução de ações corretivas antes que ocorram falhas críticas. Além disso, esses testes contribuem para aumentar a vida útil dos equipamentos, reduzir custos de manutenção e assegurar a confiabilidade do sistema elétrico como um todo.

Para a realização do ensaio de resistência de contato da chave seccionadora de uma subestação usa-se o micro-ohmímetro, respeitando os procedimentos a seguir:

1. Deixar as lâminas da chave seccionadora fechada;
2. Nos contatos de entrada e saída da chave seccionadora conectar os cabos do micro-ohmímetro, este procedimento deve ser repetido para as três fases. Na Figura 61 é apresentado um diagrama de conexão do micro-ohmímetro à chave seccionadora para o ensaio de resistência de contato.

3. Após a conexão dos cabos injetar uma corrente de 100 A através do micro-ohmímetro;
4. Em seguida anotar os resultados aferido na folha de inspeção.



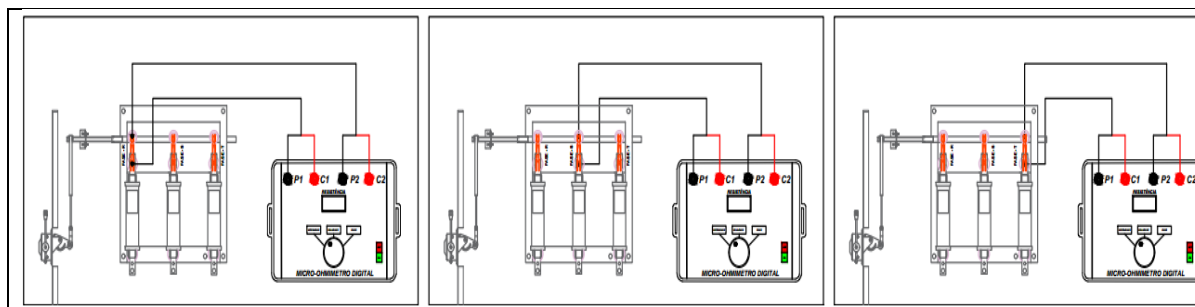


Figura 61 - Ensaio de resistência de contato da chave seccionadora.

Fonte: (Próprio autor)

Em síntese, a realização dos testes de resistência de contato em chaves seccionadoras de média tensão utilizando o micro-ohmímetro é uma prática indispensável para garantir a operação segura e confiável das subestações elétricas. Esses testes desempenham um papel fundamental na detecção precoce de problemas nos contatos elétricos, possibilitando a adoção de medidas corretivas adequadas.

6.3 – TESTE DE RELAÇÃO DE ESPIRAS EM TRANSFORMADORES

A realização do ensaio de teste de relação de espiras em transformadores durante as manutenções de subestação desempenha um papel fundamental na avaliação da integridade e desempenho desses equipamentos. Esse ensaio, conduzido com o auxílio do equipamento TTR (Transformer Turns Ratio), permite a verificação precisa da relação entre o número de espiras dos enrolamentos primário e secundário do transformador, fornecendo informações essenciais sobre seu estado operacional.

O ensaio de relação de espiras é amplamente reconhecido como um dos ensaios mais importantes na manutenção de transformadores, sendo uma ferramenta eficaz para identificar possíveis problemas, como curto-circuito entre espiras, falhas de isolamento ou danos nos enrolamentos. Esse ensaio também é utilizado para confirmar se a relação de espiras do transformador está de acordo com as especificações do projeto, garantindo o correto funcionamento e desempenho do equipamento.

Durante o ensaio, o equipamento TTR é conectado aos terminais do transformador, sendo responsável por analisar um dos enrolamentos e medir a tensão resultante no outro enrolamento. Com base nessas medições, é possível calcular a relação de espiras do transformador. Esse valor é comparado com as especificações do fabricante e normas técnicas.

A relação de espiras correta é crucial para garantir a transferência adequada de energia entre os enrolamentos do transformador e evitar perdas desnecessárias. Desvios significativos

na relação de espiras podem resultar em sobrecorrente, sobretensão, perdas excessivas ou até mesmo falha total do transformador. Portanto, a realização periódica do ensaio de relação de espiras é essencial para assegurar a operação segura e eficiente dos transformadores em uma subestação.

O ensaio de relação de espiras é um dos principais componentes dessas estratégias de manutenção, permitindo a detecção antecipada de possíveis falhas e a adoção de medidas corretivas antes que problemas mais graves ocorram.

Ter em mãos os dados de placa do transformador é importante antes de se realizar o ensaio, informações como tensão primária e secundária, tipo de ligação das bobinas, potência e data de fabricação dos equipamentos devem constar na folha de inspeção.

Após o ensaio, os resultados obtidos devem ser comparados com o resultado teórico, a fórmula a ser utilizada para o cálculo depende do tipo de ligação do primário e secundário, assim como da tensão dos dois lados do transformador. Na Figura 62 podemos observar as possíveis ligações presentes em um transformador e a maneira correta de realizar os testes, demonstrando o local exato de acoplamento da garra de teste do TTR no transformador para cada uma das três fases. Na Figura 63 é possível encontrar a fórmula matemática para comprovar o valor encontrado no ensaio explicado anteriormente, os tipos de ligação e as respectivas fórmulas utilizadas para o cálculo teórico de comparação com o ensaio.

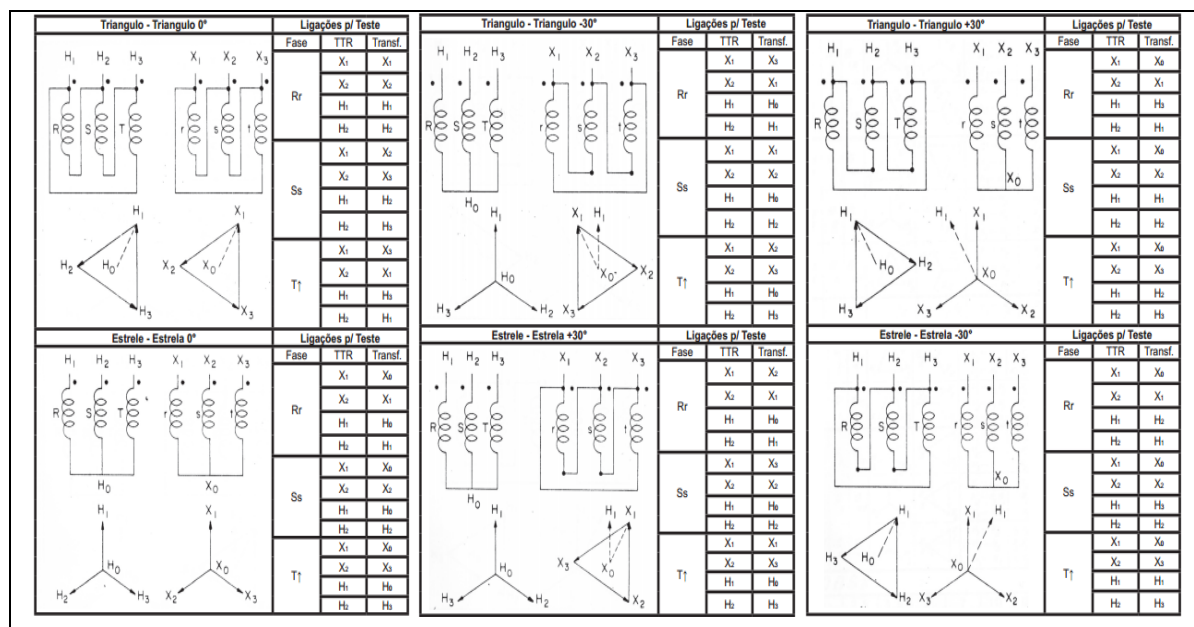


Figura 62 - Demonstrativo de ligação para testes de relação de espiras em diferentes ligações de transformadores.

Fonte: ((“Manual de Instruções - Medidor Digital de Relação de Transformação”, [s.d.]).)

I. – Ensaio de relação de transformação da fase Rr.

Para a realização do ensaio de relação de transformação na fase Rr do transformador é utilizado o equipamento TTR, respeitando os procedimentos a seguir:

1. Ter em mãos os dados de placa do transformador sob ensaio (tipo de ligação e tensão no primário e secundário);
2. Desenergizar o transformador e desconectar o cabo X0 que se conecta ao aterramento;
3. Conectar os cabos H1 e H2 do equipamento aos terminais de alta tensão do transformador (H3 e H1);
4. Conectar os cabos X1 e X2 do equipamento aos terminais de baixa tensão do transformador (X0 e X1). Na Figura 65 é apresentado um diagrama de conexão do TTR ao transformador para o ensaio de relação de transformação na fase Rr.
5. Após todas as conexões do instrumento nos terminais do transformador injetar uma tensão no primário do transformador;
6. Em seguida anotar os resultados aferido na folha de inspeção.

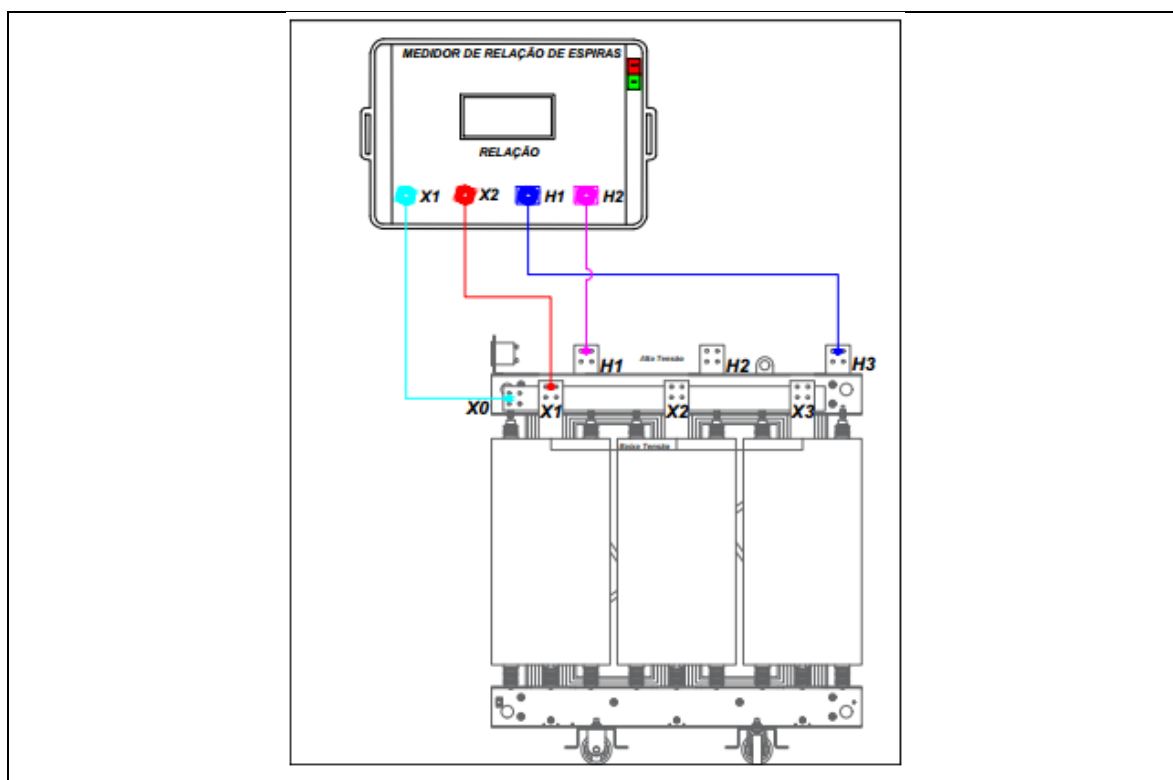


Figura 65 - Ensaio de relação de transformação na fase Rr do transformador.

Fonte: (Próprio autor)

II. – Ensaio de relação de transformação da fase Ss.

Para a realização do ensaio de relação de transformação na fase Ss do transformador é utilizado o equipamento TTR, respeitando os procedimentos a seguir:

1. Ter em mãos os dados de placa do transformador sob ensaio (tipo de ligação e tensão no primário e secundário);
2. Desenergizar o transformador e desconectar o cabo X0 que se conecta ao aterramento;
3. Conectar os cabos H1 e H2 do equipamento aos terminais de alta tensão do transformador (H1 e H2);
4. Conectar os cabos X1 e X2 do equipamento aos terminais de baixa tensão do transformador (X0 e X2). Na Figura 66 é apresentado um diagrama de conexão do TTR ao transformador para o ensaio de relação de transformação na fase Rr.
5. Após todas as conexões do instrumento nos terminais do transformador injetar uma tensão no primário do transformador;
6. Em seguida anotar os resultados aferido na folha de inspeção.

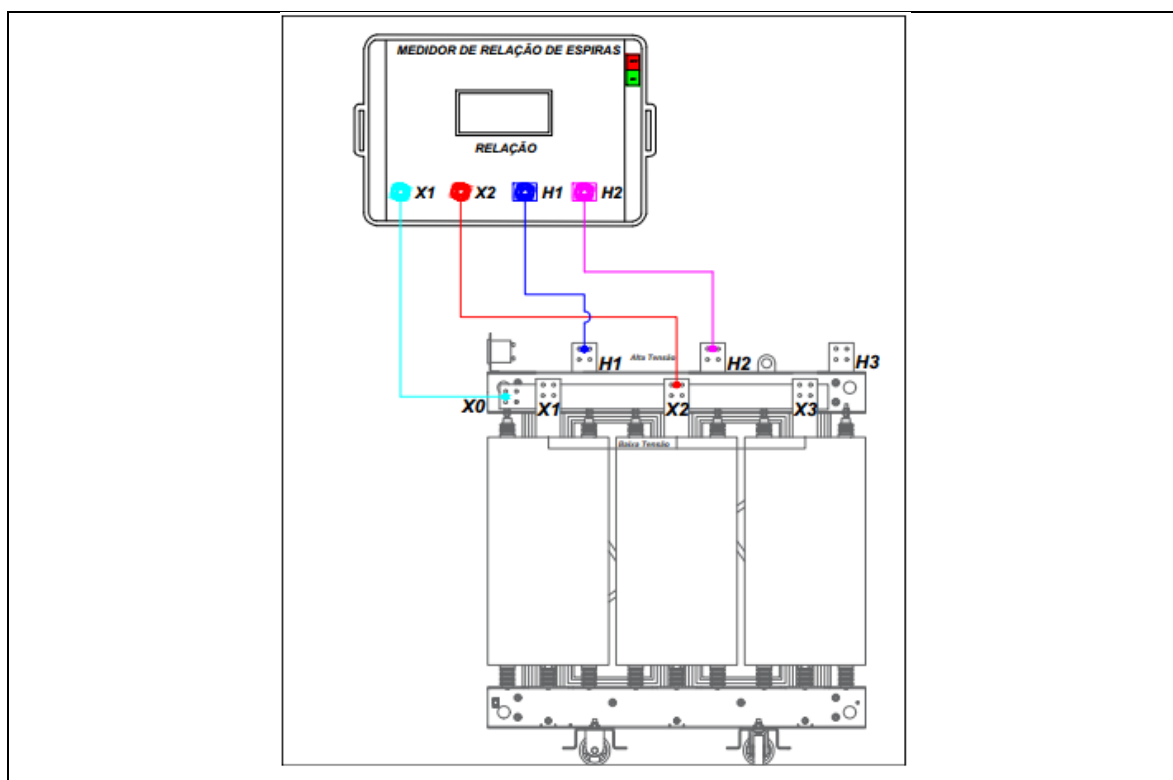


Figura 66 - Ensaio de relação de transformação na fase Ss do transformador.

Fonte: (Próprio autor)

III. – Ensaio de relação de transformação da fase Tt.

Para a realização do ensaio de relação de transformação na fase Tt do transformador é utilizado o equipamento TTR, respeitando os procedimentos a seguir:

1. Ter em mãos os dados de placa do transformador sob ensaio (tipo de ligação e tensão no primário e secundário);
2. Desenergizar o transformador e desconectar o cabo X0 que se conecta ao aterramento;
3. Conectar os cabos H1 e H2 do equipamento aos terminais de alta tensão do transformador (H2 e H3);
4. Conectar os cabos X1 e X2 do equipamento aos terminais de baixa tensão do transformador (X0 e X3). Na Figura 67 é apresentado um diagrama de conexão do TTR ao transformador para o ensaio de relação de transformação na fase Rr.
5. Após todas as conexões do instrumento nos terminais do transformador injetar uma tensão no primário do transformador;
6. Em seguida anotar os resultados aferido na folha de inspeção.

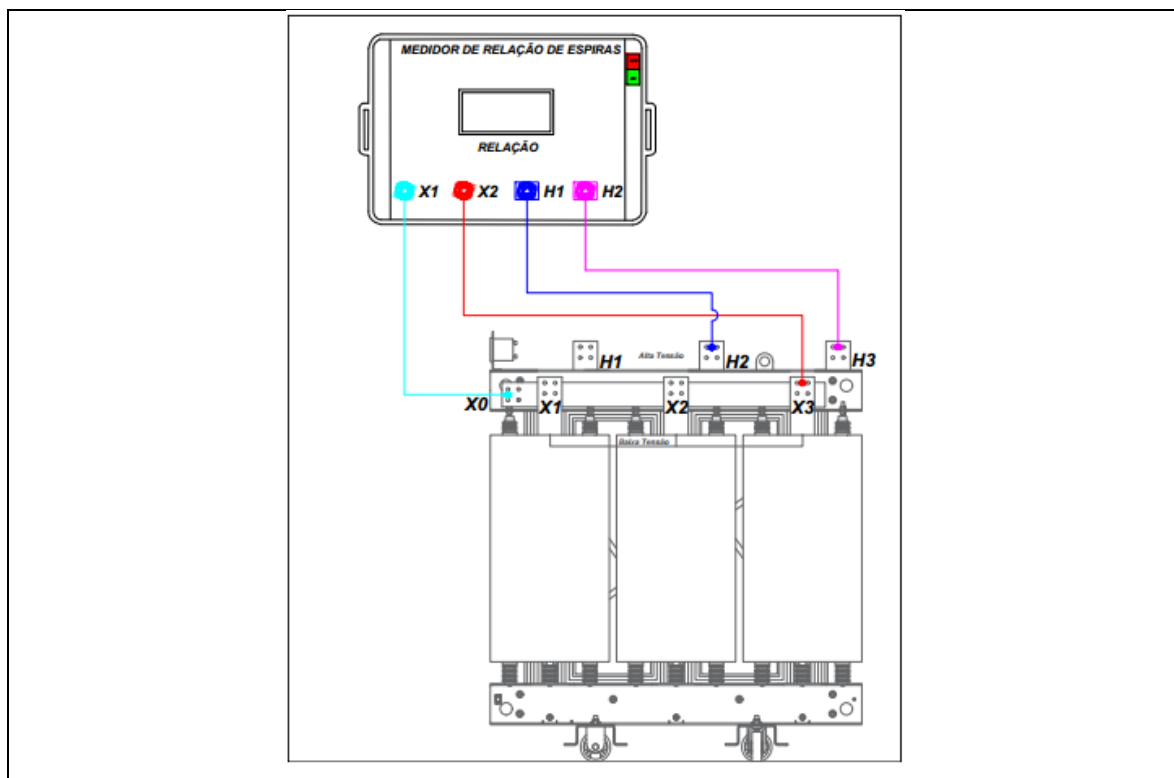


Figura 67 - Ensaio de relação de transformação na fase Tt do transformador.

Fonte: (Próprio autor)

Em conclusão, o ensaio de teste de relação de espiras em transformadores utilizando o equipamento TTR é uma prática essencial para garantir a integridade e o desempenho desses equipamentos em subestações elétricas. Esse ensaio fornece informações valiosas sobre a relação entre os enrolamentos, permitindo a identificação de possíveis falhas e a tomada de ações corretivas adequadas. Sua realização regular contribui para a segurança operacional, confiabilidade e eficiência energética das subestações.

7.0 – ESTUDO DE CASO DE UMA MANUTENÇÃO EM SUBESTAÇÃO DE MÉDIA E BAIXA TENSÃO

No presente estudo de caso, foram realizadas manutenções elétricas em diversas subestações de média e baixa tensão, com o objetivo de avaliar o estado e o desempenho dos equipamentos. Durante essas manutenções, foram conduzidos ensaios em transformadores, disjuntores, chaves seccionadoras, muflas e para-raios, visando coletar informações precisas sobre o funcionamento desses dispositivos.

Para avaliar a integridade dos transformadores, foram realizados os ensaios de resistência de isolamento e teste de relação de espiras. O ensaio de resistência de isolamento permitiu verificar a qualidade do isolamento entre os enrolamentos, bem como entre os enrolamentos e a carcaça. Valores confiáveis foram obtidos seguindo as normas técnicas e utilizando o equipamento apropriado, garantindo a precisão dos resultados. Já o teste de relação de espiras possibilitou determinar com exatidão a relação entre o número de espiras dos enrolamentos primário e secundário, assegurando a correta transferência de energia e evitando perdas desnecessárias.

Os disjuntores, essenciais para a proteção dos sistemas elétricos, também foram submetidos ao ensaio de resistência de isolamento e de contato. Esse teste verifica a qualidade dos contatos elétricos internos, identificando possíveis problemas, como pontos de aquecimento e resistências excessivas. Essas informações foram fundamentais para a identificação precoce de falhas e a adoção de medidas corretivas adequadas, visando garantir a confiabilidade e o desempenho dos disjuntores.

As chaves seccionadoras, responsáveis pela interrupção do fluxo de corrente elétrica em subestações, passaram por ensaios de resistência de contato e resistência de isolamento. A avaliação da resistência de contato permitiu verificar a qualidade dos contatos de abertura e fechamento das chaves, enquanto o ensaio de resistência de isolamento avaliou a integridade do isolamento desses dispositivos em relação à massa. A coleta de dados confiáveis e precisos nesses ensaios contribuiu para a manutenção adequada das chaves seccionadoras e a prevenção de falhas.

No que diz respeito às muflas, que são utilizadas em cabos para garantir a continuidade do isolamento, foram conduzidos ensaios de resistência de isolamento. Esses ensaios permitiram avaliar se havia fuga de corrente nas muflas, verificando a integridade do isolamento e prevenindo possíveis falhas elétricas.

Por fim, os para-raios, dispositivos de proteção contra sobretensões, foram submetidos ao ensaio de resistência de isolamento. Esse teste verificou a qualidade do isolamento dos para-raios em relação à massa (carcaça), identificando possíveis fugas de corrente e garantindo a eficiência desses dispositivos na proteção do sistema elétrico.

Os valores obtidos nos ensaios foram coletados em manutenções reais realizadas ao longo de anos pelo autor, seguindo procedimentos padronizados e normas técnicas vigentes. Esses valores foram compilados em tabelas confiáveis, apresentando informações precisas sobre o estado dos equipamentos avaliados. Essa abordagem sistemática de manutenção, baseada em ensaios de resistência de isolamento, resistência de contato e teste de relação de espiras, em conjunto com a coleta de dados contribuiu para a identificação precoce de problemas, a garantia de uma maior vida útil dos equipamentos e a operação segura e eficiente da subestação elétrica em estudo.

A seguir será apresentado os valores dos ensaios coletados, em forma de Figuras e Tabelas, demonstrando os resultados obtidos nos ensaios nos equipamentos analisados. A Tabela 04 demonstra o Checklist a ser realizados em uma manutenção de subestações, nos aspectos estruturais e de limpeza do ambiente e dos equipamentos pertencentes a mesma, como forma de assegurar o melhor desempenho em ambos.

CHECKLIST SUBESTAÇÃO		
Data:	Temperatura Ambiente:	Condições Climáticas:
	°C	
AVALIAÇÃO GERAL DO LOCAL		
ATIVIDADE	AVALIAÇÃO	OBSERVAÇÕES
Limpeza geral da área e Estado de conservação.		
Iluminação		
Paredes		
Piso		
Grade de isolamento		
Transformadores de potência		
TP's		
TC's		
Disjuntores		
Barramentos		
Luz de Emergência		
Isolação dos cabos de força		
Ligação à terra dos painéis / Equipamentos		
Extintor		
Tapete Isolante		
Placa de Advertência Seccionadora		
Conexões dos cabos de força		
Para Raio		
Muflas		
Identificação das Seccionadoras das SE's		

TABELA 4 - Checklist a ser realizados em uma manutenção de subestações.

Fonte: (Próprio autor)

7.1 – ESTUDO DE PROVA - TRANSFORMADOR

O estudo de prova em transformadores de média tensão é uma etapa fundamental para verificar a integridade e o desempenho desses equipamentos essenciais em sistemas elétricos. Durante esse estudo, são coletadas informações importantes sobre as características estruturais dos transformadores, como as indicadas nas placas de identificação, e também são realizados ensaios de resistência de isolamento e de relação de espiras.

As características estruturais informadas nas placas de identificação dos transformadores, como potência nominal, tensões primária e secundária, correntes nominais e demais dados técnicos, fornecem uma base para compreender as especificações do equipamento em questão, como demonstrado nas Tabelas 05, 09, 13 e 17. Essas informações são fundamentais para avaliar se o transformador está adequado às demandas do sistema elétrico e se atende aos requisitos de projeto.

A verificação visual dos componentes que integral um transformador é de suma importância, pois deve ser analisado a conexões, aterramento, pintura, limpeza e vários outros aspectos deste equipamento, como demonstrado nas Tabelas 06, 10, 14 e 18 que é um checklists a ser preenchido junto ao equipamento para a analisar o estado físico do transformador.

Os ensaios de resistência de isolamento e de relação de espiras são conduzidos para obter informações mais detalhadas sobre o estado do transformador. O ensaio de resistência de isolamento verifica a qualidade do isolamento entre os enrolamentos do transformador e a carcaça, bem como entre os próprios enrolamentos, como demonstrado nas Tabelas 07, 11, 15 e 19. É essencial para identificar possíveis falhas no isolamento que podem comprometer o desempenho do transformador e representar riscos de segurança.

Por sua vez, o ensaio de relação de espiras permite determinar a relação entre o número de espiras nos enrolamentos primário e secundário do transformador, como demonstrado nas Tabelas 08, 12, 16 e 20. Esse ensaio é crucial para verificar se a relação de transformação do equipamento está de acordo com as especificações de projeto. Valores incorretos da relação de espiras podem resultar em perdas de energia, mau funcionamento do transformador e afetar a qualidade do fornecimento de energia elétrica.

A análise dos resultados dos ensaios de resistência de isolamento e de relação de espiras é realizada de forma minuciosa, considerando os valores obtidos em comparação com os limites estabelecidos por normas e regulamentos técnicos aplicáveis.

ESTUDO DE PROVA 01 -TRANSFORMADOR 750 KVA	
Fabricante: FOCKINK	Potência: 750 KVA
Nº de Série: 11282	Ligação: Δ/Y
Tipo: TTO – F	Corrente Nominal: 1140 A
Tensão Primária: 13,8 KV	Tensão Secundária: 380/220 V
Tipo do óleo isolante: B	Ano de Fabricação: 11/1990
Impedância: 4,6141%	Volume de óleo: 600 L

TABELA 5 - Informações de placa do transformador do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 68 - Transformador de 750 KVA e sua placa de informação.

Fonte: (Acervo do autor)

ITEM INSPECIONADO	RESULTADO	ITENS INSPECIONADO	RESULTADO
Vazamentos	C	Aleta de Circulação	A
Válvula de Segurança	A	Válvula do Radiador	C
Termômetro	C	Buchas	A
Nível de óleo	A	Painel	A
Buchholz	C	Conexões	A
Pintura	A	Aterramento	A
Limpeza	A	Manômetros	C
Desumidificador	C	Comutador de Tape	E
Ventiladores	C	Tanque de Expansão	C

Legenda
(A) Em ordem
(B) Com problemas
(C) Não tem
(D) Não aplicável
(E) Não inspecionado

TABELA 6 - Checklist de inspeção em transformadores de média tensão.

Fonte: (Próprio autor)

Ao final do estudo de prova 01, está comprovado através dos resultados obtidos e das análises realizadas que o transformador está em boas condições de funcionamento, pois como visto na Tabela 07 e Gráfico 01 os valores de resistência de isolação estão satisfatórios, devido ao fato das medições estarem acima do valor mínimo exigido que é 20 M Ω , o mesmo pode ser considerado para o teste de relação de espiras do transformador, como demonstrado na Tabela 08 e Gráfico 02, em que é possível visualizar que os valores de transformação estão dentro da margem de tolerância de 5% para mais ou para menos, portanto atendendo aos requisitos de segurança e desempenho estabelecidos.

7.1.1. Estudo de Prova 01 - Resistência de Isolação Transformador 750 KVA

	Tensão Aplicada	Valor Medições do Transformador			Tolerância de Aprovação
		H1	H2	H3	
AT X CARCAÇA	10 KV	24 GΩ	23,8 GΩ	23,6 GΩ	$\geq 20 \text{ M}\Omega$
AT X BT	10 KV	23 GΩ	24,1 GΩ	24,1 GΩ	$\geq 20 \text{ M}\Omega$
BT X CARCAÇA	10 KV	398 MΩ	399 MΩ	398 MΩ	$\geq 20 \text{ M}\Omega$

TABELA 7 - Valores do ensaio de resistência de isolação transformador 750 KVA.

Fonte: (Próprio autor)

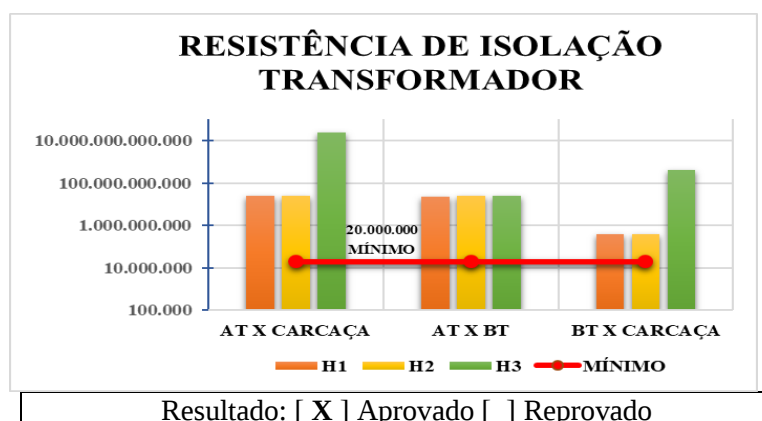


Gráfico 1 - Resistência de isolação transformador 750KVA.

Fonte: (Próprio autor)

7.1.2. Estudo de Prova 01 - Teste de Relação de Espiras Transformador 750 KVA

TAP AJUSTE	TOLERÂNCIA DE APROVAÇÃO	H1	H2	H3
13.8 KV	Aproximadamente 5%	62.2	62.1	62.4

TABELA 8 - Valores do ensaio de relação de transformação do transformador 750 KVA.

Fonte: (Próprio autor)

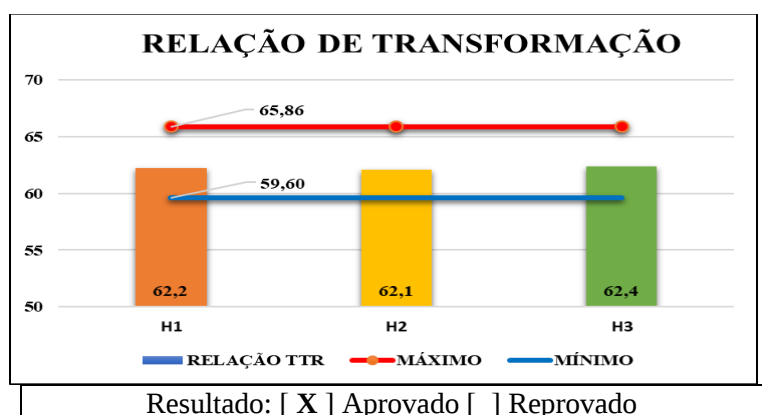


Gráfico 2 – Relação de transformação das bobinas do transformador 750 KVA.

Fonte: (Próprio autor)

ESTUDO DE PROVA 02 -TRANSFORMADOR 1.500 KVA	
Fabricante: COMTRAFO	Potência: 1500 KVA
Nº de Série: 78220101	Ligação: Δ/Y
Tipo: R-3 1500	Corrente Nominal: 2280 A
Tensão Primária: 13,8 KV	Tensão Secundária: 380/220 V
Peso: 3400 KG	Ano de Fabricação: 12/2013
Impedância: 5,75 %	Volume de óleo: À SECO

TABELA 9 - Informações de placa do transformador do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)

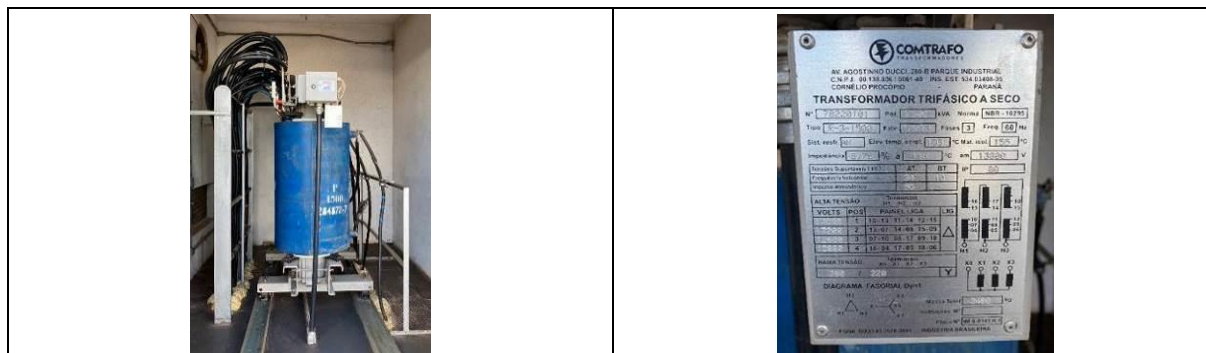


Figura 69 - Transformador de 1.500 KVA e sua placa de informação.

Fonte: (Acervo do autor)

ITEM INSPECIONADO	RESULTADO	ITENS INSPECIONADO	RESULTADO
Vazamentos	D	Aleta de Circulação	D
Válvula de Segurança	D	Válvula do Radiador	D
Termômetro	D	Buchas	D
Nível de óleo	D	Painel	A
Buchholz	D	Conexões	A
Pintura	A	Aterramento	A
Limpeza	A	Manômetros	D
Desumidificador	D	Comutador de Tape	A
Ventiladores	C	Tanque de Expansão	D

Legenda
(A) Em ordem
(B) Com problemas
(C) Não tem
(D) Não aplicável
(E) Não inspecionado

TABELA 10 - Checklist de inspeção em transformadores de média tensão.

Fonte: (Próprio autor)

Ao final do estudo de prova 02, está comprovado através dos resultados obtidos e das análises realizadas que o transformador não está em total condições de funcionamento, pois como visto na Tabela 11 e Gráfico 03 os valores de resistência de isolamento estão satisfatórios, devido ao fato das medições estarem acima do valor mínimo exigido que é 20 M Ω , porém o mesmo não pode ser considerado para o teste de relação de espiras do transformador, como demonstrado na Tabela 12 e Gráfico 04, em que é possível visualizar que os valor de

transformação de H1 não está dentro da margem de tolerância de 5% para mais ou para menos, portanto não está atendendo aos requisitos de segurança e desempenho estabelecidos.

7.1.3. Estudo de Prova 02 - Resistência de Isolação Transformador 1.500 KVA

	Tensão Aplicada	Valor Medições do Transformador			Tolerância de Aprovação
		H1	H2	H3	
AT X CARCAÇA	10 KV	55,8 TΩ	55,5 TΩ	52,5 TΩ	$\geq 20 \text{ M}\Omega$
AT X BT	10 KV	23.9 GΩ	24,1 GΩ	24.4 GΩ	$\geq 20 \text{ M}\Omega$
BT X CARCAÇA	10 KV	55 GΩ	55,2 GΩ	55 GΩ	$\geq 20 \text{ M}\Omega$

TABELA 11 - Valores do ensaio de resistência de isolação transformador 1.500 KVA.

Fonte: (Próprio autor)

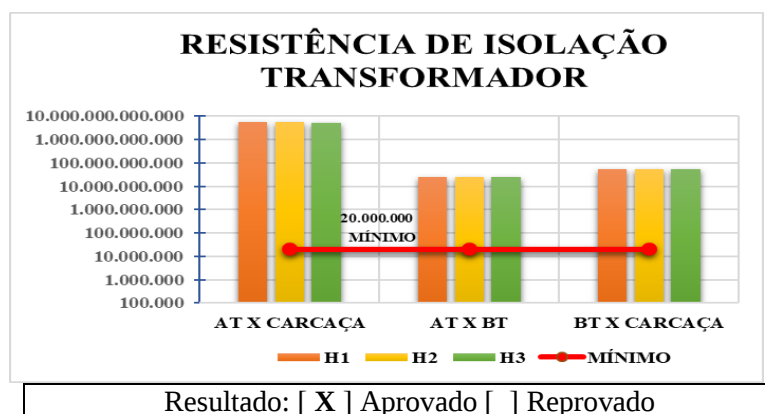


Gráfico 3 - Resistência de isolação transformador 1.500KVA.

Fonte: (Próprio autor)

7.1.4. Estudo de Prova 02 - Teste de Relação de Espiras Transformador 1.500 KVA

TAP AJUSTE	TOLERÂNCIA DE APROVAÇÃO	H1	H2	H3
13.8 KV	Aproximadamente 5%	59.01	60.5	61.26

TABELA 12 - Valores do ensaio de relação de transformação do transformador 1.500 KVA.

Fonte: (Próprio autor)

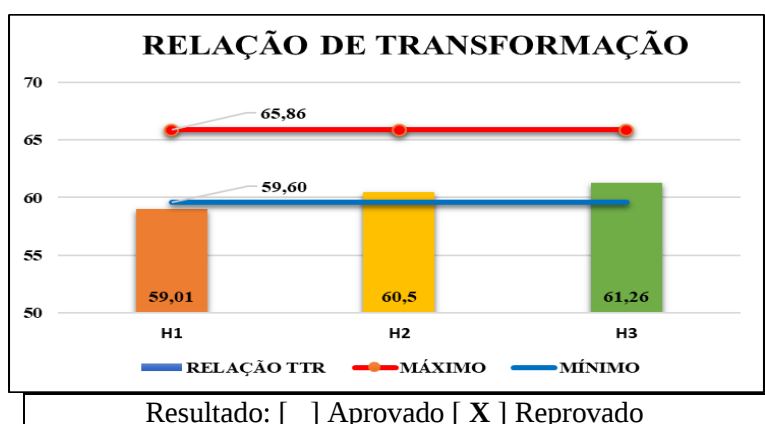


Gráfico 4 – Relação de transformação das bobinas do transformador 1.500 KVA.

Fonte: (Próprio autor)

ESTUDO DE PROVA 03 -TRANSFORMADOR 2.500 KVA	
Fabricante: COMTRAFO	Potência: 2500 KVA
Nº de Série: 78220201	Ligação: Δ/Y
Tipo: R-3 2500	Corrente Nominal: 3100 A
Tensão Primária: 480 V	Tensão Secundária: 13,8 kV
Peso: 5710 KG	Ano de Fabricação: 2013
Impedância: 6,23 %	Volume de óleo: À SECO

TABELA 13 - Informações de placa do transformador do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

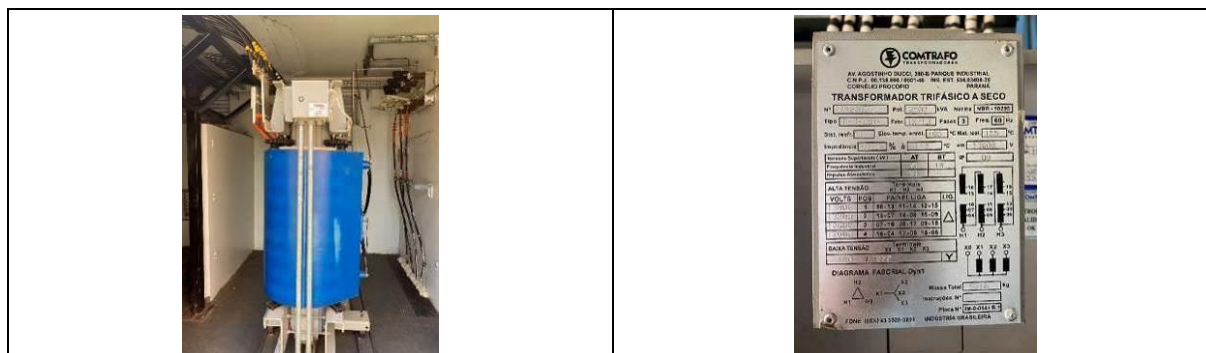


Figura 70 - Transformador de 2.500 KVA e sua placa de informação.

Fonte: (Acervo do autor)

ITEM INSPECIONADO	RESULTADO	ITENS INSPECIONADO	RESULTADO
Vazamentos	D	Aleta de Circulação	D
Válvula de Segurança	D	Válvula do Radiador	D
Termômetro	D	Buchas	D
Nível de óleo	D	Painel	A
Buchholz	D	Conexões	A
Pintura	A	Aterramento	A
Limpeza	A	Manômetros	D
Desumidificador	D	Comutador de Tape	A
Ventiladores	C	Tanque de Expansão	D

Legenda
(A) Em ordem
(B) Com problemas
(C) Não tem
(D) Não aplicável
(E) Não inspecionado

TABELA 14 - Checklist de inspeção em transformadores de média tensão.

Fonte: (Próprio autor)

Ao final do estudo de prova 03, está comprovado através dos resultados obtidos e das análises realizadas que o transformador não está em boas condições de funcionamento, pois como visto na Tabela 15 e Gráfico 05 os valores de resistência de isolação estão satisfatórios, devido ao fato das medições estarem acima do valor mínimo exigido que é $20 \text{ M}\Omega$, porém o mesmo não pode ser considerado para o teste de relação de espiras do transformador, como demonstrado na Tabela 16 e Gráfico 06, em que é possível visualizar que os valores de transformação não estão dentro da margem de tolerância de 5% para mais ou para menos, portanto não atendendo aos requisitos de segurança e desempenho estabelecidos.

7.1.5. Estudo de Prova 03 - Resistência de Isolação Transformador 2.500 KVA

	Tensão Aplicada	Valor Medições do Transformador			Tolerância de Aprovação
		H1	H2	H3	
AT X CARÇAÇA	10 KV	24 GΩ	24 GΩ	23,7 GΩ	$\geq 20 \text{ M}\Omega$
AT X BT	10 KV	23.7 GΩ	23.8 GΩ	23.5 GΩ	$\geq 20 \text{ M}\Omega$
BT X CARÇAÇA	10 KV	51.5 GΩ	54.5 GΩ	48.1 GΩ	$\geq 20 \text{ M}\Omega$

TABELA 15 - Valores do ensaio de resistência de isolação transformador 2.500 KVA.

Fonte: (Próprio autor)

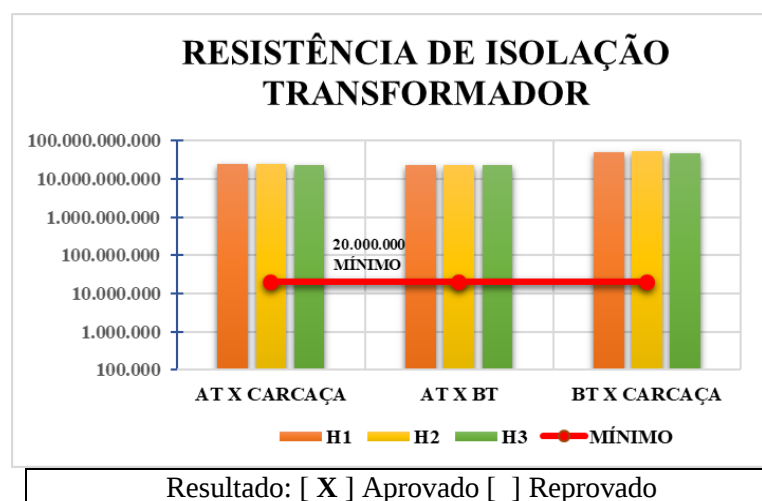


Gráfico 5 - Resistência de isolação transformador 2.500 KVA.

Fonte: (Próprio autor)

7.1.6. Estudo de Prova 03 - Teste de Relação de Espiras Transformador 2.500 KVA

TAP AJUSTE	TOLERÂNCIA DE APROVAÇÃO	H1	H2	H3
13.8 KV	Aproximadamente 5%	48.8	48.9	48.8

TABELA 16 - Valores do ensaio de relação de transformação do transformador 2.500 KVA.

Fonte: (Próprio autor)

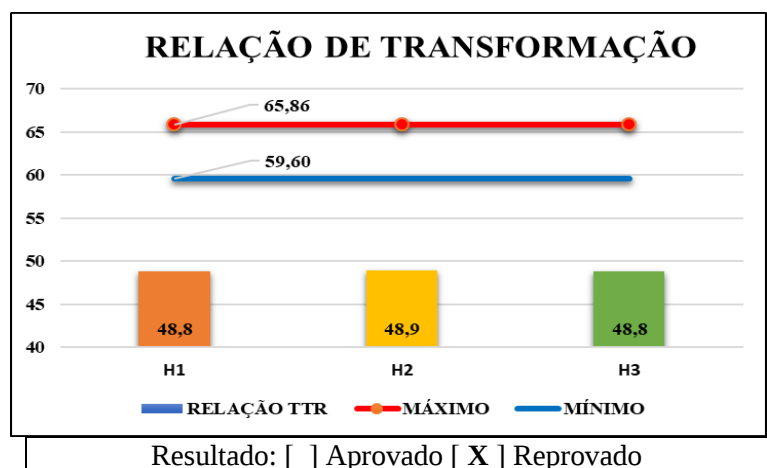


Gráfico 6 – Relação de transformação das bobinas do transformador 2.500 KVA.

Fonte: (Próprio autor)

ESTUDO DE PROVA 04 - TRANSFORMADOR 45 KVA	
Fabricante: IBT	Potência: 45 KVA
Nº de Série: 4518	Ligação: Δ/Y
Tipo: IBPOXI SECO	Corrente Nominal: 68,37 A
Tensão Primária: 13,8 KV	Tensão Secundária: 380/220 V
Peso: 297 KG	Ano de Fabricação: 2020
Impedância: 4,64 %	Volume de óleo: À SECO

TABELA 17 - Informações de placa do transformador do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)

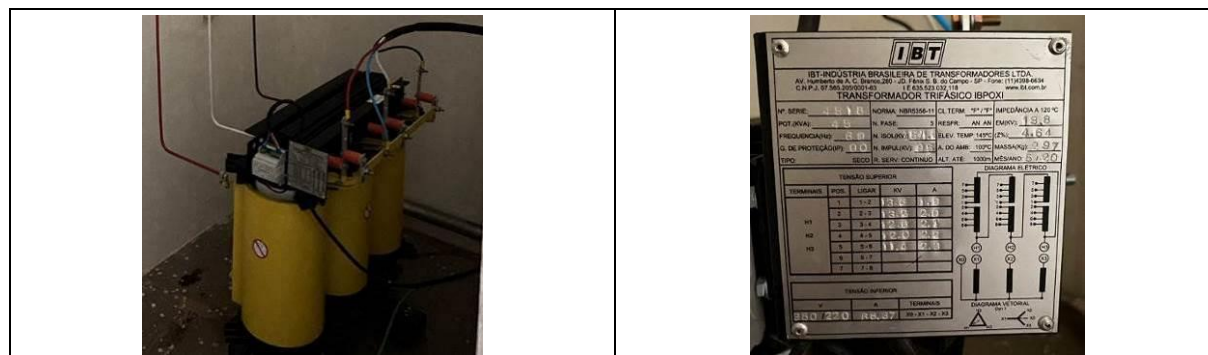


Figura 71 - Transformador de 45 KVA e sua placa de informação.

Fonte: (Acervo do autor)

ITEM INSPECIONADO	RESULTADO	ITENS INSPECIONADO	RESULTADO
Vazamentos	D	Aleta de Circulação	D
Válvula de Segurança	D	Válvula do Radiador	D
Termômetro	D	Buchas	D
Nível de óleo	D	Painel	A
Buchholz	D	Conexões	A
Pintura	A	Aterramento	A
Limpeza	A	Manômetros	D
Desumidificador	D	Comutador de Tape	A
Ventiladores	C	Tanque de Expansão	D

Legenda
(A) Em ordem
(B) Com problemas
(C) Não tem
(D) Não aplicável
(E) Não inspecionado

TABELA 18 - Checklist de inspeção em transformadores de média tensão.

Fonte: (Próprio autor)

Ao final do estudo de prova 04, está comprovado através dos resultados obtidos e das análises realizadas que o transformador está em boas condições de funcionamento, pois como visto na Tabela 19 e Gráfico 07 os valores de resistência de isolação estão satisfatórios, devido ao fato das medições estarem acima do valor mínimo exigido que é 20 M Ω , o mesmo pode ser considerado para o teste de relação de espiras do transformador, como demonstrado na Tabela 20 e Gráfico 08, em que é possível visualizar que os valores de transformação estão dentro da margem de tolerância de 5% para mais ou para menos, portanto atendendo aos requisitos de segurança e desempenho estabelecidos.

7.1.7. Estudo de Prova 04 - Resistência de Isolação Transformador 45 KVA

	Tensão Aplicada	Valor Medições do Transformador			Tolerância de Aprovação
		H1	H2	H3	
AT X CARCAÇA	10 KV	24.6 GΩ	21.1 GΩ	21.6 GΩ	$\geq 20 \text{ M}\Omega$
AT X BT	10 KV	23.8 GΩ	24 GΩ	24 GΩ	$\geq 20 \text{ M}\Omega$
BT X CARCAÇA	10 KV	18,5 GΩ	1.06 GΩ	21 GΩ	$\geq 20 \text{ M}\Omega$

TABELA 19 - Valores do ensaio de resistência de isolação transformador 45KVA.

Fonte: (Próprio autor)

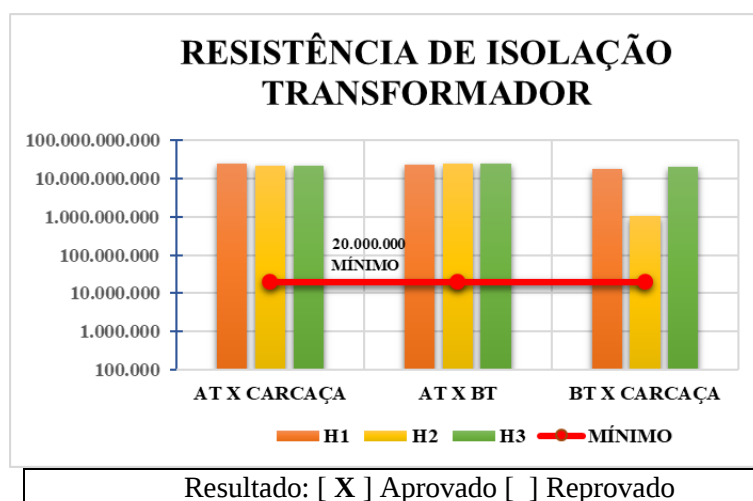


Gráfico 7 - Resistência de isolação transformador 45 KVA.

Fonte: (Próprio autor)

7.1.8. Estudo de Prova 04 - Teste de Relação de Espiras Transformador 45 KVA

TAP AJUSTE	TOLERÂNCIA DE APROVAÇÃO	H1	H2	H3
13.8 KV	Aproximadamente 5%	62.9	61.7	61.6

TABELA 20 - Valores do ensaio de relação de transformação do transformador 45KVA.

Fonte: (Próprio autor)

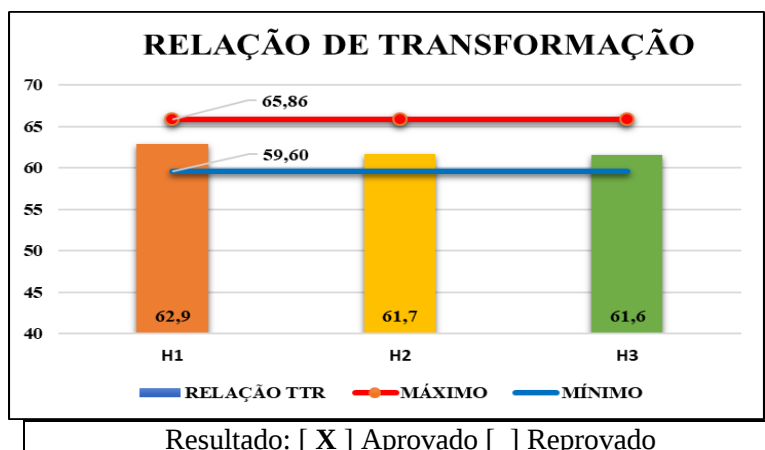


Gráfico 8 – Relação de transformação das bobinas do transformador 45 KVA.

Fonte: (Próprio autor)

7.2 – ESTUDO DE PROVA - DISJUNTOR

O estudo de prova realizado em disjuntores de média tensão é de extrema importância para garantir a integridade e o bom funcionamento desses equipamentos. Durante o estudo, são avaliadas as características estruturais do disjuntor, conforme as informações fornecidas em suas placas de identificação, como demonstrado nas Tabelas 21, 25, 29 e 33. Isso inclui dados como tensão nominal, corrente nominal, tipo de disjuntor, entre outros.

A verificação visual dos componentes que integram um disjuntor é de suma importância, pois deve ser analisado as conexões, aterramento, pintura, limpeza e vários outros aspectos deste equipamento, como demonstrado nas Tabelas 22, 26, 30 e 34 que é um checklist a ser preenchido junto ao equipamento para analisar o estado físico do disjuntor.

Além disso, são realizados ensaios de resistência de isolamento e resistência de contato. O ensaio de resistência de isolamento, como demonstrados nas Tabelas 23, 27, 31, 35 e Gráficos 09, 11, 13, 15, verifica a capacidade do disjuntor de isolar corretamente suas partes condutoras da terra. Já o ensaio de resistência de contato demonstrados nas Tabelas 24, 28, 32, 36 e Gráficos 10, 12, 14, 16, tem o objetivo de avaliar a eficiência das conexões elétricas internas do disjuntor.

Durante o estudo, é realizada uma análise minuciosa dos resultados obtidos em cada um desses ensaios, a fim de identificar possíveis falhas ou desgastes que possam comprometer o desempenho do equipamento. Essa análise é fundamental para determinar se o disjuntor está em boas condições de funcionamento e se atende aos padrões e normas estabelecidos.

ESTUDO DE PROVA 01 - DISJUNTOR	
Fabricante: SIEMENS	Corrente Nominal: 1250A
Ano de Fabricação: 2010	Nº de Série: 3AE/00018039
Tipo de Mecanismo: AUTO	Tensão Nominal: 17,5 KV
Tipo: 3AE1281-2	Cap. De Interrupção: 12,5 KA

TABELA 21 - Informações de placa do disjuntor do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 72 – Disjuntor do estudo de prova 01 e sua placa de informação.

Fonte: (Acervo do autor)

ITEM INSPECIONADO	RESULTADO	ITENS INSPECIONADO	RESULTADO
Câmara de Extinção	A	Lubrificação	A
Hastes de Acionamento	A	Bobina de Abertura	A
Contatos	A	Bobina de Fechamento	A
Nível de óleo	D	Bobina de Mínima	C
Vazamento	C	Mola de Carregamento	A
Pintura	A	Aterramento	A
Limpeza	A	Painel	A
Estanqueidade	A	Compressor	D
Secador de Ar	D	Amortecedor	A

Legenda
(A) Em ordem
(B) Com problemas
(C) Não tem
(D) Não aplicável
(E) Não inspecionado

TABELA 22 - Checklist de inspeção em disjuntor de média tensão.

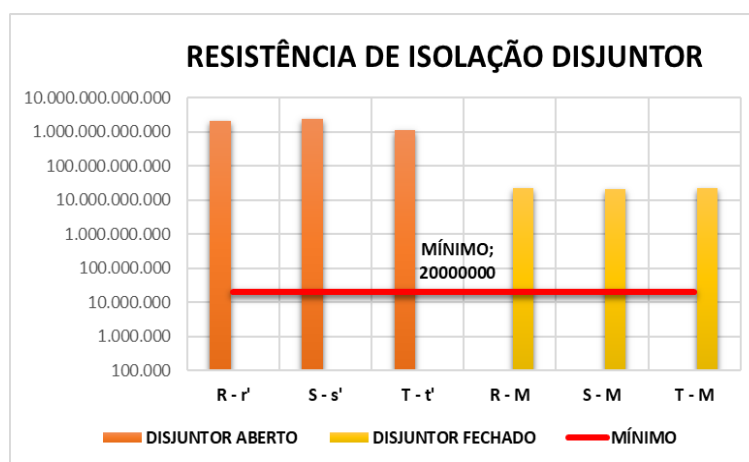
Fonte: (Próprio autor)

7.2.1. Estudo de Prova 01 - Resistência de Isolação Disjuntor Média Tensão.

Tensão Aplicada	Tolerância de Aprovação	Disjuntor Aberto			Disjuntor Fechado		
		Entre a mesma Fase			Entre Fase e Carcaça		
10kV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	R - r'	S - s'	T - t'	R - M	S - M	T - M
		2,14 T Ω	2,4 T Ω	1,17 G Ω	23,3 G Ω	21,4 G Ω	22,6 G Ω

TABELA 23 - Valores do ensaio de resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)



Resultado: [X] Aprovado [] Reprovado

Gráfico 9 - Resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)

7.2.2. Estudo de Prova 01 - Resistência de Contato Disjuntor Média Tensão.

Tolerância de Aprovação	Disjuntor Fechado		
	Entre a mesma Fase		
	R – r'	S – s'	T – t'
$\leq 250 \mu\Omega$	45 $\mu\Omega$	47 $\mu\Omega$	45 $\mu\Omega$

TABELA 24 - Valores do ensaio de contato disjuntor do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 73 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.

Fonte: (Acervo do autor)

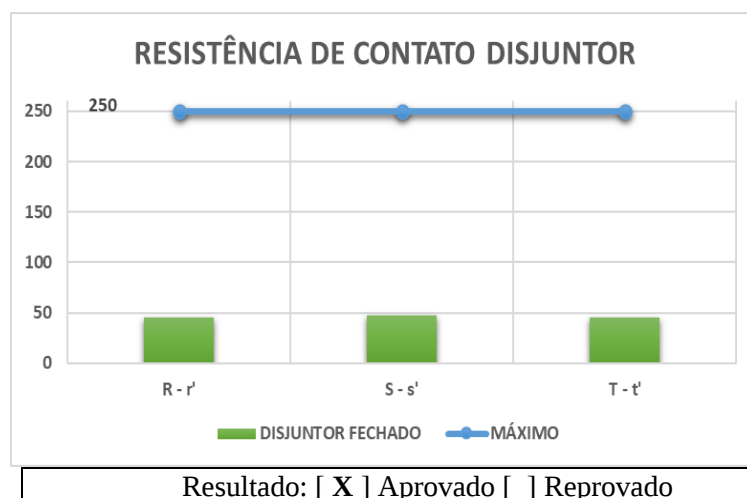


Gráfico 10 - Resistência de contato disjuntor do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)

Após a realização do estudo de prova 01 no disjuntor de média tensão analisado, conclui-se que os valores obtidos nos ensaios de resistência de isolamento e resistência de contato estão dentro dos padrões estabelecidos e são considerados satisfatórios. Esses resultados indicam que o equipamento analisado apresenta uma boa integridade e eficiência em suas características elétricas.

No ensaio de resistência de isolamento, verificou-se que o disjuntor é capaz de isolar corretamente suas partes condutoras da terra, demonstrando uma boa capacidade de isolamento dielétrico. Isso é fundamental para prevenir falhas elétricas e garantir a segurança operacional do sistema.

Quanto ao ensaio de resistência de contato, constatou-se que as conexões elétricas internas do disjuntor estão em bom estado, o que assegura uma eficiente passagem de corrente elétrica. Essa característica é essencial para o correto funcionamento do dispositivo e evita perdas energéticas e aquecimentos indesejados.

Portanto, com base nos valores analisados nos ensaios de resistência de isolamento e resistência de contato, pode-se concluir que o disjuntor de média tensão submetido ao estudo de prova 01 apresenta um desempenho satisfatório e está apto a operar de maneira segura e confiável. Esses resultados respaldam a importância da manutenção preventiva e da verificação periódica da integridade dos equipamentos elétricos em subestações de média tensão.

ESTUDO DE PROVA 02 - DISJUNTOR	
Fabricante: SIEMENS	Corrente Nominal: 1250 A
Ano de Fabricação: 2013	Nº de Série: SWR 2013 -21038
Tipo de Mecanismo: AUTO	Tensão Nominal: 17,5 KV
Tipo: 3AE1282-2	Cap. De Interrupção: 16 KA

TABELA 25 - Informações de placa do disjuntor do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)

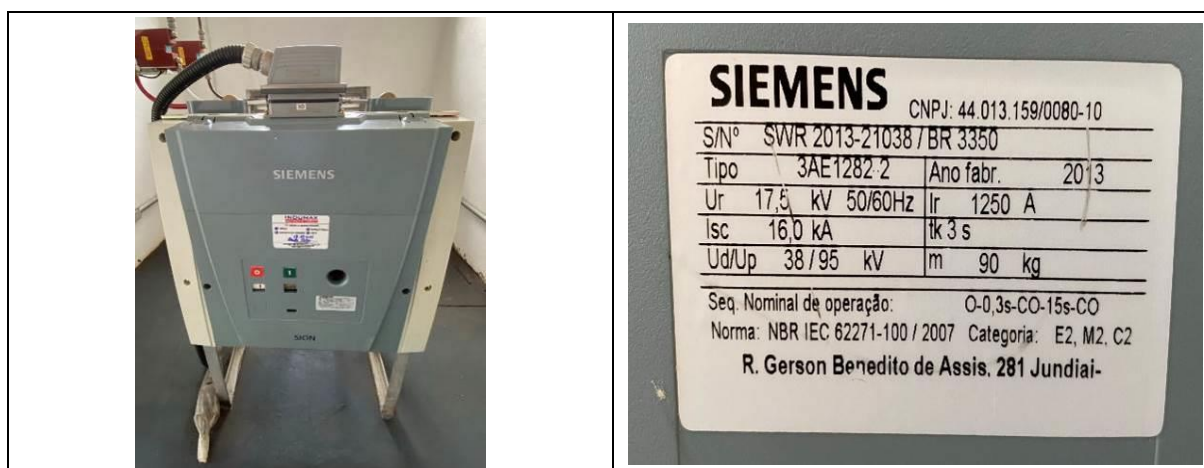


Figura 74 – Disjuntor do estudo de prova 02 e sua placa de informação.

Fonte: (Acervo do autor)

ITEM INSPECIONADO	RESULTADO	ITENS INSPECIONADO	RESULTADO
Câmara de Extinção	A	Lubrificação	A
Hastes de Acionamento	D	Bobina de Abertura	A
Contatos	A	Bobina de Fechamento	A
Nível de óleo	D	Bobina de Mínima	C
Vazamento	C	Mola de Carregamento	A
Pintura	A	Aterramento	A
Limpeza	A	Painel	A
Estanqueidade	A	Compressor	D
Secador de Ar	D	Amortecedor	D

Legenda
(A) Em ordem
(B) Com problemas
(C) Não tem
(D) Não aplicável
(E) Não inspecionado

TABELA 26 - Checklist de inspeção em disjuntor de média tensão.

Fonte: (Próprio autor)

7.2.3. Estudo de Prova 02 - Resistência de Isolação Disjuntor Média Tensão.

Tensão Aplicada	Tolerância de Aprovação	Disjuntor Aberto			Disjuntor Fechado		
		Entre a mesma Fase			Entre Fase e Carcaça		
10kV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	R - r'	S - s'	T - t'	R - M	S - M	T - M
		1,36 T Ω	2,42 T Ω	3,2 T Ω	43,4 G Ω	44,5 G Ω	46 G Ω

TABELA 27 - Valores do ensaio de resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)

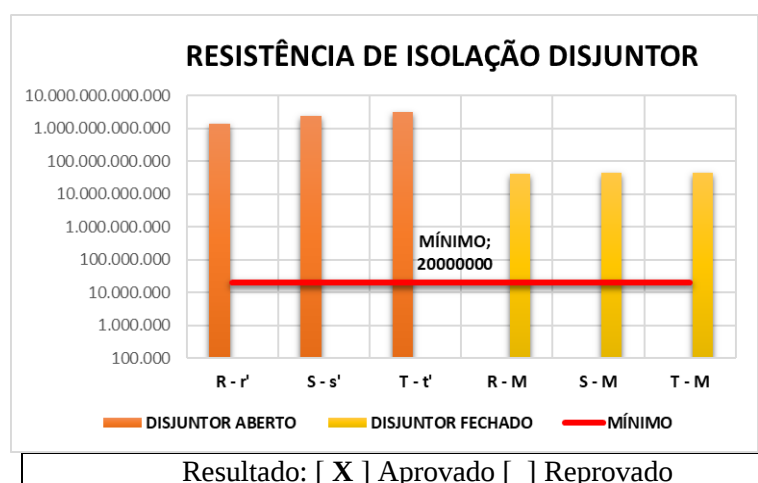


Gráfico 11 - Resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)

7.2.4. Estudo de Prova 02 - Resistência de Contato Disjuntor Média Tensão.

Tolerância de Aprovação	Disjuntor Fechado		
	Entre a mesma Fase		
	R – r'	S – s'	T – t'
$\leq 250 \mu\Omega$	40 $\mu\Omega$	43 $\mu\Omega$	32 $\mu\Omega$

TABELA 28 - Valores do ensaio de contato disjuntor do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)

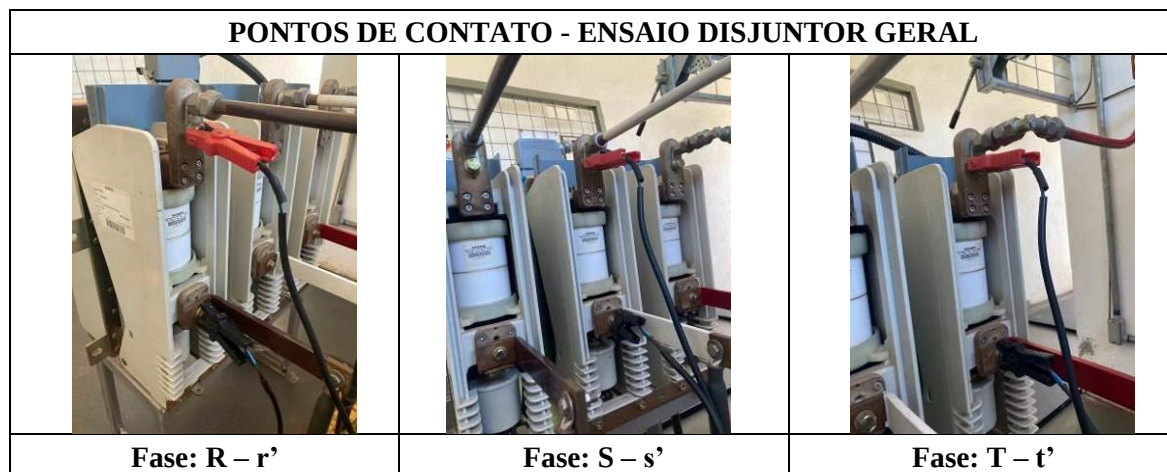


Figura 75 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.

Fonte: (Acervo do autor)

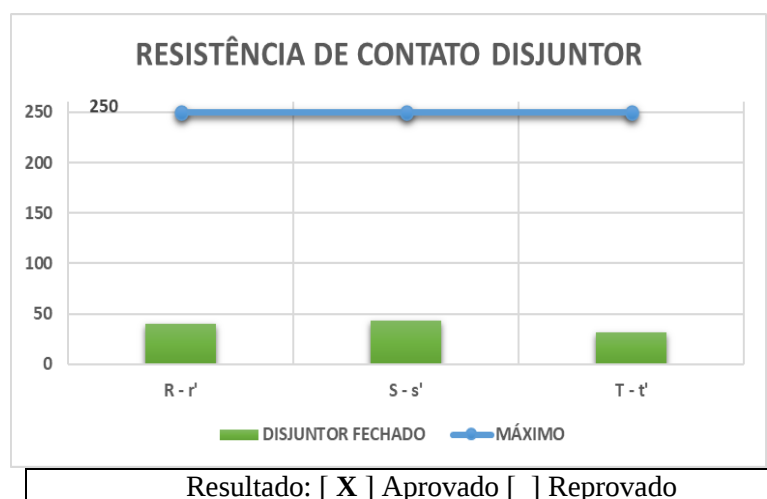


Gráfico 12 - Resistência de contato disjuntor do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)

Após a realização do estudo de prova 02 no disjuntor de média tensão analisado, constata-se que os resultados obtidos nos ensaios de resistência de isolamento e resistência de contato estão em conformidade com os padrões estabelecidos, demonstrando um desempenho

satisfatório do equipamento. Essas medições indicam que o disjuntor possui uma integridade estrutural e elétrica adequada.

No ensaio de resistência de isolamento, verificou-se que o disjuntor é capaz de isolar efetivamente suas partes condutoras da terra, evidenciando um bom nível de isolamento dielétrico. Esse aspecto é crucial para prevenir falhas elétricas e garantir a segurança operacional do sistema.

No ensaio de resistência de contato, observou-se que as conexões internas do disjuntor estão em bom estado, permitindo uma eficiente condução da corrente elétrica. Essa característica é essencial para o funcionamento adequado do dispositivo, evitando perdas de energia indesejadas e aquecimentos excessivos.

Conclui-se, portanto, com base nos valores obtidos nos ensaios de resistência de isolamento e resistência de contato, que o disjuntor de média tensão submetido ao estudo de prova apresenta um desempenho satisfatório e está apto a operar de forma segura e confiável.

ESTUDO DE PROVA 03 - DISJUNTOR	
Fabricante: SCHNEIDER	Corrente Nominal: 630 A
Tipo de Mecanismo: ELE-MEC	Tensão Nominal: 17,5 KV
Tipo: A VÁCUO	Cap. De Interrupção: 20 KA

TABELA 29 - Informações de placa do disjuntor do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

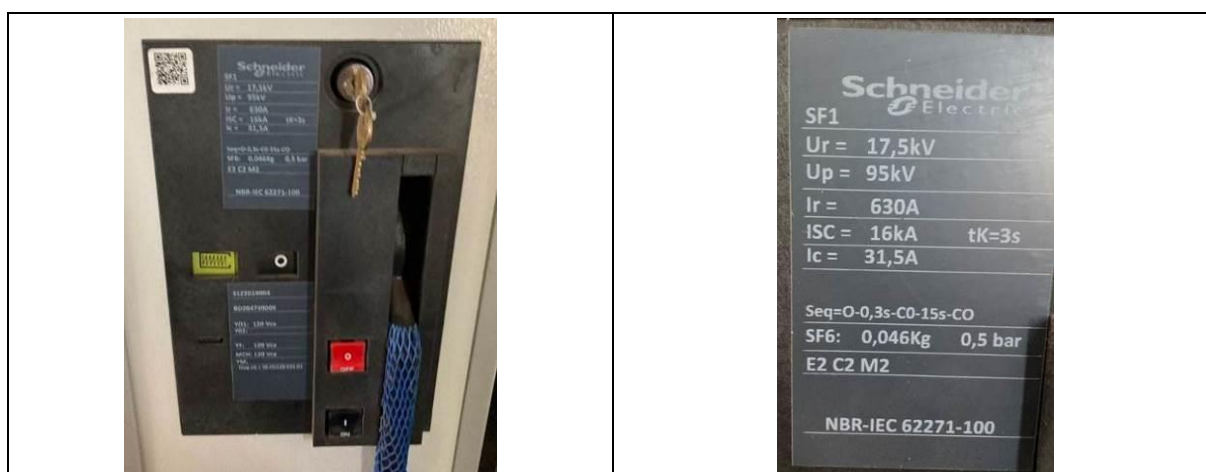


Figura 76 – Disjuntor do estudo de prova 03 e sua placa de informação.

Fonte: (Acervo do autor)

ITEM INSPECIONADO	RESULTADO	ITENS INSPECIONADO	RESULTADO
Câmara de Extinção	A	Lubrificação	A
Hastes de Acionamento	A	Bobina de Abertura	A
Contatos	A	Bobina de Fechamento	A

Nível de óleo	D	Bobina de Mínima	C
Vazamento	C	Mola de Carregamento	A
Pintura	A	Aterramento	A
Limpeza	A	Painel	A
Estanqueidade	A	Compressor	D
Secador de Ar	D	Amortecedor	D

Legenda
(A) Em ordem
(B) Com problemas
(C) Não tem
(D) Não aplicável
(E) Não inspecionado

TABELA 30 - Checklist de inspeção em disjuntor de média tensão.

Fonte: (Próprio autor)

7.2.5. Estudo de Prova 03 - Resistência de Isolação Disjuntor Média Tensão.

Tensão Aplicada	Tolerância de Aprovação	Disjuntor Aberto			Disjuntor Fechado		
		Entre a mesma Fase			Entre Fase e Carcaça		
10kV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	R - r'	S - s'	T - t'	R - M	S - M	T - M
		>10 T Ω	6.05 T Ω	1.24 T Ω	24 G Ω	24 G Ω	24.1 G Ω

TABELA 31 - Valores do ensaio de resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

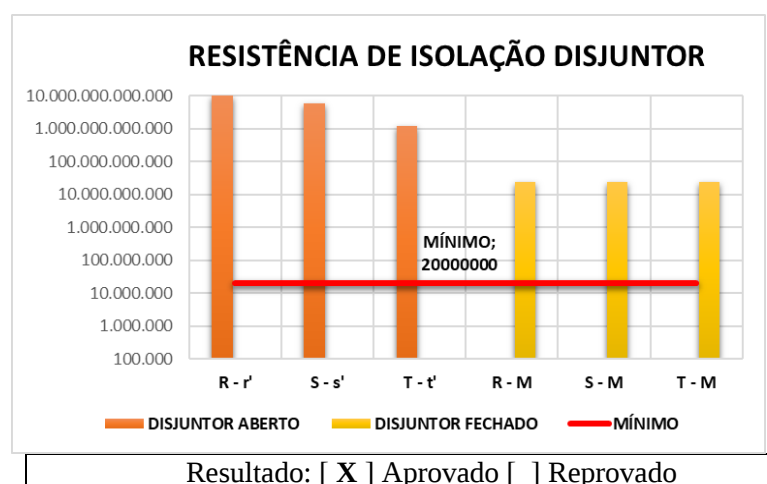


Gráfico 13 - Resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

7.2.6. Estudo de Prova 03 - Resistência de Contato Disjuntor Média Tensão.

Tolerância de Aprovação	Disjuntor Fechado		
	Entre a mesma Fase		
	R – r'	S – s'	T – t'
$\leq 250 \mu\Omega$	27 $\mu\Omega$	32 $\mu\Omega$	28 $\mu\Omega$

TABELA 32 - Valores do ensaio de contato disjuntor do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 77 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.

Fonte: (Acervo do autor)

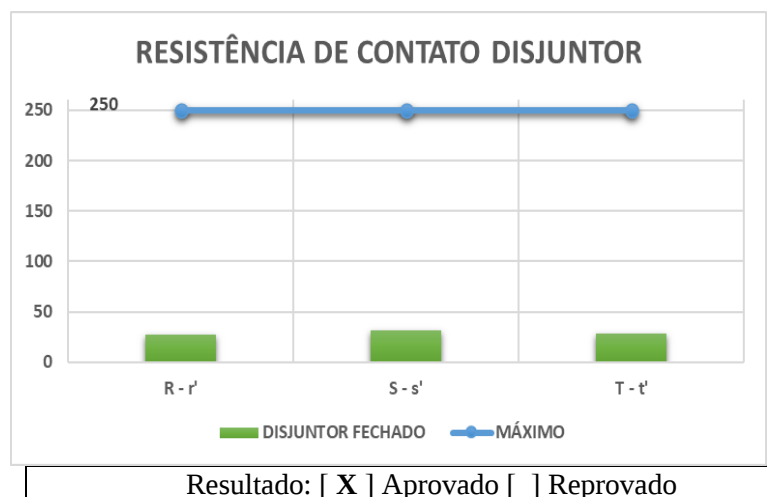


Gráfico 14 - Resistência de contato disjuntor do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

Após a realização do estudo de prova 03 no disjuntor de média tensão analisado, conclui-se que os valores obtidos nos ensaios de resistência de isolamento e resistência de contato estão dentro dos padrões estabelecidos e são considerados satisfatórios. Esses resultados

indicam que o equipamento analisado apresenta uma boa integridade e eficiência em suas características elétricas.

No ensaio de resistência de isolamento, verificou-se que o disjuntor é capaz de isolar corretamente suas partes condutoras da terra, demonstrando uma boa capacidade de isolamento dielétrico. Isso é fundamental para prevenir falhas elétricas e garantir a segurança operacional do sistema.

Quanto ao ensaio de resistência de contato, constatou-se que as conexões elétricas internas do disjuntor estão em bom estado, o que assegura uma eficiente passagem de corrente elétrica. Essa característica é essencial para o correto funcionamento do dispositivo e evita perdas energéticas e aquecimentos indesejados.

Portanto, com base nos valores analisados nos ensaios de resistência de isolamento e resistência de contato, pode-se concluir que o disjuntor de média tensão submetido ao estudo de prova 01 apresenta um desempenho satisfatório e está apto a operar de maneira segura e confiável. Esses resultados respaldam a importância da manutenção preventiva e da verificação periódica da integridade dos equipamentos elétricos em subestações de média tensão.

ESTUDO DE PROVA 04 - DISJUNTOR	
Fabricante: SCHNEIDER	Corrente Nominal: 630 A
Cap. De Interrupção: 20 KA	Nº de Série: S1Z1908303
Tipo de Mecanismo: ELE-MEC	Tensão Nominal: 17,5 KV
Tipo: A VÁCUO	Cap. De Interrupção: 20 KA

TABELA 33 - Informações de placa do disjuntor do estudo de prova 04.
Fonte: (Próprio autor)

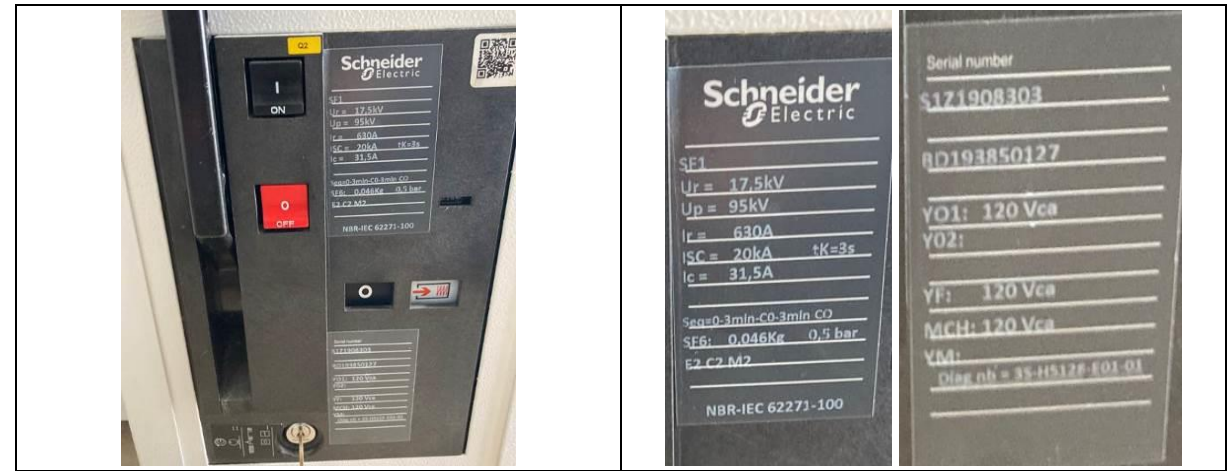


Figura 78 – Disjuntor do estudo de prova 04 e sua placa de informação.
Fonte: (Acervo do autor)

ITEM INSPECIONADO	RESULTADO	ITENS INSPECIONADO	RESULTADO
Câmara de Extinção	A	Lubrificação	A
Hastes de Acionamento	A	Bobina de Abertura	A
Contatos	A	Bobina de Fechamento	A
Nível de óleo	D	Bobina de Mínima	C
Vazamento	C	Mola de Carregamento	A
Pintura	A	Aterramento	A
Limpeza	A	Painel	A
Estanqueidade	A	Compressor	D
Secador de Ar	D	Amortecedor	D

Legenda
(A) Em ordem
(B) Com problemas
(C) Não tem
(D) Não aplicável
(E) Não inspecionado

TABELA 34 - Checklist de inspeção em disjuntor de média tensão.

Fonte: (Próprio autor)

7.2.7. Estudo de Prova 04 - Resistência de Isolação Disjuntor Média Tensão.

Tensão Aplicada	Tolerância de Aprovação	Disjuntor Aberto			Disjuntor Fechado		
		Entre a mesma Fase			Entre Fase e Carcaça		
10kV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	R - r'	S - s'	T - t'	R - M	S - M	T - M
		24.3 G Ω	24.4 G Ω	23.9 G Ω	24.4 M Ω	24.4 M Ω	24.1 M Ω

TABELA 35 - Valores do ensaio de resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)

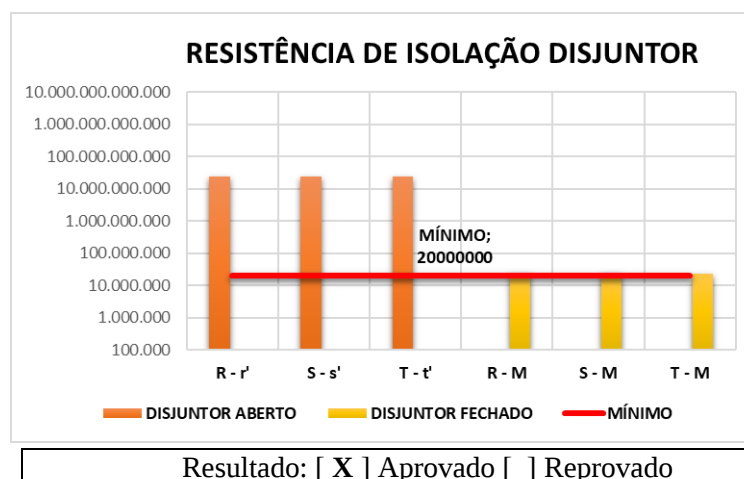


Gráfico 15 - Resistência de isolação disjuntor do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)

7.2.8. Estudo de Prova 04 - Resistência de Contato Disjuntor Média Tensão.

Tolerância de Aprovação	Disjuntor Fechado		
	Entre a mesma Fase		
	R – r'	S – s'	T – t'
$\leq 250 \mu\Omega$	41 $\mu\Omega$	41 $\mu\Omega$	43 $\mu\Omega$

TABELA 36 - Valores do ensaio de contato disjuntor do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 79 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.

Fonte: (Acervo do autor)

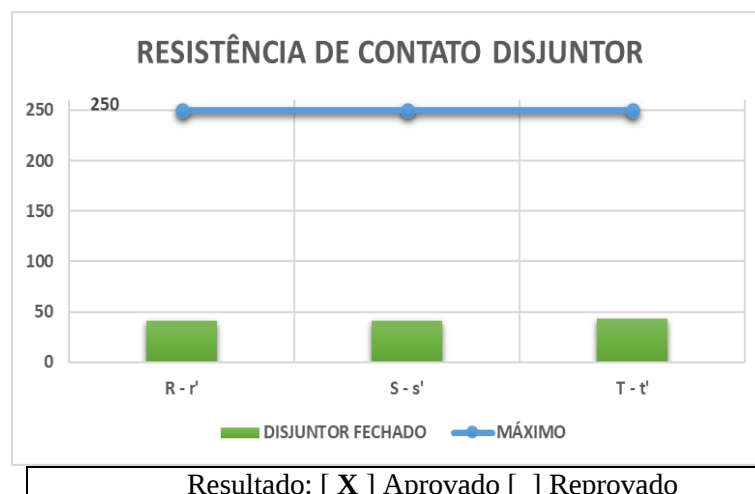


Gráfico 16 - Resistência de contato disjuntor do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)

Após a realização do estudo de prova 04 no disjuntor de média tensão analisado, constata-se que os resultados obtidos nos ensaios de resistência de isolamento e resistência de contato estão em conformidade com os padrões estabelecidos, demonstrando um desempenho satisfatório do equipamento. Porém as medições indicam que o disjuntor possui uma

integridade estrutural e elétrica próximo a saturação, pois os valores de resistência de isolamento estão similares ao mínimo recomendado.

No ensaio de resistência de isolamento, verificou-se que o disjuntor é capaz de isolar suas partes condutoras da terra, porém está próximo do mínimo recomendado de 20 MΩ evidenciando que está próximo de romper o isolamento dielétrico do equipamento. Esse aspecto é crucial para prevenir falhas elétricas portanto é recomendado a pausa no uso do equipamento e prosseguir com a manutenção e correção do isolamento do mesmo.

No ensaio de resistência de contato, observou-se que as conexões internas do disjuntor estão em bom estado, permitindo uma eficiente condução da corrente elétrica. Essa característica é essencial para o funcionamento adequado do dispositivo, evitando perdas de energia indesejadas e aquecimentos excessivos.

Conclui-se, portanto, com base nos valores obtidos nos ensaios de resistência de isolamento que é necessário a realização de reparos futuros para garantir sua melhor e eficiência e segurança em as fases do disjuntor com a carcaça. Portanto, considerando a resistência de isolamento e de contato, o disjuntor de média tensão submetido ao estudo de prova apresenta atualmente um desempenho satisfatório e está apto, porém fica o alerta para a isolamento do equipamento.

7.3 – ESTUDO DE PROVA - CHAVE SECCIONADORA

O estudo de prova realizado nas chaves seccionadoras teve como objetivo verificar a integridade e o desempenho desses equipamentos. Foram analisadas as características estruturais informadas nas placas, como demonstrado nas Tabelas 37, 41, 45, 49, bem como os valores obtidos nos ensaios de resistência de isolamento e de contato.

No ensaio de resistência de isolamento, foi verificado se a chave seccionadora é capaz de manter um adequado isolamento entre suas partes condutoras e a terra, como demonstrado nas Tabelas 40, 44, 48, 52 e Gráficos 18, 20, 22, 24. Esse teste é fundamental para garantir a segurança elétrica do sistema e evitar possíveis falhas de isolamento.

Já no ensaio de resistência de contato, avaliou-se a eficiência das conexões internas da chave seccionadora. Valores adequados de resistência de contato indicam que as conexões estão em boas condições, permitindo uma passagem eficiente da corrente elétrica, como demonstrados nas Tabelas 39, 43, 47, 51 e Gráficos 17, 19, 21, 23.

Além disso, foram realizadas análises detalhadas de cada um dos estudos realizados, buscando identificar qualquer sinal de deterioração, desgaste ou problemas estruturais que

possam comprometer o funcionamento adequado da chave seccionadora, essa verificação pode ser demonstrada através do checklist as ser realizado no equipamento, como demonstrado nas Tabelas 38, 42, 46, 50.

Com base nos resultados dessas análises, será possível determinar se a chave seccionadora está em boas condições de funcionamento ou se há a necessidade de intervenções corretivas. Essas informações são essenciais para garantir a confiabilidade e a segurança das operações elétricas nas subestações.

Portanto, por meio do estudo de prova realizado nas chaves seccionadoras, será possível obter uma avaliação precisa de sua integridade estrutural e desempenho elétrico, contribuindo para a tomada de decisões quanto à sua manutenção, reparo ou substituição, conforme necessário.

ESTUDO DE PROVA 01 – CHAVE SECCIONADORA	
Fabricante: BEGHIM	Corrente Nominal: 400 A
Tipo de Seccionadora: FACA HAL	Tensão Nominal: 17,5 KV

TABELA 37 - Informações de placa da chave seccionadora do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 80 – Chave seccionadora do estudo de prova 01 e sua placa de informação.

Fonte: (Acervo do autor)

ITEM INSPECIONADO	RESULTADO	ITEM INSPECIONADO	RESULTADO
Abert. e Fecham. Manual	OK	Motor	Não possui
Abert. e Fecham. Elétrico	Não possui	Fusíveis	Não possui
Mecanismo de Acionam.	OK	Aterramento	OK
Intertravamento Elétrico	OK	Simultaneidade	OK
Intertravamento Mecânico	Não possui	Pintura e Corrosão	OK
Isoladores	OK	Limpeza e Lubrificação	OK

TABELA 38 - Checklist de inspeção em chave seccionadora de média tensão.

Fonte: (Próprio autor)

7.3.1. Estudo de Prova 01 - Resistência de Contato Seccionadora.

Tolerância de Aprovação	Chave Seccionadora Fechada		
	Entre a mesma Fase		
	$R - r'$	$S - s'$	$T - t'$
$\leq 250 \mu\Omega$	103 $\mu\Omega$	72 $\mu\Omega$	63 $\mu\Omega$

TABELA 39 - Valores do ensaio de contato chave seccionadora do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 81 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.

Fonte: (Acervo do autor)

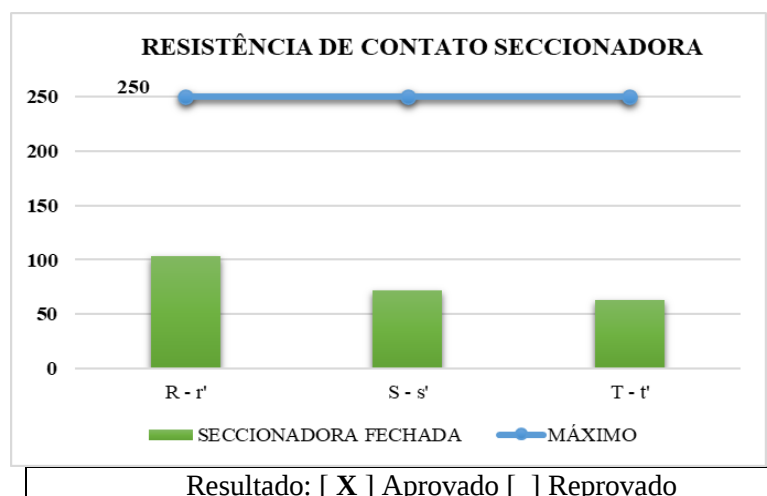


Gráfico 17 - Resistência de contato chave seccionadora do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)

7.3.2. Estudo de Prova 01 - Resistência de Isolação Seccionadora.

Tensão Aplicada	Tolerância de Aprovação	Chave Seccionadora Fechada					
		Entre Fases			Entre Fase e Carcaça		
		$R - S$	$S - T$	$T - R$	$R - M$	$S - M$	$T - M$
10KV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	5 TΩ	>10 TΩ	6,33 TΩ	24,1 GΩ	23,9 GΩ	24,3 GΩ

TABELA 40 - Valores do ensaio de resistência de isolamento seccionadora do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)

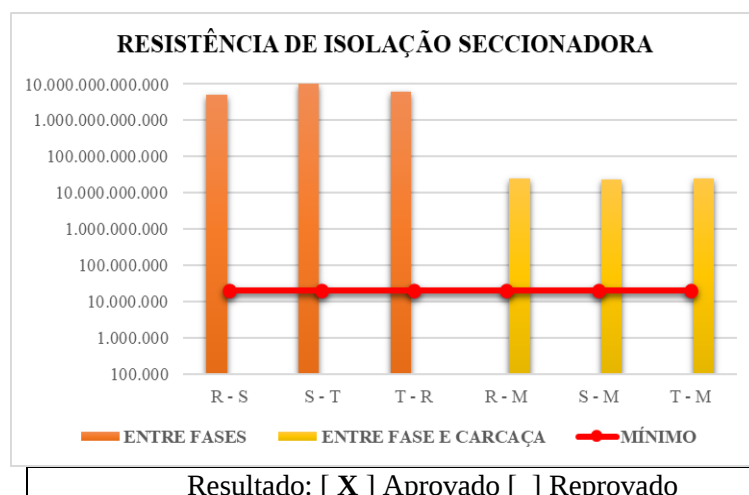


Gráfico 18 - Resistência de isolamento chave seccionadora do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)

Após a realização do estudo de prova 01 na chave seccionadora de média tensão, foi possível analisar os valores obtidos nos ensaios de resistência de isolamento e de contato. Com base nesses resultados, é possível concluir se os valores são satisfatórios, indicando a integridade do equipamento. Pois os valores de resistência de contato foram inferiores a $250 \mu\Omega$ e os de resistência de isolamento foram superiores a $20 M\Omega$, portando estando dentro dos padrões recomendados.

No ensaio de resistência de isolamento, foi verificado que a chave seccionadora é capaz de manter um adequado isolamento entre suas partes condutoras e a terra. Valores dentro dos padrões estabelecidos demonstram que o equipamento apresenta um bom nível de isolamento dielétrico, como demonstrados na Tabela 40 e Gráfico 18, o que é essencial para a segurança operacional do sistema elétrico.

Já no ensaio de resistência de contato, foi avaliado a eficiência das conexões elétricas da chave seccionadora. Valores adequados de resistência de contato garantem uma passagem eficiente da corrente elétrica, Tabela 39 e Gráfico 17, evitando perdas energéticas e aquecimentos indesejados.

Portanto, com base nos valores analisados nos ensaios de resistência de isolamento e de contato, é possível determinar se a chave seccionadora está em condições satisfatórias de funcionamento ou se requer intervenções corretivas. Essas informações são fundamentais para garantir a confiabilidade e a segurança das operações elétricas na subestação.

ESTUDO DE PROVA 02 – CHAVE SECCIONADORA	
Fabricante: ELTE	Corrente Nominal: 400 A
Tipo de Seccionadora: SAN	Tensão Nominal: 15 KV

TABELA 41 - Informações de placa da chave seccionadora do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 82 – Chave seccionadora do estudo de prova 02 e sua placa de informação.

Fonte: (Acervo do autor)

ITEM INSPECIONADO	RESULTADO	ITEM INSPECIONADO	RESULTADO
Abert. e Fecham. Manual	OK	Motor	Não Possui
Abert. e Fecham. Elétrico	Não Possui	Fusíveis	OK
Mecanismo de Acionam.	OK	Aterramento	OK
Intertravamento Elétrico	Não Possui	Simultaneidade	OK
Intertravamento Mecânico	Não Possui	Pintura e Corrosão	OK
Isoladores	OK	Limpeza e Lubrificação	OK

TABELA 42 - Checklist de inspeção em chave seccionadora de média tensão.

Fonte: (Próprio autor)

7.3.3. Estudo de Prova 02 - Resistência de Contato Seccionadora.

Tolerância de Aprovação	Chave Seccionadora Fechada		
	Entre a mesma Fase		
	R – r'	S – s'	T – t'
$\leq 250 \mu\Omega$	188 $\mu\Omega$	162 $\mu\Omega$	165 $\mu\Omega$

TABELA 43 - Valores do ensaio de contato chave seccionadora do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 83 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.

Fonte: (Acervo do autor)

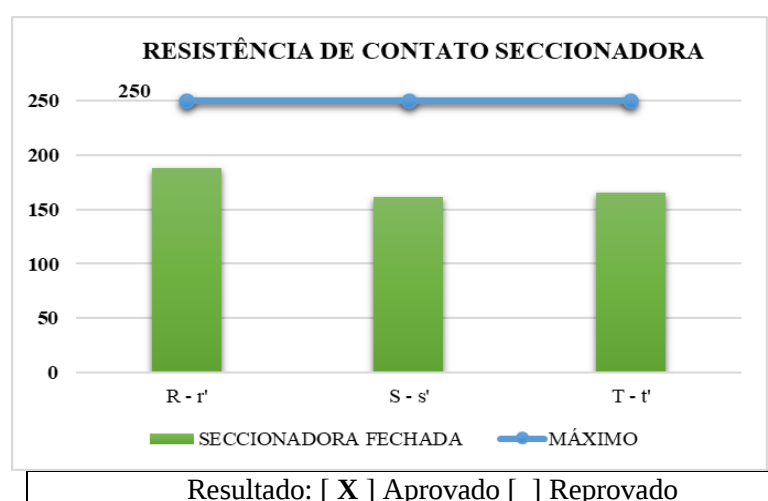


Gráfico 19 - Resistência de contato chave seccionadora do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)

7.3.4. Estudo de Prova 02 - Resistência de Isolação Seccionadora.

Tensão Aplicada	Tolerância de Aprovação	Chave Seccionadora Fechada					
		Entre Fases			Entre Fase e Carcaça		
		R - S	S - T	T - R	R - M	S - M	T - M
10KV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	10 TΩ	3,6 TΩ	2,81 TΩ	23,6 GΩ	23,5 Ω	23,7 GΩ

TABELA 44 - Valores do ensaio de resistência de isolamento seccionadora do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)

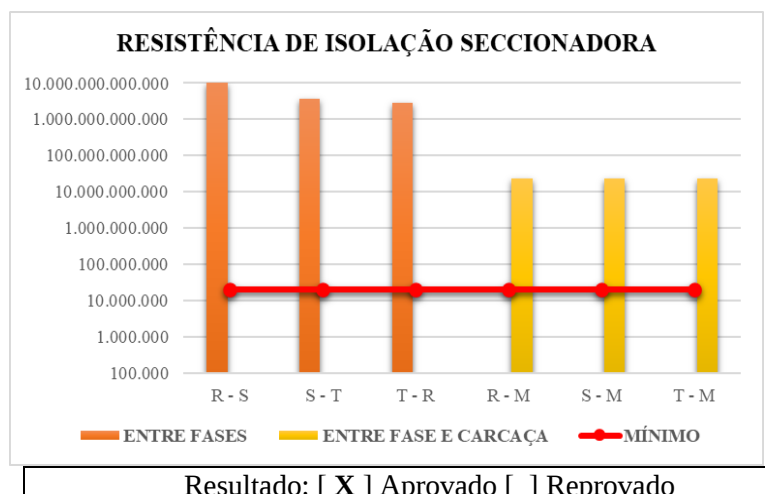


Gráfico 20 - Resistência de isolamento chave seccionadora do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)

Após a conclusão do estudo de prova 02 realizado na chave seccionadora de média tensão, os valores obtidos nos ensaios de resistência de isolamento e de contato foram analisados. Com base nesses resultados, é possível verificar se os valores são satisfatórios, indicando a integridade do equipamento. Os valores de resistência de contato foram inferiores a $250 \mu\Omega$, enquanto os de resistência de isolamento foram superiores a $20 M\Omega$, estando dentro dos padrões recomendados.

No ensaio de resistência de isolamento, verificou-se a capacidade da chave seccionadora de manter um isolamento adequado entre suas partes condutoras e a terra. Valores dentro dos padrões estabelecidos são um indicativo de um bom nível de isolamento dielétrico, como demonstrado na Tabela 44 e Gráfico 20, o que é essencial para garantir a segurança operacional do sistema elétrico.

No ensaio de resistência de contato, avaliou-se a eficiência das conexões elétricas da chave seccionadora. Valores adequados de resistência de contato, conforme demonstrado na Tabela 43 e Gráfico 19, garantem uma passagem eficiente da corrente elétrica, evitando perdas de energia e aquecimentos indesejados.

Portanto, com base nos valores analisados nos ensaios de resistência de isolamento e de contato, é possível determinar se a chave seccionadora está em condições satisfatórias de funcionamento ou se requer intervenções corretivas. Essas informações são essenciais para garantir a confiabilidade e a segurança das operações elétricas na subestação.

ESTUDO DE PROVA 03 – CHAVE SECCIONADORA	
Fabricante: BEGHIM	Corrente Nominal: 400 A
Tipo de Seccionadora: FACA + FUSÍVEL HRBTL	Tensão Nominal: 17,5 KV

TABELA 45 - Informações de placa da chave seccionadora do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

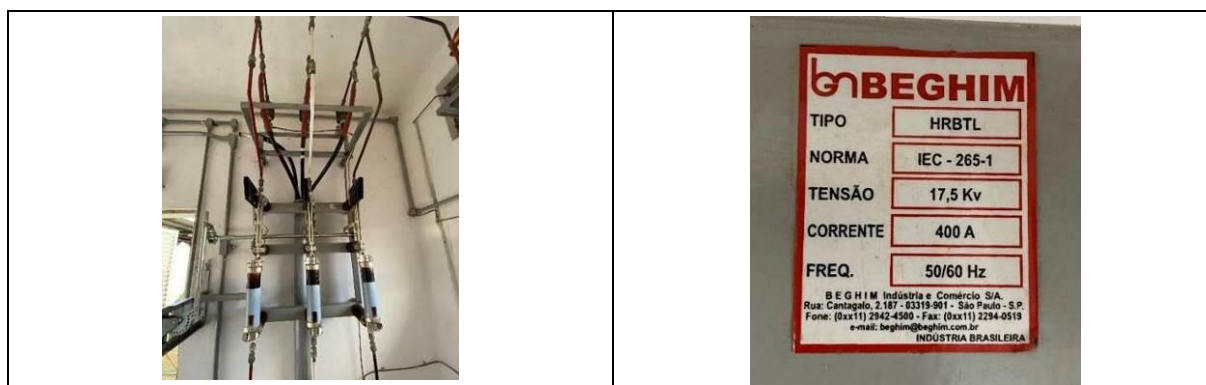


Figura 84 – Chave seccionadora do estudo de prova 03 e sua placa de informação.

Fonte: (Acervo do autor)

ITEM INSPECIONADO	RESULTADO	ITEM INSPECIONADO	RESULTADO
Abert. e Fecham. Manual	OK	Motor	Não possui
Abert. e Fecham. Elétrico	Não possui	Fusíveis	OK
Mecanismo de Acionam.	OK	Aterramento	OK
Intertravamento Elétrico	Não possui	Simultaneidade	OK
Intertravamento Mecânico	Não possui	Pintura e Corrosão	OK
Isoladores	OK	Limpeza e Lubrificação	OK

TABELA 46 - Checklist de inspeção em chave seccionadora de média tensão.

Fonte: (Próprio autor)

7.3.5. Estudo de Prova 03 - Resistência de Contato Seccionadora.

Tolerância de Aprovação	Chave Seccionadora Fechada		
	Entre a mesma Fase		
	R – r'	S – s'	T – t'
$\leq 250 \mu\Omega$	103 $\mu\Omega$	146 $\mu\Omega$	163 $\mu\Omega$

TABELA 47 - Valores do ensaio de contato chave seccionadora do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

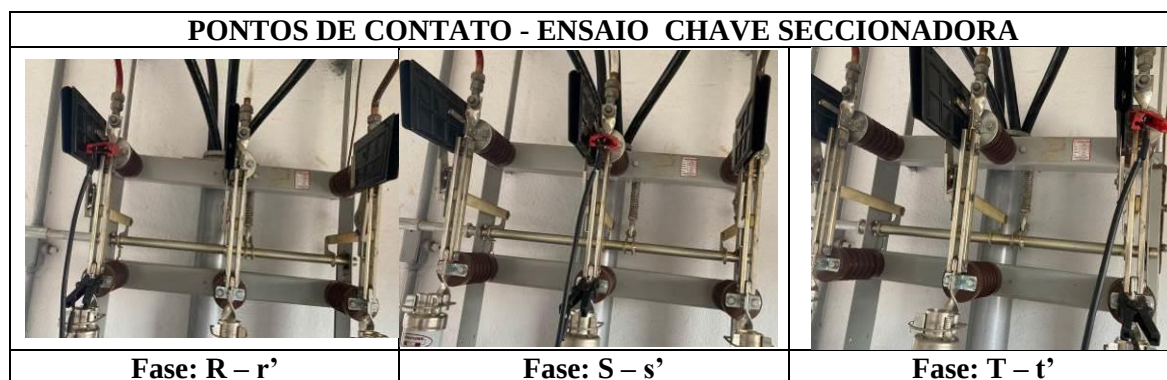


Figura 85 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.

Fonte: (Acervo do autor)

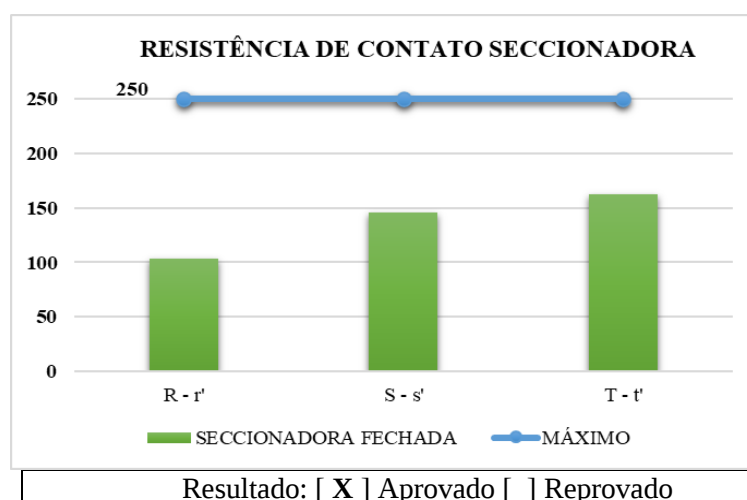


Gráfico 21 - Resistência de contato chave seccionadora do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

7.3.6. Estudo de Prova 03 - Resistência de Isolação Seccionadora.

Tensão Aplicada	Tolerância de Aprovação	Chave Seccionadora Fechada					
		Entre Fases			Entre Fase e Carcaça		
10KV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	R - S	S - T	T - R	R - M	S - M	T - M
		5 T Ω	>10 T Ω	6,9 T Ω	23,8 G Ω	24 G Ω	24.1 G Ω

TABELA 48 - Valores do ensaio de resistência de isolamento seccionadora do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

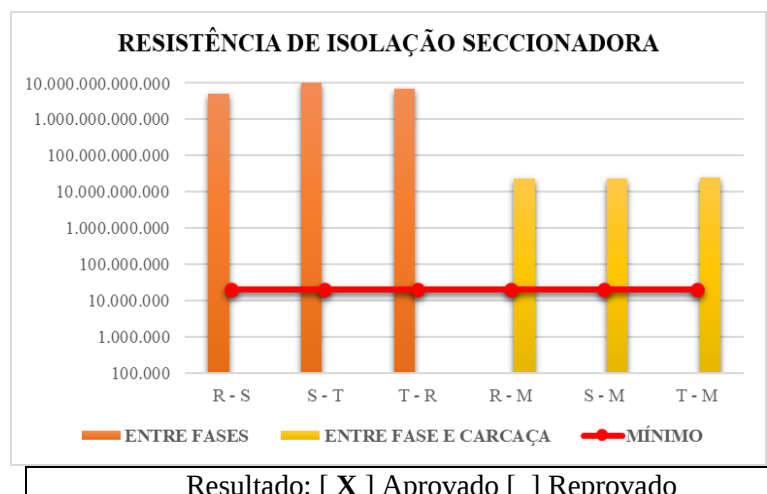


Gráfico 22 - Resistência de isolamento chave seccionadora do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

Após a realização do estudo de prova 03 na chave seccionadora de média tensão, foi possível analisar os valores obtidos nos ensaios de resistência de isolamento e de contato. Com base nesses resultados, é possível concluir se os valores são satisfatórios, indicando a integridade do equipamento. Pois os valores de resistência de contato foram inferiores a $250 \mu\Omega$ e os de resistência de isolamento foram superiores a $20 M\Omega$, portando estando dentro dos padrões recomendados.

No ensaio de resistência de isolamento, foi verificado que a chave seccionadora é capaz de manter um adequado isolamento entre suas partes condutoras e a terra. Valores dentro dos padrões estabelecidos demonstram que o equipamento apresenta um bom nível de isolamento dielétrico, como demonstrados na Tabela 48 e Gráfico 22, o que é essencial para a segurança operacional do sistema elétrico.

Já no ensaio de resistência de contato, foi avaliado a eficiência das conexões elétricas da chave seccionadora. Valores adequados de resistência de contato garantem uma passagem eficiente da corrente elétrica, Tabela 47 e Gráfico 21, evitando perdas energéticas e aquecimentos indesejados.

Portanto, com base nos valores analisados nos ensaios de resistência de isolamento e de contato, é possível determinar se a chave seccionadora está em condições satisfatórias de funcionamento ou se requer intervenções corretivas. Essas informações são fundamentais para garantir a confiabilidade e a segurança das operações elétricas na subestação.

ESTUDO DE PROVA 04 – CHAVE SECCIONADORA	
Fabricante: SELLUX	Corrente Nominal: 630 A
Nº de Serie: LN 0299	Tensão Nominal: 17,5 KV

TABELA 49 - Informações de placa da chave seccionadora do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 86 – Chave seccionadora do estudo de prova 04 e sua placa de informação.

Fonte: (Acervo do autor)

ITEM INSPECIONADO	RESULTADO	ITEM INSPECIONADO	RESULTADO
Abert. e Fecham. Manual	OK	Motor	Não Possui
Abert. e Fecham. Elétrico	Não Possui	Fusíveis	OK
Mecanismo de Acionam.	OK	Aterramento	OK
Intertravamento Elétrico	Não Possui	Simultaneidade	OK
Intertravamento Mecânico	Não Possui	Pintura e Corrosão	OK
Isoladores	OK	Limpeza e Lubrificação	OK

TABELA 50 - Checklist de inspeção em chave seccionadora de média tensão.

Fonte: (Próprio autor)

7.3.7. Estudo de Prova 04 - Resistência de Contato Seccionadora.

Tolerância de Aprovação	Chave Seccionadora Fechada		
	Entre a mesma Fase		
	$R - r'$	$S - s'$	$T - t'$
$\leq 250 \mu\Omega$	39 $\mu\Omega$	40 $\mu\Omega$	38 $\mu\Omega$

TABELA 51 - Valores do ensaio de contato chave seccionadora do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)

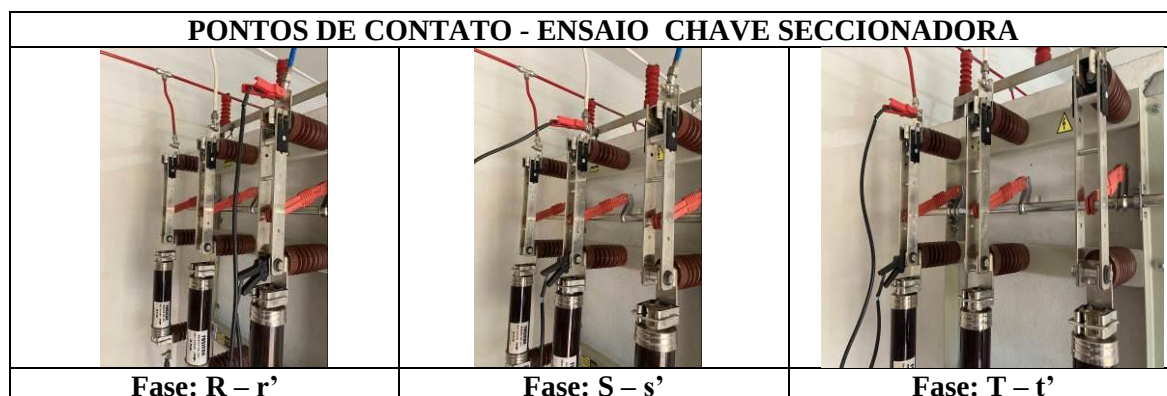


Figura 87 - Pontos de contato das garras do ensaio de resistência de contato.

Fonte: (Acervo do autor)

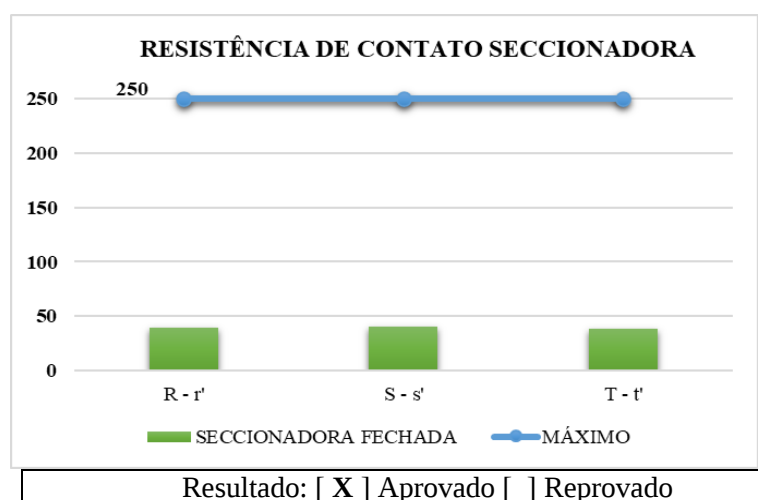


Gráfico 23 - Resistência de contato chave seccionadora do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)

7.3.8. Estudo de Prova 04 - Resistência de Isolação Seccionadora.

Tensão Aplicada	Tolerância de Aprovação	Chave Seccionadora Fechada					
		Entre Fases			Entre Fase e Carcaça		
10KV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	R - S	S - T	T - R	R - M	S - M	T - M
		1.9 T Ω	1.5 T Ω	1.6 T Ω	30.9 G Ω	34.4 G Ω	36 G Ω

TABELA 52 - Valores do ensaio de resistência de isolação seccionadora do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)

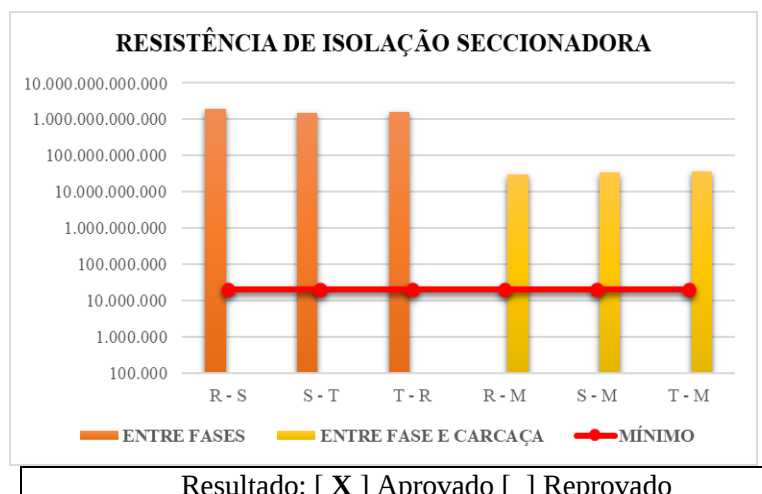


Gráfico 24 - Resistência de isolamento chave seccionadora do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)

Após a conclusão do estudo de prova 04 realizado na chave seccionadora de média tensão, os valores obtidos nos ensaios de resistência de isolamento e de contato foram analisados. Com base nesses resultados, é possível verificar se os valores são satisfatórios, indicando a integridade do equipamento. Os valores de resistência de contato foram inferiores a $250 \mu\Omega$, enquanto os de resistência de isolamento foram superiores a $20 M\Omega$, estando dentro dos padrões recomendados.

No ensaio de resistência de isolamento, verificou-se a capacidade da chave seccionadora de manter um isolamento adequado entre suas partes condutoras e a terra. Valores dentro dos padrões estabelecidos são um indicativo de um bom nível de isolamento dielétrico, como demonstrado na Tabela 52 e Gráfico 24, o que é essencial para garantir a segurança operacional do sistema elétrico.

No ensaio de resistência de contato, avaliou-se a eficiência das conexões elétricas da chave seccionadora. Valores adequados de resistência de contato, conforme demonstrado na Tabela 41 e Gráfico 23, garantem uma passagem eficiente da corrente elétrica, evitando perdas de energia e aquecimentos indesejados.

Portanto, com base nos valores analisados nos ensaios de resistência de isolamento e de contato, é possível determinar se a chave seccionadora está em condições satisfatórias de funcionamento ou se requer intervenções corretivas. Essas informações são essenciais para garantir a confiabilidade e a segurança das operações elétricas na subestação.

7.4 – ESTUDO DE PROVA - MUFLA DE ISOLAÇÃO

O estudo de prova realizado nas muflas de isolação teve como objetivo verificar a integridade desses equipamentos, levando em consideração suas características estruturais e os valores obtidos nos ensaios de resistência de isolação. A análise minuciosa desses estudos permite avaliar se as muflas estão em boas condições de funcionamento.

Durante o ensaio de resistência de isolação, foram coletados valores que refletem a capacidade das muflas de manter o isolamento adequado entre suas partes condutoras. Esses valores são cruciais para garantir a eficiência e a segurança do sistema elétrico. Através da análise detalhada desses resultados, é possível determinar se as muflas estão em boas condições de funcionamento ou se requerem intervenções corretivas.

Portanto, a partir do estudo de prova realizado e da análise dos valores obtidos nos ensaios de resistência de isolação, é possível obter informações precisas sobre a integridade das muflas de isolação. Essas informações são essenciais para garantir um desempenho confiável e seguro desses equipamentos nas subestações elétricas.

ESTUDO DE PROVA 01 – MUFLA DE ISOLAÇÃO	
Modelo: TFTI e TFTO	Bitola: 70 a 300mm
Modo de uso: Interno e Externo	Tensão Nominal: 35KV

TABELA 53 - Informações da mufla de isolação do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)

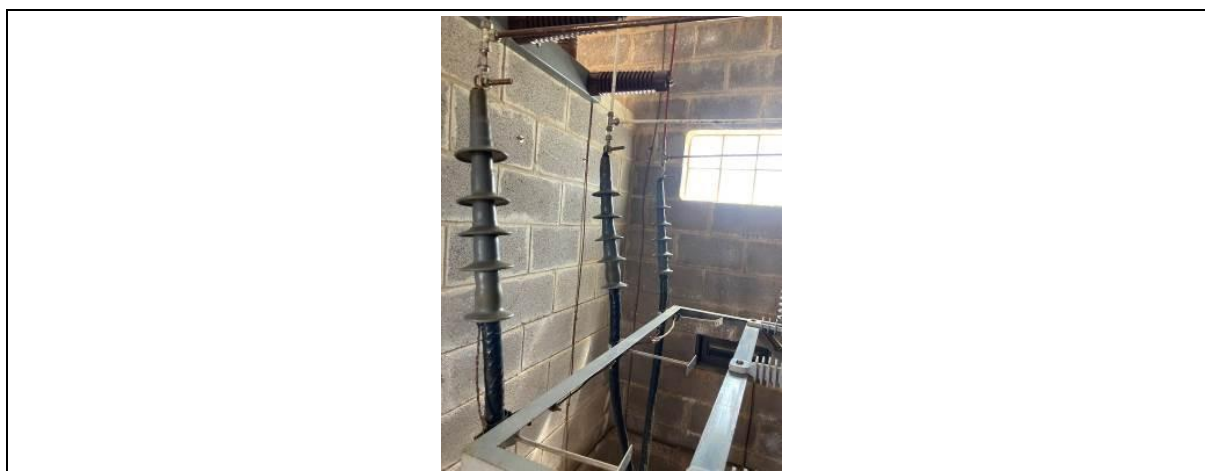


Figura 88 – Mufla de isolação do estudo de prova 01.

Fonte: (Acervo do autor)

7.4.1. Estudo de Prova 01 - Teste de Resistência de Isolação Mufla.

TENSÃO APLICADA	TOLERÂNCIA DE APROVAÇÃO	R	S	T
10 KV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	7.2 T Ω	4.24 T Ω	5.26 T Ω

TABELA 54 - Valores do ensaio de resistência de isolação mufla do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)



Gráfico 25 - Resistência de isolação mufla de isolação do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)

Após a conclusão do estudo de prova 01 da mufla de isolação, foram analisados os valores dos ensaios de resistência de isolação. Com base nesses resultados, é possível determinar se os valores estão dentro dos padrões estabelecidos e que o componente está em boas condições de funcionamento. Como demonstrados na Tabela 54 e Gráfico 25 os valores dos ensaios de resistência de isolação estão satisfatórios, indicando que a mufla de isolação apresenta uma boa integridade e capacidade de isolamento dielétrico.

Portanto, com base nos valores analisados, pode-se afirmar que a mufla de isolação está apta a desempenhar sua função de forma eficiente e confiável.

ESTUDO DE PROVA 02 – MUFLA DE ISOLAÇÃO	
Modelo: TFTI e TFTO	Bitola: 120 a 240mm
Modo de uso: Interno e Externo	Tensão Nominal: 35KV

TABELA 55 - Informações da mufla de isolação do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 89 – Mufla de isolamento do estudo de prova 02.

Fonte: (Acervo do autor)

7.4.2. Estudo de Prova 02 - Teste de Resistência de Isolação Mufla.

TENSÃO APLICADA	TOLERÂNCIA DE APROVAÇÃO	R	S	T
10 KV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	$>10 \text{ T}\Omega$	$>10 \text{ T}\Omega$	$>10 \text{ T}\Omega$

TABELA 56 - Valores do ensaio de resistência de isolamento mufla do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)



Gráfico 26 - Resistência de isolamento mufla de isolamento do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)

Após a conclusão do estudo de prova 02 da mufla de isolamento, os valores dos ensaios de resistência de isolamento foram analisados. Com base nesses resultados, é possível determinar se os valores estão em conformidade com os padrões estabelecidos e se o componente está em bom estado de funcionamento. Conforme apresentado na Tabela 56 e Gráfico 26, os valores

dos ensaios de resistência de isolamento encontram-se satisfatórios, o que indica que a mufla de isolamento demonstra uma integridade adequada e possui uma capacidade de isolamento dielétrico eficiente.

Portanto, com base nos valores analisados, podemos afirmar que a mufla de isolamento está apta a desempenhar sua função de maneira eficiente e confiável.

ESTUDO DE PROVA 03 – MUFLA DE ISOLAÇÃO	
Modelo: TFTI e TFTO	Bitola: 70 a 300mm
Modo de uso: Interno e Externo	Tensão Nominal: 35KV

TABELA 57 - Informações da mufla de isolamento do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 90 – Mufla de isolamento do estudo de prova 03.

Fonte: (Acervo do autor)

7.4.3. Estudo de Prova 03 - Teste de Resistência de Isolação Mufla.

TENSÃO APLICADA	TOLERÂNCIA DE APROVAÇÃO	R	S	T
10 KV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	298 G Ω	884 G Ω	418 G Ω

TABELA 58 - Valores do ensaio de resistência de isolamento mufla do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

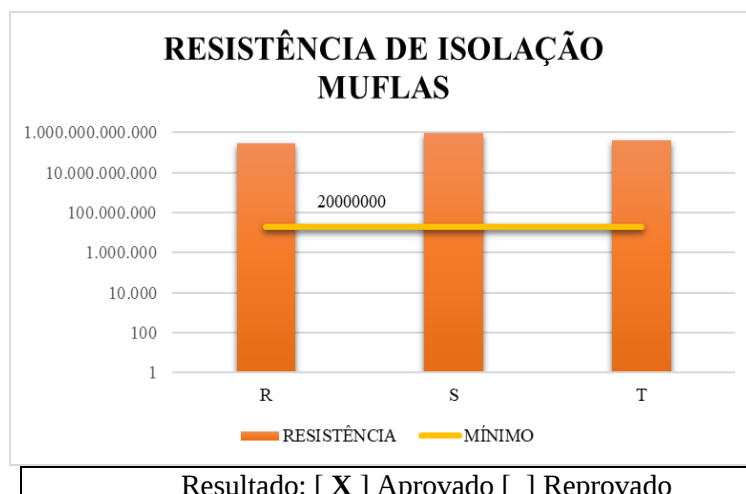


Gráfico 27 - Resistência de isolamento mufla de isolamento do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

Após a conclusão do estudo de prova 03 da mufla de isolamento, foram analisados os valores dos ensaios de resistência de isolamento. Com base nesses resultados, é possível determinar se os valores estão dentro dos padrões estabelecidos e que o componente está em boas condições de funcionamento. Como demonstrados na Tabela 58 e Gráfico 27 os valores dos ensaios de resistência de isolamento estão satisfatórios, indicando que a mufla de isolamento apresenta uma boa integridade e capacidade de isolamento dielétrico.

Portanto, com base nos valores analisados, pode-se afirmar que a mufla de isolamento está apta a desempenhar sua função de forma eficiente e confiável.

ESTUDO DE PROVA 04 – MUFLA DE ISOLAÇÃO	
Modelo: TFTI e TFTO	Bitola: 70 a 300mm
Modo de uso: Interno e Externo	Tensão Nominal: 35KV

TABELA 59 - Informações da mufla de isolamento do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)



Figura 91 – Mufla de isolamento do estudo de prova 04.

Fonte: (Acervo do autor)

7.4.4. Estudo de Prova 04 - Teste de Resistência de Isolação Mufla.

TENSÃO APLICADA	TOLERÂNCIA DE APROVAÇÃO	R	S	T
10 KV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	25,6 G Ω	22,8 G Ω	45 G Ω

TABELA 60 - Valores do ensaio de resistência de isolação mufla do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)

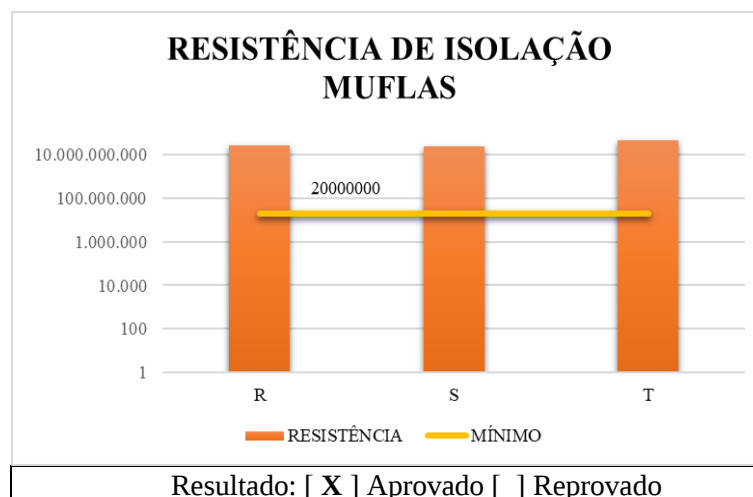


Gráfico 28 - Resistência de isolação mufla de isolação do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)

Após a conclusão do estudo de prova 04 da mufla de isolação, os valores dos ensaios de resistência de isolação foram analisados. Com base nesses resultados, é possível determinar se os valores estão em conformidade com os padrões estabelecidos e se o componente está em bom estado de funcionamento. Conforme apresentado na Tabela 60 e Gráfico 28, os valores dos ensaios de resistência de isolação encontram-se satisfatórios, o que indica que a mufla de isolação demonstra uma integridade adequada e possui uma capacidade de isolamento dielétrico eficiente.

Portanto, com base nos valores analisados, podemos afirmar que a mufla de isolação está apta a desempenhar sua função de maneira eficiente e confiável.

7.5 – ESTUDO DE PROVA - PARA-RAIOS

Durante a realização da manutenção em subestações elétricas, um importante aspecto a ser verificado é a integridade dos para-raios, responsáveis por proteger o sistema contra surtos de tensão. Para assegurar o bom funcionamento desses dispositivos, é realizado um estudo de prova que inclui a análise dos valores de resistência de isolação.

No estudo de prova dos para-raios, são coletados os valores dos ensaios de resistência de isolamento, os quais indicam a capacidade do equipamento em isolar adequadamente as correntes de surto. Essa análise é de suma importância para determinar se os para-raios estão em boas condições de funcionamento.

Por meio da análise detalhada dos valores obtidos nos ensaios de resistência de isolamento, é possível verificar se o componente está dentro dos padrões estabelecidos. Caso os valores estejam satisfatórios, isso evidencia que os para-raios apresentam uma adequada capacidade de isolar corretamente as correntes de surto, fornecendo a proteção necessária contra descargas atmosféricas.

Assim, a análise minuciosa dos valores coletados nos ensaios de resistência de isolamento é fundamental para determinar se os para-raios estão em boas condições de funcionamento.



Figura 92 – Para-raios do estudo de prova 01.

Fonte: (Acervo do autor)

7.5.1. Estudo de Prova 01 - Teste de Resistência de Isolação Para-Raios.

TENSÃO APLICADA	TOLERÂNCIA DE APROVAÇÃO	R	S	T
10 KV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	$>10 \text{ T}\Omega$	$>10 \text{ T}\Omega$	$>10 \text{ T}\Omega$

TABELA 61 - Valores do ensaio de resistência de isolamento para-raios do estudo de prova 01.

Fonte: (Próprio autor)

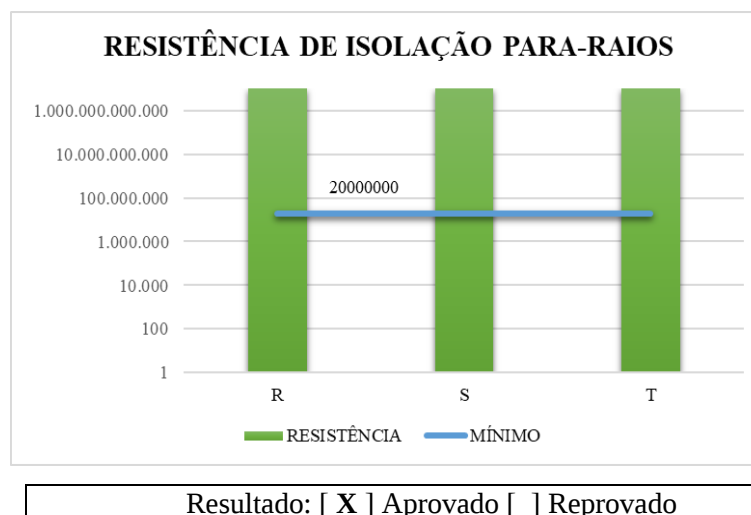


Gráfico 29 - Resistência de isolamento para-raios do estudo de prova 01.
 Fonte: (Próprio autor)

Após a conclusão do estudo de prova 01 realizado no para-raios, foi possível analisar os valores dos ensaios de resistência de isolamento. Com base nesses resultados, podemos afirmar que os valores estão dentro dos padrões estabelecidos e que os para-raios apresentam uma boa integridade e eficiência em seu desempenho.

Os valores dos ensaios de resistência de isolamento coletados estão satisfatórios, como demonstrado na Tabela 61 e Gráfico 29, o que indica que os para-raios têm a capacidade adequada de isolar as correntes de surto, oferecendo a proteção necessária contra descargas atmosféricas.

Dessa forma, com base nos valores analisados, podemos concluir que os para-raios estão aptos a cumprir sua função de forma eficiente e confiável, garantindo a segurança e a proteção do sistema elétrico contra surtos de tensão.



Figura 93 – Para-raios do estudo de prova 01.
 Fonte: (Acervo do autor)

7.5.2. Estudo de Prova 02 - Teste de Resistência de Isolação Para-Raios.

TENSÃO APLICADA	TOLERÂNCIA DE APROVAÇÃO	R	S	T
10 KV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	23.4 G Ω	162 G Ω	24 G Ω

TABELA 62 - Valores do ensaio de resistência de isolação para-raios do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)

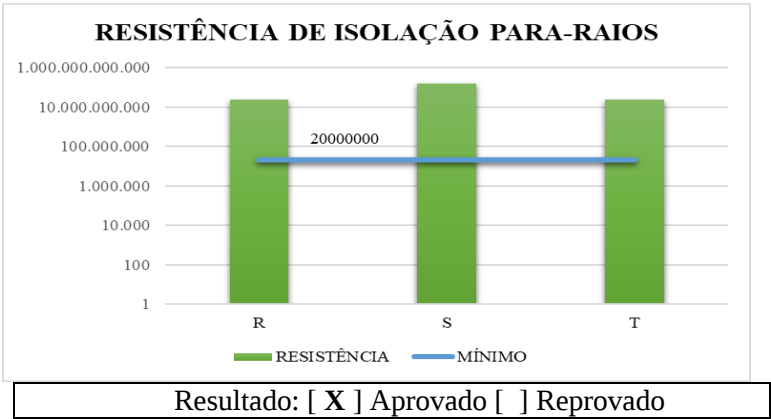


Gráfico 30 - Resistência de isolação para-raios do estudo de prova 02.

Fonte: (Próprio autor)

Após a conclusão do estudo de prova realizado no para-raios, procedeu-se à análise dos resultados dos ensaios de resistência de isolação. Os valores obtidos estão em conformidade com os padrões estabelecidos, evidenciando a integridade e eficiência do para-raios em seu desempenho. Os ensaios de resistência de isolação, cujos resultados foram registrados na Tabela 62 e no Gráfico 30, demonstram que o para-raios possui a capacidade adequada de isolar as correntes de surto, fornecendo a proteção necessária contra descargas atmosféricas. Diante dos valores analisados, é possível concluir que o para-raios está apto a desempenhar sua função de maneira confiável e eficiente, proporcionando a segurança e proteção necessárias ao sistema elétrico contra surtos de tensão.



Figura 94 – Para-raios do estudo de prova 01.

Fonte: (Acervo do autor)

7.5.3. Estudo de Prova 03 - Teste de Resistência de Isolação Para-Raios.

TENSÃO APLICADA	TOLERÂNCIA DE APROVAÇÃO	R	S	T
10 KV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	$>10 \text{ T}\Omega$	$>10 \text{ T}\Omega$	$>10 \text{ T}\Omega$

TABELA 63 - Valores do ensaio de resistência de isolação para-raios do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

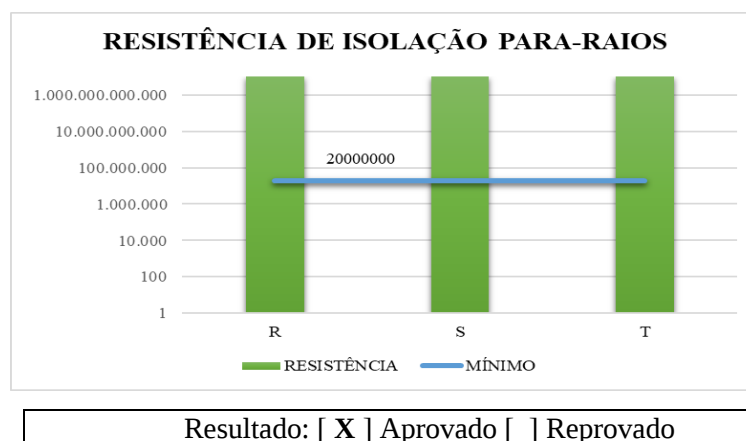


Gráfico 31 - Resistência de isolação para-raios do estudo de prova 03.

Fonte: (Próprio autor)

Após a conclusão do estudo de prova 01 realizado no para-raios, foi possível analisar os valores dos ensaios de resistência de isolação. Com base nesses resultados, podemos afirmar que os valores estão dentro dos padrões estabelecidos e que os para-raios apresentam uma boa integridade e eficiência em seu desempenho.

Os valores dos ensaios de resistência de isolação coletados estão satisfatórios, como demonstrado na Tabela 63 e Gráfico 31, o que indica que os para-raios têm a capacidade adequada de isolar as correntes de surto, oferecendo a proteção necessária contra descargas atmosféricas.

Dessa forma, com base nos valores analisados, podemos concluir que os para-raios estão aptos a cumprir sua função de forma eficiente e confiável, garantindo a segurança e a proteção do sistema elétrico contra surtos de tensão.



Figura 95 – Para-raios do estudo de prova 01.

Fonte: (Acervo do autor)

7.5.4. Estudo de Prova 04 - Teste de Resistência de Isolação Para-Raios.

TENSÃO APLICADA	TOLERÂNCIA DE APROVAÇÃO	R	S	T
10 KV	$\geq 20 \text{ M}\Omega$	1.02 T Ω	1.01 T Ω	1.57 T Ω

TABELA 64 - Valores do ensaio de resistência de isolamento para-raios do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)

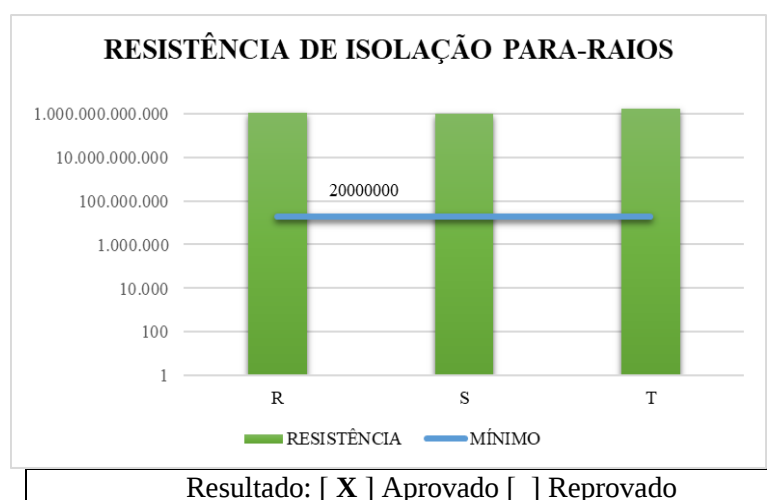


Gráfico 32 - Resistência de isolamento para-raios do estudo de prova 04.

Fonte: (Próprio autor)

Após a conclusão do estudo de prova realizado no para-raios, procedeu-se à análise dos resultados dos ensaios de resistência de isolamento. Os valores obtidos estão em conformidade com os padrões estabelecidos, evidenciando a integridade e eficiência do para-raios em seu desempenho. Os ensaios de resistência de isolamento, cujos resultados foram registrados na Tabela

64 e no Gráfico 32, demonstram que o para-raios possui a capacidade adequada de isolar as correntes de surto, fornecendo a proteção necessária contra descargas atmosféricas. Diante dos valores analisados, é possível concluir que o para-raios está apto a desempenhar sua função de maneira confiável e eficiente, proporcionando a segurança e proteção necessárias ao sistema elétrico contra surtos de tensão.

8.0 – CONSIDERAÇÕES FINAIS

Ao longo deste trabalho, foram abordados diversos aspectos relacionados aos procedimentos de manutenção em subestações elétricas. Iniciamos com a descrição dos três grandes blocos que compõem o sistema elétrico de potência, compreendendo a geração, transmissão e distribuição de energia elétrica. Em seguida, exploramos as diferentes classificações das subestações e discutimos os avanços das técnicas de manutenção ao longo dos anos, ressaltando suas particularidades e importância para garantir a confiabilidade e o desempenho do sistema.

Um dos pontos centrais deste estudo foi a análise detalhada dos equipamentos presentes em uma subestação de energia, destacando sua função e importância dentro do sistema. Enfatizamos os procedimentos de ensaios realizados em cada equipamento específico, tais como transformadores, disjuntores, chaves seccionadoras, muflas de isolamento e para-raios. Esses ensaios incluíram a verificação da resistência de isolamento, resistência de contato e teste de relação de espiras, cujos valores obtidos foram coletados em manutenções reais realizadas pelo próprio autor, garantindo a confiabilidade e a validade dos dados apresentados.

Os resultados dos ensaios realizados nos equipamentos das subestações demonstraram a importância da manutenção preventiva e periódica para garantir o bom funcionamento e a vida útil prolongada dos componentes elétricos. Os valores obtidos nos ensaios de resistência de isolamento, resistência de contato e relação de espiras encontravam-se parcialmente dentro dos padrões estabelecidos pelas normas técnicas, indicando por maior parte a integridade e eficiência dos equipamentos analisados.

Portanto, concluímos que os procedimentos de manutenção em subestações elétricas, aliados aos ensaios realizados em cada equipamento específico, desempenham um papel fundamental na garantia da operação segura e confiável do sistema elétrico de potência. A análise dos valores obtidos nos ensaios demonstrou a eficácia dessas práticas, fornecendo informações precisas sobre o estado dos equipamentos e permitindo a tomada de decisões embasadas em dados reais. Espera-se que este trabalho contribua para o aprimoramento dos procedimentos de manutenção em subestações elétricas, se tornando um exemplar e guia para empresas ou profissionais que almejam o conhecimento relacionado aos procedimentos adotados em uma manutenção de subestações elétricas, para que sirva de modelo a ser seguido, para assim continuar contribuindo para a melhoria contínua do setor elétrico e o fornecimento de energia elétrica de qualidade à sociedade.

9.0 – REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) **ABNT NBR IEC 60601-1 Equipamento eletromédico.** [s.l: s.n.].
- (2) **ABNT NBR IEC 62271-102.** , 2006.
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410 instalações elétricas de baixa tensão.** , 2004.
- (4) **BEN - Relatório Síntese 2022.** . [s.l: s.n.].
- (5) C. DUGAN, R. et al. **Electrical Power Systems Quality**,. [s.l: s.n.].
- (6) CARLETO, N. **Subestações Elétricas.** [s.l: s.n.].
- (7) E. EL-HAWARY, M. **Electrical power systems design and analysis.** 1995.
- (8) FARDO, S. W.; PATRICK, D. R. **Electrical Power Systems Technology;** [s.l: s.n.].
- (9) GRIGSBY, L. L. **Electric Power Substations Engineering.** [s.l: s.n.].
- (10) **IEEE 902-1998 - IEEE guide for maintenance, operation, and safety of industrial and commercial power systems.** [s.l.] Institute of Electrical and Electronics Engineers, 1998.
- (11) **INTERNATIONAL STANDARD NORME INTERNATIONALE IEC 62271-100.** , 2008. Disponível em: <www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm>
- (12) **Lei N° 8.987 DE 1995.** , 1995.
- (13) **MAMEDE FILHO, J. Instalações Elétricas Industriais 9ª Ed. Mamede.** [s.l: s.n.].

- (14) MAMEDE FILHO, J. **Subestação de Alta Tensão**. [s.l: s.n.].
- (15) **Manual de Instruções - Medidor Digital de Relação de Transformação**. . São Paulo - SP: [s.n.]. Disponível em: <www.InstruteMp.coM.br>.
- (16) **NBR 5462 - Confiabilidade e manutenibilidade**. , 1994.
- (17) **NBR 14039 - ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas**. , 2003. Disponível em: <www.abnt.org.br>
- (18) **NR 06 - Equipamento de Proteção Individual - EPI**. , 2022.
- (19) **NR 10-SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE**. , 2019.
- (20) SCHLABBACH, J.; ROFALSKI, K.-H. **Power System Engineering Planning, Design, and Operation of Power Systems and Equipment**. [s.l: s.n.].