



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

ANDRÉIA DA SILVA GOMES

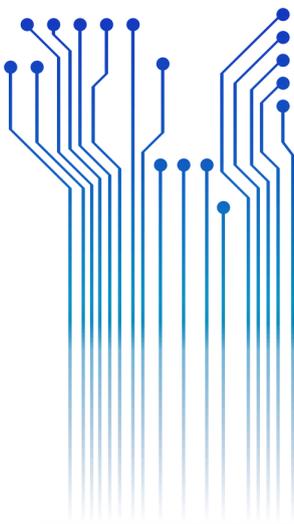


Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO SUPERVISIONADO NO
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO - UFCG



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande - PB
Maio de 2021

ANDRÉIA DA SILVA GOMES

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO SUPERVISIONADO NO LABORATÓRIO
DE ALTA TENSÃO - UFCG

*Relatório de estágio supervisionado submetido
à Coordenação do Curso de Engenharia
Elétrica da Universidade Federal de Campina
Grande como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Orientador:
Professor George Rossany Soares de Lira, D. Sc.

Campina Grande
2021

ANDRÉIA DA SILVA GOMES

ATIVIDADES DESENVOLVIDAS DURANTE O ESTÁGIO SUPERVISIONADO NO LABORATÓRIO
DE ALTA TENSÃO - UFCG

*Relatório de estágio supervisionado submetido
à Coordenação do Curso de Engenharia
Elétrica da Universidade Federal de Campina
Grande como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do grau de Bacharel em
Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.*

Aprovado em 27 / 05 / 2021

Professor Pablo Bezerra Vilar, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador, UFCG

Professor George Rossany Soares de Lira, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à Deus. Minha fonte de força e fé. Sem ele nada seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

Agradeço à minha mãe, Socorro e ao meu pai Gilvan, por terem se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, por terem me alimentado com saúde, força e coragem, as quais foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada. Amo muito vocês.

Agradeço ao meu irmão Eduardo, e as minhas irmãs Eliane e Elaine, pelos conselhos acadêmicos, e todo amor e apoio nos momentos difíceis.

Agradeço ao meu orientador, o professor George Rossany Soares de Lira, pela orientação e pela confiança em mim depositada.

Agradeço também aos alunos da pós-graduação e a equipe técnica do LAT, por me transmitirem um pouco dos seus conhecimentos e me ajudarem nas atividades do estágio.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, contribuíram positivamente durante o meu estágio.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo.”

Winston Churchill.

RESUMO

Neste relatório serão descritas as atividades desenvolvidas pela aluna Andréia da Silva Gomes durante o Estágio Curricular Supervisionado, com carga horária de 360 horas, realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG. As atividades desenvolvidas durante o estágio ocorreram no período compreendido entre fevereiro e abril de 2021, as quais foram divididas entre atividades presenciais e remotas. Durante o processo do estágio, foi possível participar de ensaios elétricos, confecção de artigo técnico, estudo de normas técnicas, prestação de serviços para empresas e confecção de um manual com levantamento de ensaios de equipamentos elétricos que podem ser realizados no LAT.

Palavras-chave: ensaios elétricos, normas técnicas, artigo técnico, comissionamento de equipamentos, LAT, UFCG.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fachada do LAT	14
Figura 2 - Arranjo utilizado para ensaio em ferramentas isoladas.	19
Figura 3 - Montagem do arranjo proposto para ensaio de ferramentas isoladas.	19
Figura 4 - Cabo de Alumínio Nu com Alma de Aço.....	21
Figura 5 - Cabos aprovados na inspeção visual (esquerda) e a amostra reprovada nº06 (direita).	22
Figura 6 - Amostras com seu encordoamento desfeito e com fios para ensaio separados.	22
Figura 7 - Fios de alumínio antes e após a limpeza.....	23
Figura 8 - Medição do fio de alumínio utilizando o micrômetro.	23
Figura 9 - Montagem do ensaio utilizado para medição da resistência elétrica.	25
Figura 10 - Fotografia do Analisador de Enrolamentos WA 2293.....	25
Figura 11 - Fotografia dos varistores de ZnO do LAT.....	28
Figura 12 - (a) arranjo experimental para realização dos ensaios; (b) esquema representativo da estufa térmica.	29
Figura 13 - Montagem utilizada no ensaio de envelhecimento dos varistores.....	29
Figura 14 - Montagem utilizada para medir a tensão de referência dos varistores.	30
Figura 15 - Fotografia do kit de alta tensão montado.....	31
Figura 16 - Fotografia lateral do kit montado.....	32
Figura 17 – Bastidores da gravação da vídeo aula de resistividade do solo.....	32
Figura 18 - Bastidor da gravação da vídeo aula de ensaio em transformadores.	33
Figura 19 - Interface do aplicativo para o LAT.....	34

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados do ensaio da isolação de ferramentas manuais.....	20
Tabela 2 - Dados do ensaio de verificação do diâmetro dos fios de aço e alumínio.....	24
Tabela 3 - Dados do ensaio para determinação da resistividade dos fios de alumínio...	27
Tabela 4 - Dados do ensaio de tensão de referência.....	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BHT	Beijing Huatian Mechanical-Electrical Institute Co., Ltd
ETU	Especificação Técnica Unificada
GAT	Grupo de Alta Tensão
LAT	Laboratório de Alta Tensão
NBR	Normas Técnicas Brasileiras
OLTC	On-Load Tap Changer
WA	Winding Analyser
ZnO	Óxido de Zinco

SUMÁRIO

1	Introdução	12
1.1	Objetivos	12
1.2	Estrutura do Documento	13
2	Laboratório de Alta Tensão	14
2.1	Salão de Alta Tensão	15
2.2	Sala do Kit de Alta Tensão	16
2.3	Sala do Gerador de Impulso de Corrente	16
2.4	Sala da Câmara de Névoa	17
3	Atividades Realizadas	18
3.1	Ensaio elétrico em Ferramentas Manuais	18
3.1.1	Ensaio em Ferramentas Isoladas	18
3.2	Ensaio em Cabos de Alumínio com Alma de Aço	21
3.2.1	Inspeção Visual das Amostras dos Cabos	21
3.2.2	Ensaio de Verificação do Diâmetro dos Fios	22
3.2.3	Ensaio de Resistividade Elétrica dos Fios de Alumínio	24
3.3	Ensaio em Varistores de ZnO	28
3.4	Montagem do Kit da BHT	31
3.5	Apoio à Gravação de Vídeos para a Disciplina de Equipamentos Elétricos ...	32
3.6	Atividades da Modalidade Remota	33
3.7	Outras Atividades	34
4	Conclusão	35
	Referências	36
	APÊNDICE A – Artigo Sobre Aterramento	37
	APÊNDICE B – Levantamento dos Ensaios em Equipamentos Elétricos Realizados no LAT	40
	ANEXO A – Ensaio de Envelhecimento Acelerado em Varistores de ZnO	80

1 INTRODUÇÃO

Este documento é referente ao estágio curricular obrigatório do curso de engenharia elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Durante o estágio foi possível aplicar os conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso, os conhecimentos das disciplinas de equipamentos elétricos e instalações elétricas foram fundamentais para o desenvolvimento das atividades práticas.

O estágio foi realizado de acordo com as normas estabelecidas pela universidade, com carga horária semanal de 40 horas, totalizando 360 horas cumpridas entre os dias 22 de fevereiro e 27 de abril de 2021. Em decorrência do maior colapso sanitário e hospitalar da história do Brasil, segundo o Boletim Extraordinário do Observatório Covid-19 Fiocruz, as atividades do estágio, até então presencial, foram suspensas em 19 de março e continuadas na modalidade remota. O setor de realização do estágio presencial foi o Laboratório de Alta Tensão – LAT, bloco CF, da Universidade Federal de Campina Grande.

As atividades realizadas ao longo do estágio foram acompanhadas presencialmente pelo corpo técnico do laboratório, contando com técnicos, engenheiros e alunos de pós-graduação. Foi realizada atividade de auxílio à pesquisa, como o acompanhamento de ensaio em varistores de ZnO, atividades em auxílio a serviços do laboratório, a exemplo: serviços de teste da isolação de ferramentas manuais; montagem do kit de alta tensão da BHT e também ensaio em cabos de alumínio com alma de aço. Por fim, atividades remotas desenvolvidas a pedido dos engenheiros do laboratório, como confecção de um artigo técnico sobre aterramento para divulgação na plataforma LinkedIn do LAT e o levantamento dos ensaios em equipamentos elétricos que podem ser realizados pelo Laboratório.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo principal do estágio foi proporcionar experiências profissionais, por meio da prestação de serviços de engenharia para empresas parceira, ampliando assim a

bagagem de conhecimento devido principalmente ao contato direto com profissionais experientes de engenharia elétrica.

Alguns dos objetivos específicos do estágio supervisionado são: acompanhar ensaios elétricos de alta tensão, estudar e executar ensaios propostos em normas técnicas, auxiliar na montagem de kits de alta tensão e serviços do laboratório em geral.

1.2 ESTRUTURA DO DOCUMENTO

No Capítulo 1, apresentaram-se uma introdução a cerca do estágio obrigatório e os seus objetivos.

No Capítulo 2, apresentar-se-ão as partes que constituem o Laboratório de Alta Tensão (LAT) no qual foram desenvolvidas as atividades presenciais.

No Capítulo 3, as atividades realizadas no LAT e na modalidade remota, durante o estágio supervisionado.

No Capítulo 4, por fim, as conclusões a respeito do estágio supervisionado realizado.

2 LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

Implantado em 1974, através de uma associação de recursos nacionais com os de algumas cooperações técnicas internacionais, o laboratório entrou em operação em 1975, passando a ser utilizado no desenvolvimento de atividades de ensino e pesquisa pelo Grupo de Alta Tensão (GAT) da UFPB – que viria a se tornar UFCG em 2002. É, na sua especialidade, um dos melhores laboratórios em termos de equipamentos do Norte-Nordeste do país, com uma área construída de 1.350 m². O LAT possui equipamentos modernos e um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e técnicos dos mais qualificados e experientes. A parte externa do LAT pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 - Fachada do LAT



Fonte: Barbosa (2019)

O conhecimento técnico de diversas áreas da eletrotécnica permite a realização de ensaios e serviços de grande porte. Diversas empresas têm parceria com o LAT, seja por meio de serviços ou projetos de Pesquisa e Desenvolvimento (P&D). Podem ser citadas empresas como a CHESF, LIGHT, CELPE, ENEL, Energisa, Energy, Engeselt, entre outras.

Dentre seus equipamentos mais importantes, estão:

- Gerador de Impulsos de Corrente (GIC) de até 100 kA;
- Gerador de Impulso de Tensão (GIT) com capacidade de 2 MV impulsivo;
- Fontes de Alta Tensão AC de 600 kV e de 100 kV;
- Câmara de névoa e poluição;
- Detector de descargas parciais;
- Medidores de tangentes de perdas, fator de potência e de rigidez dielétrica.

Atualmente, o laboratório é composto pelos seguintes ambientes: Salão de Alta Tensão (SAT), Sala de GIC, Sala do Kit de Alta Tensão (SKAT), Sala da Câmara de Névoa (SCN), Sala de Testes com Disjuntores (STD), Laboratório de Eletrônica Aplicada à Sistemas Elétricos (LEASE), Laboratório de Qualidade de Energia Elétrica (LQEE) e Laboratório de Inteligência Aplicada a Sistemas Elétricos (LIASE). Além de dois auditórios e uma sala de reunião. Outros ambientes são: salas de professores-pesquisadores, de pós-graduação, de graduação e de P&D.

2.1 SALÃO DE ALTA TENSÃO

O Salão de Alta Tensão é considerado o principal ambiente dentro do LAT. Neste ambiente são realizados os ensaios mais exigentes em termos de potência, visto que possui equipamentos como transformadores de potencial em cascata, que permitem a aplicação de até 600 kV, e o gerador de impulsos de alta tensão (700 kV), com o qual se realizam ensaios em transformadores, isoladores, disjuntores e chaves.

A cascata de transformadores pode suprir tensões de até 600 kV com uma corrente de 1 A. Dentre os ensaios realizados neste salão tem-se: ensaios de validação de modelos computacionais, ensaios de envelhecimento, ensaios de descargas, e ensaios de verificação de isolamento em equipamentos manutenção de linha viva.

2.2 SALA DO KIT DE ALTA TENSÃO

Esse ambiente dispõe de um kit de alta tensão, composto por transformador de 5 kVA, que eleva a tensão até 100 kVA a partir de uma entrada de 220 V, ainda dispõe de:

- Capacitores de alta tensão;
- Resistores de alta tensão;
- Espinterômetros;
- Tubos para descargas em gases ou vácuo, dentre outros.

Também estão presentes uma mesa controladora que aciona um regulador de tensão por comandos manuais, além de uma Ponte de Schering e capacitores padrão. Por possuir dimensões compactas, o kit de alta tensão facilita a execução de diversos experimentos, como por exemplo, ensaios de suportabilidade de cadeias de isoladores.

2.3 SALA DO GERADOR DE IMPULSO DE CORRENTE

O Gerador de Impulso de Corrente (GIC) é um equipamento de fabricação da Haefely. Basicamente, o GIC é um circuito capaz de gerar correntes impulsivas de elevadas magnitudes (até 100 kA) em um intervalo de tempo da ordem de microssegundos (μs). Esse gerador possui oito estágios, em que cada estágio é formado por um capacitor de 2 μF (100 kV) em série com um resistor. Os estágios podem ser interligados em paralelo, de forma a aumentar a energia liberada no impulso de corrente. Uma fonte de alimentação alternada com tensão regulável entre 0 e 220 V, acoplada a um transformador de alta tensão é capaz de elevar a tensão de pico do secundário até 100 kV. A função da fonte de alimentação é carregar os capacitores. A tensão de carregamento é ajustada por meio da mesa de controle do GIC. O objeto de teste, ao qual se deseja aplicar a corrente impulsiva, é colocado na malha de descarregamento, de forma que toda a corrente de descarregamento dos capacitores passe pelo objeto de teste. O GIC é um dos equipamentos mais importantes do LAT. Poucas instituições no Brasil dispõem desse equipamento. O mesmo tem sido utilizado para diversos objetivos, tais como: ensaios de equipamentos e pesquisas envolvendo aterramentos e para-raios.

2.4 SALA DA CÂMARA DE NÉVOA

O ambiente da câmara de névoa, permite os ensaios de equipamentos elétricos sob condição de chuva ou névoa. O ambiente conta com um circuito elétrico e uma montagem específica de dutos de ar e água para ensaios de acordo com normas nacionais e internacionais. Alguns ensaios são realizados na câmara de névoa, a saber: ensaio de tensão suportável sob chuva, ensaio de tensão disruptiva sob chuva, ensaio de trilhamento e erosão e ensaio de poluição artificial.

3 ATIVIDADES REALIZADAS

No decorrer deste Capítulo serão apresentadas as atividades desenvolvidas no Estágio Supervisionado realizado no Laboratório de Alta Tensão e as atividades desenvolvidas na modalidade remota. As atividades laboratoriais foram acompanhadas por engenheiro, alunos da pós-graduação ou técnicos do LAT.

3.1 ENSAIO ELÉTRICO EM FERRAMENTAS MANUAIS

As ferramentas manuais destinadas a trabalhos sob tensões de até $1.000 V_{CA}$ ou $1.500 V_{CC}$ devem ter isolamento para proteção dos eletricitistas contra choques elétricos, uma vez que acidentes com eletricidade, podem ser causados por falhas no isolamento dessas ferramentas.

De acordo com a NR 10 item 10.4.3.1, os equipamentos, dispositivos e ferramentas que possuam isolamento elétrico devem estar adequados às tensões envolvidas, serem inspecionados e testados de acordo com as regulamentações existentes ou recomendações dos fabricantes.

A IEC 60900 é a norma europeia de isolamento para ferramentas manuais, onde são definidos os parâmetros de fabricação e testes aos quais as ferramentas serão submetidas para garantir uma utilização segura ao trabalhador.

O ensaio descrito a seguir foi realizado no LAT, sob as exigências da IEC 60900, e solicitado por uma empresa de encomendas. Os equipamentos utilizados no ensaio foram:

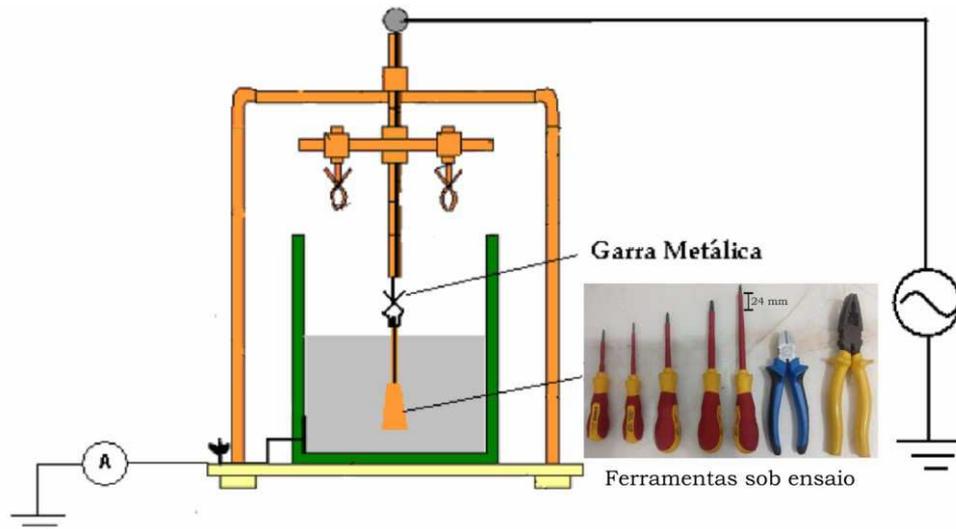
- Gerador de Tensão AC, 120 kV – 0,1 A;
- Multímetro Digital MINIPA/ET – 2940;
- Termo-Higrômetro HIKARI/HTH – 240.

3.1.1 ENSAIO EM FERRAMENTAS ISOLADAS

As ferramentas manuais isoladas para eletricitistas devem ser submetidas a ensaios dielétricos através da aplicação de um nível de tensão eficaz, entre a parte metálica do terminal de tensão de saída do transformador e o cabo de aterramento,

durante 3 minutos, conforme NBR 9699:2015. A parte isolada das ferramentas, sob ensaio, ficaram apenas com 24 mm do isolamento exposto ao ambiente. O arranjo do ensaio é representado na Figura 2.

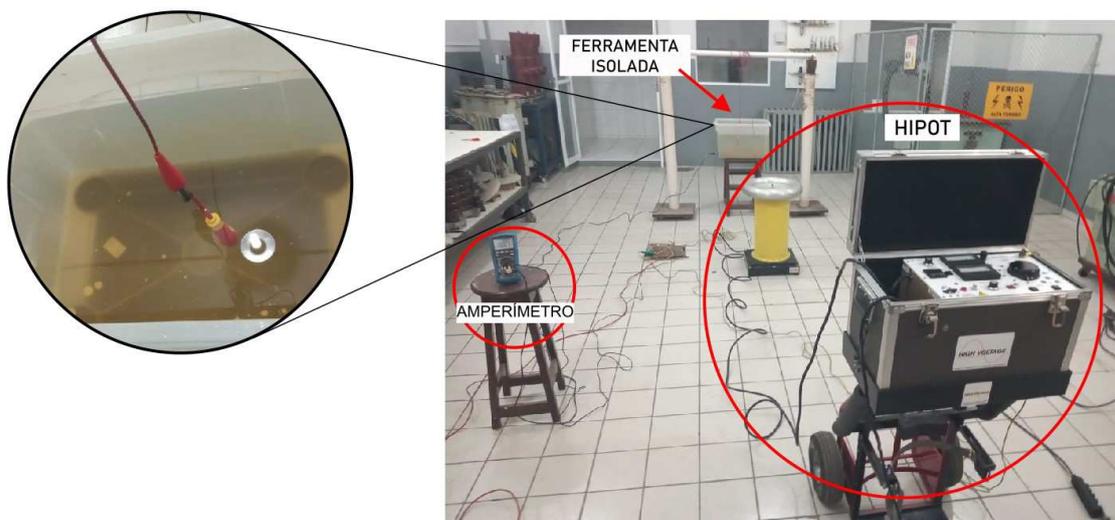
Figura 2 - Arranjo utilizado para ensaio em ferramentas isoladas.



Fonte: Adaptado de Copel (2007)

O ensaio se deu com o aumento gradual da tensão até atingir o nível de tensão de ensaio de ferramentas manuais isoladas, 10 kV, tensão essa que foi mantida por 3 minutos. A Figura 3 apresenta fotografias do ensaio relatado.

Figura 3 - Montagem do arranjo proposto para ensaio de ferramentas isoladas.



Fonte: Própria.

Decorrido o tempo do ensaio, diminuiu-se gradativamente o valor da tensão à zero. Durante o ensaio, os valores inicial (imediatamente após a contagem) e final (próximo dos 3 minutos) da corrente de fuga foram medidos e registrados, conforme apresentado na Tabela 1. Para que as ferramentas sejam consideradas aprovadas no teste, a corrente de fuga medida no eletrodo de aterramento, que percorre através da ferramenta, não poderá exceder o valor 1 mA para cada 200 mm de cobertura isolante. A corrente de fuga máxima suportada pelas chaves Philips e fenda puderam ser encontradas pela relação (1) a seguir:

$$\frac{1\text{mA}}{200\text{ mm}} = \frac{X\text{ mA}}{\text{parte isolante (mm)}} \quad (1)$$

Tabela 1 - Dados do ensaio da isolação de ferramentas manuais.

Item	Tipo	Fabricante	Corrente de fuga máxima (mA)	Corrente de fuga (mA)	Laudo
01	Chave Philips PH0 x 60 mm	Sata	0,30	0,08 / 0,07	Aprovado
02	Chave Fenda 2,5 x 75 mm	Sata	0,375	0,07 / 0,08	Aprovado
03	Chave Philips PH1 x 80 mm	Sata	0,40	0,10 / 0,09	Aprovado
04	Chave Philips PH2 x 100 mm	Sata	0,50	0,15 / 0,14	Aprovado
05	Chave Fenda 5,5 x 125 mm	Sata	0,625	0,16 / 0,16	Aprovado
06	Alicate Universal	Belzer	-	0,59 / 0,57	Aprovado
07	Alicate de corte diagonal	Gedore	-	0,47 / 0,45	Aprovado

Fonte: Própria

3.2 ENSAIO EM CABOS DE ALUMÍNIO COM ALMA DE AÇO

Os cabos condutores são formados por fios encordoados, sobrepostos em camadas, formando uma estrutura cilíndrica, como representado na Figura 4. Os cabos de alumínio nu com alma de aço são um dos tipos mais utilizados em linhas aéreas de transmissão de energia elétrica.

Figura 4 - Cabo de Alumínio Nu com Alma de Aço.



Fonte: ETU (2019)

De acordo com a ETU 113, em média a vida útil, mínima, dos cabos de alumínio nu com alma de aço é de 45 anos a partir da data de fabricação, logo em processos de reformas de LTs os cabos podem ser reaproveitados, desde que comprovado que suas propriedades elétricas e mecânicas não foram alteradas.

O ensaio descrito a seguir foi realizado no LAT, em conformidade com as normas NBR 7270, NBR 5118, NBR 15443, NBR 6756, NBR 15583 e NBR 6810, e solicitado por uma empresa de distribuição de energia.

3.2.1 INSPEÇÃO VISUAL DAS AMOSTRAS DOS CABOS

Os cabos de alumínio com alma de aço devem ser submetidos a uma inspeção visual, devem ser verificados desgastes dos cabos, conferir a quantidade de fios de alumínio (26 unidades) e fios de aço (7 unidades) e o encordoamento deve atender o item 8.6 da NBR 7270. As 10 amostras de cabos submetidas aos ensaios foram separadas e nomeadas de 1 a 10 para não precisar da referência externa (especificação da linha, local, fase, etc.).

Todas as amostras com exceção da amostra nº06 foram aprovadas na inspeção visual, ver Figura 5. A amostra nº06 não possuía uniformidade no encordoamento, pois só apresentou 25 fios de alumínio.

Figura 5 - Cabos aprovados na inspeção visual (esquerda) e a amostra reprovada nº06 (direita).



Fonte: Própria

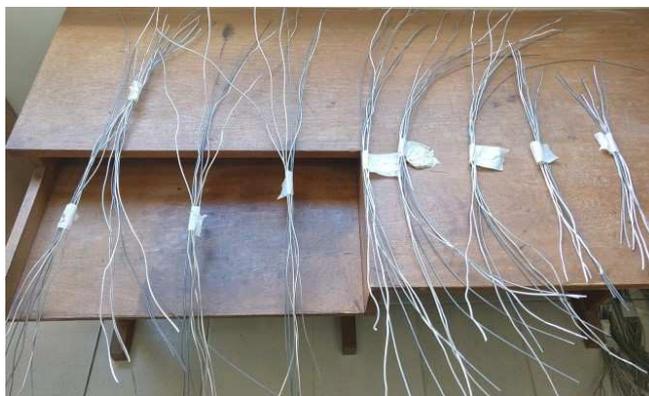
3.2.2 ENSAIO DE VERIFICAÇÃO DO DIÂMETRO DOS FIOS

As características dimensionais dos fios de alumínio componentes dos cabos devem estar de acordo com a norma vigente:

Os fios componentes do cabo, antes do encordoamento, devem atender aos requisitos dimensionais, mecânicos e elétricos especificados na ABNT NBR 5118 para os fios de alumínio e ABNT NBR 6756 para os fios de aço zincados. O diâmetro dos fios deve ser verificado de acordo com 8.1. Medição do diâmetro dos fios (ABNT NBR 7270, item 4.2.1).

Todas as amostras aprovadas no primeiro ensaio tiveram seu encordoamento desfeito para o ensaio de verificação do diâmetro dos fios, ver Figura 6. Separando-se de cada amostra 2 fios de alumínio, de cada camada, e 3 fios de aço, sendo um fio central, os fios foram limpos com esponja de aço para remoção da sujeira, ver Figura 7.

Figura 6 - Amostras com seu encordoamento desfeito e com fios para ensaio separados.



Fonte: Própria

Figura 7 - Fios de alumínio antes e após a limpeza.



Fonte: Própria

A medição do diâmetro dos fios deve ser efetuada no ponto médio das amostras, em duas direções perpendiculares entre si, por um micrômetro de resolução centesimal com duas casas decimais, conforme a norma (NBR 15443). A Figura 8 apresenta uma fotografia do ensaio de medição.

Figura 8 - Medição do fio de alumínio utilizando o micrômetro.



Fonte: Própria

Na Tabela 2 são apresentadas as médias aritméticas dos valores dos diâmetros dos fios de aço e alumínio ensaiadas.

Tabela 2 - Dados do ensaio de verificação do diâmetro dos fios de aço e alumínio.

Amostra	1 Aço (mm)	2 Aço (mm)	3 Aço (mm)	1 Al (mm)	2 Al (mm)	3 Al (mm)	4 Al (mm)
01	2,10	2,05	2,10	2,59	2,58	2,60	2,59
02	2,05	2,05	2,05	2,57	2,59	2,59	2,59
03	2,05	2,05	2,02	2,57	2,58	2,60	2,57
04	2,02	2,01	2,02	2,57	2,58	2,57	2,57
05	2,02	2,02	2,02	2,56	2,57	2,59	2,56
06	-	-	-	-	-	-	-
07	2,03	2,02	2,02	2,58	2,56	2,57	2,58
08	2,01	2,03	2,03	2,56	2,58	2,57	2,58
09	2,01	2,01	2,03	2,58	2,57	2,57	2,57
10	2,10	2,01	2,02	2,56	2,58	2,56	2,56

Fonte: Própria

Em conformidade com a NBR 5118, a tolerância no diâmetro nominal dos fios de alumínio pode variar em $\pm 1\%$. Logo, os fios de alumínio avaliados, de diâmetro nominal de 2,57 mm, podem apresentar diâmetro nominal no intervalo de 2,54 mm a 2,60 mm. Os fios de alumínio ensaiados foram aprovados no ensaio de diâmetro.

Para os fios de aço a NBR 6756 estabelece que, a tolerância no diâmetro dos fios pode variar em 0,08 mm para menos e 0,10 mm para mais. Sendo assim, os fios de aço avaliados, de diâmetro nominal de 2,00 mm, podem apresentar diâmetro no intervalo de 1,92 mm a 2,10 mm. Todos os fios de aço ensaiados estão dentro dos limites da norma.

3.2.3 ENSAIO DE RESISTIVIDADE ELÉTRICA DOS FIOS DE ALUMÍNIO

Em conformidade com a NBR 6815:2015, a medição de resistência elétrica das amostras de fios de alumínio é realizada à temperatura ambiente e através de uma ponte Kelvin, para resistências inferiores a 1 Ω . A Figura 9 apresenta o arranjo experimental deste ensaio.

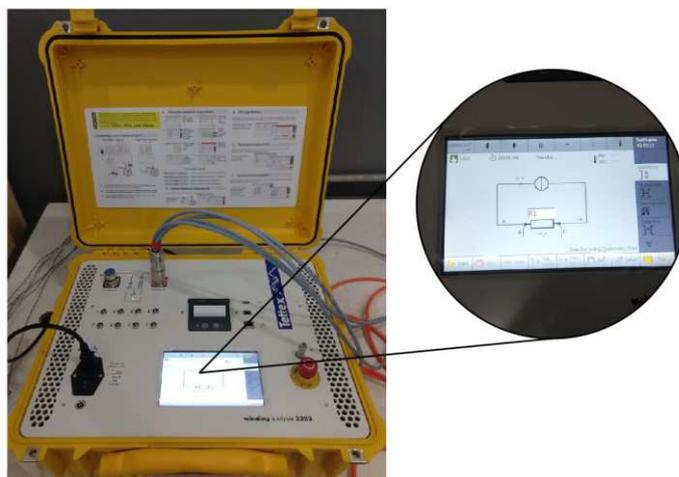
Figura 9 - Montagem do ensaio utilizado para medição da resistência elétrica.



Fonte: Própria

O instrumento de medição utilizado no ensaio foi o Analisador de Enrolamentos WA 2293, ver Figura 10. Esse instrumento é capaz de medir resistências elétricas na faixa de $0,1 \mu\Omega$ até $300 \text{ k}\Omega$, além disso, ele combina ensaios de resistência de enrolamentos, desmagnetização, relação de transformação, detecção dos enrolamentos, curva de resfriamento, resistência dinâmica no OLTC e impedância de curto-circuito.

Figura 10 - Fotografia do Analisador de Enrolamentos WA 2293



Fonte: Própria

Para a medição da resistência elétrica foram selecionadas 5 amostras, das 9 disponíveis para ensaio, cada uma contendo 4 fios de alumínio. O fio de alumínio disposto entre dois isoladores, tem uma corrente de 8 A percorrida por ele, o WA 2293 lê a diferença de potencial entre as garras e apresenta o valor da resistência encontrada em seu visor, para cada unidade de fio ensaiado a resistência foi medida 3 vezes. De acordo com a NBR 5118:2007, a resistência elétrica do fio de alumínio deve ser corrigida para a temperatura de 20°C, com a utilização da fórmula (2) a seguir.

$$R_{20} = R_t \left(\frac{1}{1 + \alpha(t - 20)} \right) \quad (2)$$

Onde:

t é a temperatura na qual foi efetuada a medição, em graus Celsius;

R_t é a resistência a t °C;

R₂₀ é a resistência a 20°C;

α é o coeficiente de variação com a temperatura 20°C = 0,00403(°C)⁻¹.

A Tabela 3 apresenta os valores médios das resistências encontradas pelo WA 2293, a temperatura ambiente no momento do ensaio para cada medição, os valores das resistências corrigidas pela fórmula dada anteriormente e o valor calculado da resistividade de todos os fios ensaiados.

Tabela 3 - Dados do ensaio para determinação da resistividade dos fios de alumínio.

Cabo	Fio	R _t média (Ω)	Temperatura do ensaio (°C)	R ₂₀ (Ω)	Resistividade (Ω mm)
2	1	4,18	27,9	4,05	0,028538
	2	4,17	27,9	4,04	0,025983
	3	4,21	27,9	4,08	0,028153
	4	4,35	28,1	4,21	0,028141
3	1	5,48	28,3	5,30	0,028144
	2	5,24	28,1	5,07	0,028222
	3	5,31	28,1	5,14	0,027572
	4	5,29	28,3	5,12	0,028022
4	1	5,44	28,3	5,26	0,029077
	2	5,10	28,4	4,93	0,028637
	3	5,05	28,5	4,88	0,027878
	4	5,20	28,5	5,03	0,028549
7	1	4,83	28,5	4,67	0,028050
	2	4,63	28,5	4,48	0,028538
	3	4,83	28,6	4,67	0,028059
	4	4,73	28,6	4,57	0,027963
8	1	4,53	28,6	4,38	0,027761
	2	4,46	28,6	4,31	0,028016
	3	4,74	28,6	4,58	0,028002
	4	4,45	28,7	4,30	0,027900

Fonte: Própria

O critério estabelecido para aprovação dos cabos ensaiados é que a resistividade elétrica do seu fio de alumínio não seja superior a $0,028264 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$, conforme NBR 5118:2007. Os cabos de n° 2, 4 e 7 tiveram fios de suas amostras reprovados neste ensaio.

3.3 ENSAIO EM VARISTORES DE ZNO

Varistores a base de ZnO são materiais cerâmicos policristalinos que devido a característica de tensão-corrente não linear, resposta rápida frente a transientes de tensão (da ordem de nano-segundos) e alta capacidade de absorção de surto, são amplamente usados em sistemas de transmissão como dispositivos de proteção contra sobretensão. Os para-raios de ZnO são dispositivos de proteção que têm sido amplamente utilizados nos SEPs, cuja principal finalidade é reduzir as sobretensões transitórias que possam, eventualmente, ocorrer nos equipamentos, garantindo assim sua segurança e operação dentro dos limites de tensão máxima.

Com objetivo de simular o envelhecimento acelerado nos varistores de ZnO as pastilhas de varistores foram submetidas a estresses elétrico e térmico, conjuntamente. A Figura 11 apresenta fotografia dos varistores ensaiados.

Figura 11 - Fotografia dos varistores de ZnO do LAT



Fonte: Própria

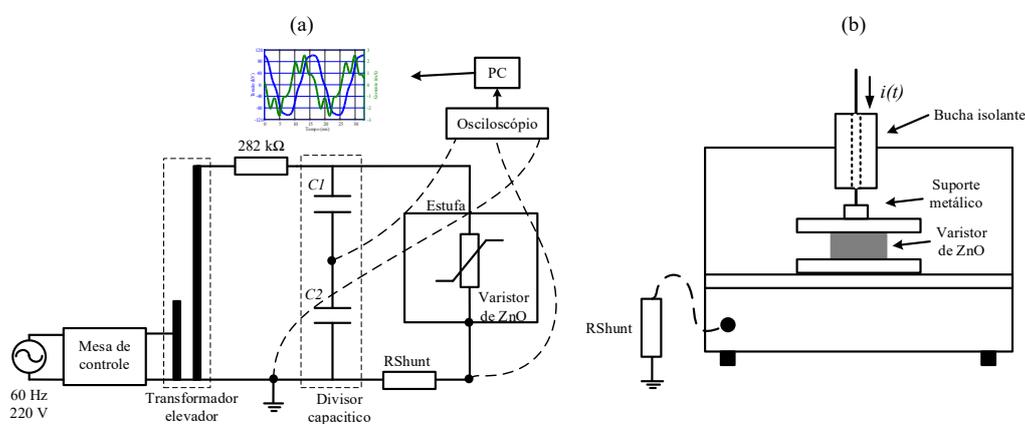
Duas estratégias de ensaio foram adotadas para verificação do envelhecimento dos varistores:

1. Manter as grandezas tensão e temperatura constantes e variar o tempo de ensaio;
2. Apenas a tensão é mantida constante, as grandezas temperatura e tempo são variadas.

Para realização do ensaio, empregou-se o diagrama esquemático do arranjo experimental apresentado na Figura 12 (a). O circuito é composto por uma mesa de controle, um transformador de tensão (0 a 100 kV – 5 kVA), um resistor de proteção (282 k Ω), um divisor capacitivo, o objeto de teste (varistor de ZnO) em série com um resistor shunt (R_{shunt}), uma estufa térmica e um osciloscópio digital. Para empregar a

estufa térmica em conjunto com o kit de alta tensão, realizou-se o isolamento elétrico da carcaça da estufa em relação ao condutor de alta tensão. A carcaça da estufa foi conectada ao aterramento por meio de um resistor *shunt*. Adicionalmente, o bloco de varistor foi fixado e conectado ao condutor de alta tensão, conforme apresentado na Figura 12 (b). A aquisição do sinal da tensão aplicada sobre o varistor foi realizada por meio do divisor capacitivo associado a um osciloscópio. O sinal da corrente de fuga total foi adquirido empregando o resistor *shunt* que proporciona a sua queda de tensão. A Figura 13 apresenta fotografias da montagem do ensaio em laboratório.

Figura 12 - (a) Arranjo experimental para realização dos ensaios; (b) esquema representativo da estufa térmica.



Fonte: Barbosa (2021)

Figura 13 - Montagem utilizada no ensaio de envelhecimento dos varistores.



Fonte: Própria

No anexo deste relatório está disponível os dados, resultados e mais informações sobre o ensaio apresentado aqui.

Para validação do ensaio de envelhecimento acelerado do varistor é realizado uma análise do nível da tensão de referência (valor de tensão para gerar uma corrente de

fuga de 1 mA RMS através do varistor). Essa tensão é medida antes e após a realização do ensaio mostrado anteriormente, para comprovar se houve ou não o envelhecimento das pastilhas de ZnO. O ensaio foi realizado utilizando o circuito do ensaio de envelhecimento acelerado, sem a estufa térmica. A Figura 14 apresenta a montagem para medição da tensão de referência após o envelhecimento.

Através da mesa de controle foi aplicada uma tensão de 2,5 kV RMS ao varistor sob ensaio. Os valores de tensões encontrados pelo osciloscópio para as 4 amostras de varistores, são apresentadas na Tabela 4. O envelhecimento do varistor é verificado caso a tensão de referência seja reduzida entre 5% e 10%, o que implica em um maior nível de corrente de fuga para o mesmo nível de tensão aplicado antes do envelhecimento, considerando que o varistor estava novo no início do ensaio.

Tabela 4 - Dados do ensaio de tensão de referência.

Varistor	Tensão antes do envelhecimento (kV)	Tensão depois do envelhecimento (kV)	Redução da tensão de referência (%)
A	4,72	4,64	1,70
B	4,96	4,88	1,64
C	4,77	4,72	1,05
D	5,23	5,02	4,12

Fonte: Própria

Figura 14 - Montagem utilizada para medir a tensão de referência dos varistores.



Fonte: Própria

De acordo com os valores de tensões apresentados conclui-se que as estratégias apresentadas de envelhecimento de varistores de ZnO não proporcionaram a desejada degradação permanente e prematura dos varistores.

3.4 MONTAGEM DO KIT DA BHT

Em 2019 foi adquirido um kit de Alta Tensão da empresa chinesa Beijing Huatian Mechanical-Electrical Institute Co., Ltd. – abrev. BHT. Este kit possibilita 3 montagens de circuitos diferentes: alta tensão em CA, alta tensão em CC e ensaio de impulso de tensão. Porém, o kit da BHT apresentou alguns problemas no funcionamento e a equipe técnica do LAT em conjunto com representantes da empresa constatou, após várias reuniões virtuais, que o problema estava em um tiristor do quadro de comando. O representante comercial da empresa enviou um novo tiristor, e esse já se encontra no quadro de comando.

Por prudência a equipe técnica do LAT resolveu que só irá realizar novos testes no kit da BHT durante uma nova reunião virtual com o engenheiro da empresa, reunião essa ainda não agendada. Por ora, por solicitação da equipe de engenheiros do LAT o kit da BHT foi montado com ajuda do técnico de laboratório. O kit se encontra montado e preparado para os novos testes de funcionamento, ver Figuras 15 e 16.

Figura 15 - Fotografia do kit de alta tensão montado.



Fonte: Própria

Figura 16 - Fotografia lateral do kit montado



Fonte: Própria

3.5 APOIO À GRAVAÇÃO DE VÍDEOS PARA A DISCIPLINA DE EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

Visando tornar as aulas práticas da disciplina de equipamentos elétricos, que no momento se encontram na modalidade remota, mais realística, foi solicitado pelo professor Edson Guedes a gravação em vídeo aulas dos experimentos de resistividade do solo, ver Figura 17, e ensaio em transformadores, ver Figura 18.

Figura 17 – Bastidores da gravação da vídeo aula de resistividade do solo



Fonte: Própria

Figura 18 - Bastidor da gravação da vídeo aula de ensaio em transformadores.



Fonte: Própria

3.6 ATIVIDADES DA MODALIDADE REMOTA

As atividades remotas do estágio foram autorizadas pela instituição, em decorrência do agravamento da pandemia do Coronavírus – Covid-19 no mês de março de 2021, as atividades presenciais tiveram que ser suspensas por decreto estadual. Com isso, atividades remotas foram solicitadas pelos engenheiros do LAT. As atividades solicitadas foram:

1. Comissionamento de Subestações: um passo a passo dos ensaios a serem realizados ou um procedimento a ser adotado para cada atividade que é realizada no comissionamento.
2. Artigo técnico: confeccionar um artigo técnico sobre aterramento, focando em medição de resistividade do solo e a importância de um projeto de aterramento bem executado. Esse artigo pode ser de até três páginas e será colocado na página do LAT.

As atividades foram concluídas e entregues por e-mail. Nos apêndices deste relatório encontram-se as atividades realizadas remotamente.

Outra atividade realizada remotamente foi a implementação de um formulário para o controle de estoque do LAT utilizando a plataforma de criação de aplicativos Bubble.io, ver Figura 18.

O Bubble.io permite a criação e hospedagem de aplicativos web através de uma interface intuitiva e fácil de ser dominada. A ideia da ferramenta é agilizar o desenvolvimento e disponibilizar uma solução completa para profissionais e estudantes

da área. O ambiente de desenvolvimento roda no navegador e nenhum tipo de download ou plugin é necessário. A barra de ferramentas é completa e possui todos os recursos necessários para criação de WebApps.

Figura 19 - Interface do aplicativo para o LAT

LAT LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO - CAMPINA GRANDE

Formulário de Solicitação de Equipamentos do LAT

Este formulário será utilizado para solicitação de Equipamentos e/ou ferramentas do laboratório de alta tensão.

Seu e-mail será registrado quando você enviar este formulário.

Não é gleuber.sousa@ee.ufcg.edu.br? [Trocar de conta](#)

*Obrigatório

Nome *

Sua resposta

Cargo (EX.: Estudante, Professor, Estagiário...)

Sua resposta

ID da ferramenta *

Sua resposta

Data de devolução (DD/MM/AAAA) *

Data

dd/mm/aaa:

Comentários adicionais

Sua resposta

Fonte: Própria

3.7 OUTRAS ATIVIDADES

Além das atividades já apresentadas, durante o estágio supervisionado foram realizadas outras atividades que contribuíram para a formação do estagiário. Dentre essas atividades, destacam-se as apresentadas a seguir:

- Estudo da norma técnica NBR 16092, e levantamento dos ensaios realizados por laboratórios de alta tensão;
- Ajustes no projeto da malha de aterramento de uma subestação isolada a gás (AUTOCAD);

4 CONCLUSÃO

Este relatório apresentou as atividades realizadas durante o estágio supervisionado no LAT- UFCG. O estágio foi extremamente importante por contribuir com o desenvolvimento de habilidades práticas e aumentar o conhecimento teórico, por meio da realização de atividades de acompanhamento, houve oportunidade de participar na elaboração do ensaio de isolamento de ferramentas para eletricitas, ensaio em cabos de linhas de transmissão e ensaio em varistores de ZnO.

Infelizmente, devido ao estado de pandemia atual não houve mais atividades práticas para enriquecer o estágio, a fim de aumentar o conhecimento prático em equipamentos elétricos disponíveis no laboratório, e ter a oportunidade de acompanhar os ensaios realizados pela equipe técnica do LAT, aumentando assim a experiência como engenheira.

Conclui-se, portanto, que o objetivo da realização do estágio foi alcançado, visto que foi possível colocar em prática os conhecimentos de sala de aula e adquirir experiência profissional.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9610 - Ferramentas Manuais - Isolação elétrica até 1000 V c.a. e 1500 V c.c.**. Rio de Janeiro. 2015.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7270 - Cabo de alumínio nus com alma de aço zincado para linhas aéreas**. Rio de Janeiro. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5118 - Fios de alumínio 1350 nus, de seção circular, para fins elétricos**. Rio de Janeiro. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15443 - Fios, cabos e condutores elétricos**. Rio de Janeiro. 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6756 - Fios de aço zincados para alma de cabos de alumínio e alumínio-liga**. Rio de Janeiro. 2007.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15583 - Cordoalhas de fios de aço zincados para alma de cabos de alumínio e alumínio-liga**. Rio de Janeiro. 2008.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6815 - Fios e cabos elétricos — Ensaio de determinação da resistividade em componentes metálicos**. Rio de Janeiro. 2010.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7117-1 - Medição da resistividade e modelagem geolétrica**. Rio de Janeiro, p. 22. 2020.
- BARBOSA, V. R. N. **Relatório de Estágio Supervisionado**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande - PB, 2019.
- COPEL DISTRIBUIÇÃO. **Manual de Instruções Técnicas**. 2007. Disponível em: [https://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e/bf49af0b42358dc6032574f1005c8ffc/\\$FILE/MIT_161703-Procedurementos_de_Ensaio_de_Ferramentas_e_Equipamentos_de_Linha_Viva.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/pagcopel2.nsf/5d546c6fdeabc9a1032571000064b22e/bf49af0b42358dc6032574f1005c8ffc/$FILE/MIT_161703-Procedurementos_de_Ensaio_de_Ferramentas_e_Equipamentos_de_Linha_Viva.pdf). Acesso em 07 de maio de 2021.
- ESPECIFICAÇÃO TÉCNICA UNIFICADA. **ETU 113 - Cabo de Alumínio Nu com Alma de Aço**. Minas Gerais. 2019.
- FIOCRUZ. Fundação Oswaldo Cruz. **Boletim Observatório Covid - 19**. Disponível em: https://agencia.fiocruz.br/sites/agencia.fiocruz.br/files/u34/boletim_extraordinario_2021-marco-16-red-red-red.pdf. Acesso em 10 de maio de 2021.
- KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. **Aterramento Elétrico**. 3ª ed, p. 214. Porto Alegre. Sagra-DC Luzzatto, 1995.
- MODENA, Jobson; SUETA, Hélio. **Medição da resistividade do solo**. O setor elétrico. Disponível em: http://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2012/01/Ed70_fasciculo_aterramentos_cap11.pdf. Acesso em 26 abr 2021.

APÊNDICE A – ARTIGO SOBRE ATERRAMENTO

Toda instalação elétrica exige um sistema de aterramento adequado para a coleta, drenagem e dissipação das correntes de falta para a terra, através de um caminho condutivo de resistência mínima possível, para pequenos tempos de resposta e o acionamento imediato dos dispositivos de proteção. Uma malha de aterramento é um sistema de elétrodos de aterramento horizontal e vertical, que consiste em uma série de condutores metálicos nus, interconectados e enterrados em uma área específica, fornecendo uma conexão condutora para equipamentos elétricos e qualquer estrutura metálica, para o solo.

O conceito do solo para a engenharia elétrica segundo a NBR 7117 (2020, p.4) é:

“O solo, do ponto de vista da engenharia elétrica, é o meio onde as correntes elétricas podem fluir, geralmente associadas à operação das redes de energia elétrica, ou é o meio em que é enterrado um eletrodo de aterramento, neste caso abrangendo todo o volume desse meio eletricamente influenciado pelo sistema de aterramento”.

Por meio de medições no solo, os engenheiros conseguem ilustrar o perfil do solo e determinar os limites máximos permitidos de tensões de passo e toque. O sistema de aterramento mantém o potencial de passo e toque dentro de limites toleráveis, tornando o terreno um local seguro e confiável para as pessoas que trabalham em subestações e zelando pela integridade dos equipamentos. Um pré-requisito para o projeto de um sistema de aterramento é o conhecimento da resistividade aparente do solo da instalação elétrica. A resistividade do solo é um fator chave para determinar qual será a resistência de um eletrodo de aterramento, a que profundidade ele deve ser cravado no terreno para obter a menor resistência de aterramento e até mesmo o tipo de sistema de aterramento que deve ser projetado.

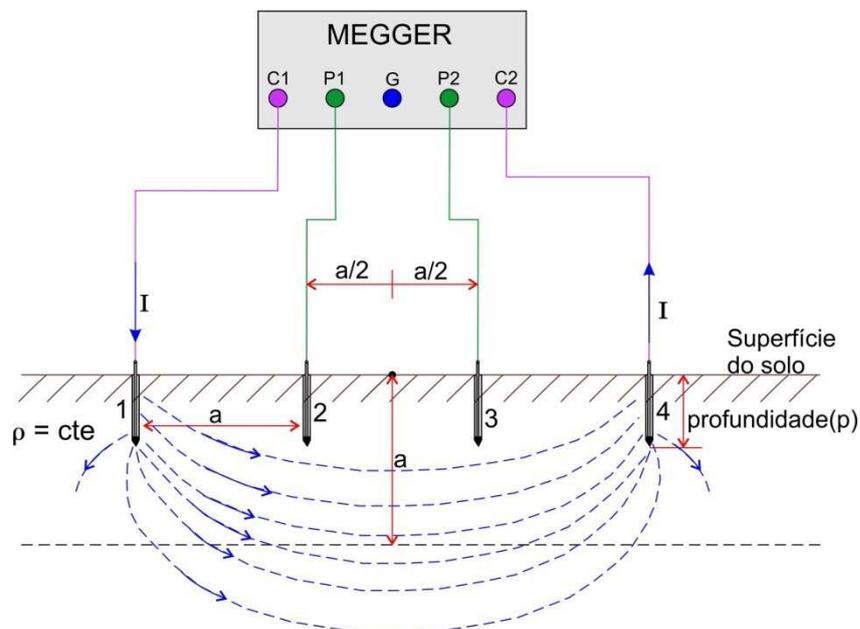
Um fluxo de corrente através da terra é a condição necessária para a sondagem geoeletrica do parâmetro resistividade. Isso acontece quando hastes verticais são cravadas no solo e alimentadas por uma corrente elétrica. Portanto, inúmeras técnicas foram desenvolvidas e propostas na literatura internacional, sendo aplicadas em todo o mundo em estudos de aterramento. O método de prospecção geoeletrico mais utilizado

para levantamento da curva de resistividade do solo é o método dos quatro pontos, que possui várias versões, no que diz respeito ao arranjo dos quatro elétrodos. Algumas versões deste método são:

1. Arranjo de Wenner,
2. Arranjo Schlumberger-Palmer;
3. Arranjo do eletrodo central;
4. Arranjo de Lee;
5. Arranjo dipolo-dipolo;

O método mais utilizado e conhecido é o arranjo de Wenner devido à simplicidade de sua aplicação. Esse método utiliza quatro elétrodos alinhados, igualmente espaçados e cravados a uma mesma profundidade. Uma corrente elétrica I é injetada na primeira haste (ponto 1) e coletada pela última haste (ponto 4), esta corrente passando pelo solo entre os pontos 1 e 4, produz potencial nos pontos 2 e 3. Para medição da resistência o método utiliza um Megger, o aparelho através da sua fonte interna, faz circular a corrente I entre as hastes externas conectadas aos terminais de corrente do instrumento, as hastes internas por sua vez são conectadas aos terminais de potencial do aparelho, que processa internamente e indica o valor da resistência elétrica R (figura a seguir). Aproximadamente 58% da distribuição de corrente ocorrem a uma profundidade igual à distância entre as hastes (KINDERMANN & CAMPAGNOLO, 1995).

Figura: Método de Wenner, com distribuição de corrente à profundidade “a”.



Fonte: Adaptado de Kindermann & Campagnolo (1995)

A resistividade elétrica do solo é dada pela *Fórmula de Palmer* (1):

$$\rho = \frac{4\pi a R}{1 + \frac{2a}{\sqrt{a^2 + (2p)^2} - \frac{2a}{\sqrt{(2a)^2 + (2p)^2}}}} \Omega \cdot m \quad (1)$$

Para espaçamento relativamente grande entre os eletrodos, $a > 20 p$, a *Fórmula de Palmer* se reduz a (2):

$$\rho = 2\pi a R [\Omega \cdot m] \quad (2)$$

Em geral, o menor valor de resistência possível é buscado para todos os casos de sistemas de aterramento, porém o valor da resistividade do solo pode variar em função das suas características intrínsecas, tipo de solo, umidade, profundidade das camadas, temperatura e salinidade, como por fatores externos, contaminação e compactação do solo. Um das formas de diminuir a resistividade é fazer o tratamento químico do solo.

Estudar e projetar os sistemas de aterramento de instalações elétricas com especificações e demandas especiais, para subestações de alta tensão, parques eólicos, subestações GIS, etc., de acordo com as dimensões e a geometria do sistema de aterramento é primordial para garantir um projeto seguro, para as pessoas e equipamentos, assim como adequado às normas técnicas de padronização vigentes.

APÊNDICE B – LEVANTAMENTO DOS ENSAIOS EM EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS REALIZADOS NO LAT



**Levantamento dos Ensaios em Equipamentos
Elétricos Realizados no Laboratório de Alta Tensão
da UFCG**

Campina Grande

Maio de 2021

Sumário

1.	Malha de Aterramento	9
1.1.	Resistência de aterramento da malha da cerca e principal conforme as normas e padrões aplicáveis	9
1.2.	Continuidade da malha	10
1.3.	Potenciais de passo e de toque	10
2.	Seccionadores	11
2.1.	Seccionador Monopolar Manual ou Motorizada	11
2.1.1.	Resistência de contato (Total, Articulações e Contatos);	11
2.1.2.	Resistência de Isolamento de cada isolador e total;	12
2.1.3.	Correntes de partida e regime permanente dos motores;	12
2.1.4.	Tempos de abertura e fechamento	12
2.1.5.	Conexões de aterramento (Mecanismo para a estrutura e Estrutura para a malha)	13
2.1.6.	Resistência de Isolamento do motor	13
2.1.7.	Inspeção visual. De acordo com a planilha de inspeção do equipamento.	13
2.2.	Chave Fusível	13
2.2.1.	Resistência de Isolamento de cada isolador e total	13
2.2.2.	Inspeção visual. De acordo com planilha de inspeção específica do equipamento.	13
2.3.	Seccionador Tripolar Motorizado e de Abertura Sob Carga	14
2.3.1.	Resistência de contato (Total, Articulações e Contatos);	14
2.3.2.	Resistência de Isolamento de cada isolador e total;	14
2.3.3.	Resistência elétrica e de isolamento, do resistor de pré-inserção e bobinas de shunt-trip e de comando no seccionador sob carga;	14
2.3.4.	Tempos de abertura e fechamento;	14
2.3.5.	Resistência de Isolamento dos motores;	15
2.3.6.	Corrente de partida e de regime permanente dos motores;	15
2.3.7.	Resistência de contato da lâmina de terra (se houver);	15
2.3.8.	Conexões de aterramento (Mecanismo para a estrutura e Estrutura para a malha);	15
2.3.9.	Inspeção visual;	15
2.4.	Seccionador Tripolar Não Motorizado	16
2.4.1.	Resistência de contato (Total, Articulações e Contatos);	16
2.4.2.	Resistência de Isolamento de cada isolador e total;	16
2.4.3.	Resistência de contato da lâmina de terra (se houver);	16
2.4.4.	Conexões de aterramento (Mecanismo para a estrutura e Estrutura para a malha);	16
2.4.5.	Inspeção visual.	16

2.5.	Seccionador de Aterramento Rápido	16
2.5.1.	Resistência de contato (Total, Articulações e Contatos);	16
2.5.2.	Resistência de Isolamento de cada isolador e total;	16
2.5.3.	Tempo de fechamento.	17
2.5.4.	Resistência de Isolamento e resistência elétrica da bobina de fechamento;	17
2.5.5.	Conexões de aterramento (Mecanismo para a estrutura e Estrutura para a malha);	17
2.5.6.	Inspeção visual.	17
3.	Disjuntores	17
3.1.	Fator de Potência de Isolamento	17
3.2.	Resistência de Isolamento	17
3.3.	Resistência de Contato de todas as câmaras e total	17
3.4.	Tempos de operações (O, C, CO, OCO) das câmaras e do resistor de pré-inserção através de todas das bobinas de abertura.	18
3.5.	Ajuste e medição da pressurização dos circuitos hidráulicos e de gás dos pressostatos e manômetros;	18
3.6.	Estanqueidade do gás;	18
3.7.	Óleo isolante (disjuntores GVO e PVO): Retirada e envio de amostra de óleo para laboratório para ensaios e testes de rotina	18
3.8.	Resistência de isolamento dos motores;	19
3.9.	Correntes de partida e regime permanente dos motores;	19
3.10.	Tempo de carregamento de mola;	19
3.11.	Resistência de isolamento e resistência elétrica, das bobinas de abertura e fechamento;	20
3.12.	Colar quente das buchas de disjuntores GVO e buchas de cubículos de 13,8 kV;	20
3.13.	Cálculo Índice de perdas no tanque (TLI) em disjuntores GVO;	20
3.14.	Resistência elétrica entre as buchas de entrada e saída dos disjuntores de cubículo;	20
3.15.	Inspeção visual.	20
4.	Chave a Vácuo/Óleo	21
4.1.	Resistência de contato;	21
4.2.	Resistência de isolamento;	21
4.3.	Fator de Potência do isolamento;	21
4.4.	Resistência de isolamento e resistência elétrica das bobinas de abertura e fechamento;	21
4.5.	Resistência de isolamento do motor (caso as chaves sejam motorizadas);	21
4.6.	Correntes de partida e de regime permanente dos motores;	21
4.7.	Tempos de abertura e fechamento;	21

4.8.	Retirada e envio de amostra de óleo para laboratório para ensaios e testes de rotina. (Quando possível);	21
4.9.	Inspeção visual.	21
5.	Religador	21
5.1.	Resistência de isolamento;	21
5.2.	Fator de Potência do isolamento;	21
5.3.	Cálculo do índice de perdas no tanque (TLI);	22
5.4.	Retirada e envio de amostra de óleo para laboratório para ensaios e testes de rotina;	22
5.5.	Ensaio e Testes dos TC de bucha conforme indicado nos itens referentes à Transformador de Corrente desta especificação;	22
5.6.	Resistência de contato;	22
5.7.	Resistência de isolamento e resistência elétrica das bobinas de fechamento, fechamento remoto e abertura;	22
5.8.	Sequência e curvas de operação conforme pedido de ajuste da CONTRATANTE;	22
5.9.	Pressão de gás;	22
5.10.	Inspeção visual.	22
6.	Capacitor	22
6.1.	Resistência de isolamento de cada capacitor;	22
6.2.	Capacitância de cada unidade e total de cada fase;	23
6.3.	Resistência de isolamento das estantes;	23
6.4.	Resistência elétrica do resistor de descarga (A1xA2);	23
6.5.	Inspeção visual.	23
7.	Cabo Isolado com Terminação Mufla (15 a 23 kV)	24
7.1.	Resistência de isolamento;	24
7.2.	Fator de Potência de Isolamento;	24
7.3.	Tensão Aplicada em corrente contínua;	24
7.4.	Inspeção visual.	24
8.	Pára-Raios	24
8.1.	Resistência de isolamento;	24
8.2.	Fator de Potência do Isolamento (perdas em mW/W);	24
8.3.	Atuação dos contadores de descargas;	25
8.4.	Resistência de isolamento das bases isolantes;	25
8.5.	Medição da resistência elétrica da conexão do cabo de aterramento do pára-raios e sua respectiva haste de aterramento;	25
8.6.	Inspeção visual.	25

9.	Centelhador	25
9.1.	Resistência de isolamento de cada isolador e total;	25
9.2.	Medição e ajustes dos gaps	26
9.3.	Inspeção visual.	26
10.	Bobina de Bloqueio	26
10.1.	Resistência de isolamento de cada isolador e total;	26
10.2.	Resistência elétrica;	26
10.3.	Indutância	26
10.4.	Pára-raios da bobina;	26
10.5.	Inspeção visual	26
11.	Baterias Estacionárias	27
11.1.	Medição de densidade do eletrólito de cada elemento (somente para baterias ventiladas)	27
11.2.	Medição de tensão de cada elemento.	27
11.3.	Carga de equalização, se necessário.	27
11.4.	Ciclo de descarga e recarga (Ensaio de Capacidade no regime projetado da instalação).	27
11.5.	Medições ôhmicas internas de cada elemento (condutância ou impedância ou resistência interna).	27
11.6.	Verificação do torque de aperto dos parafusos de conexão dos polos de cada elemento.	27
11.7.	Verificação das bitolas dos cabos utilizados na montagem e na conexão da bateria do retificador.	27
11.8.	Ensaio e testes complementares conforme manual do fabricante.	28
11.9.	Inspeção visual.	28
12.	Carregador de Baterias	29
12.1.	Ensaio e testes conforme manual de instrução do fabricante e ou instruções específicas da CONTRATANTE;	29
12.2.	Anotação dos dados de placa;	29
12.3.	Verificação dos torques de aperto das ligações;	29
12.4.	Verificação das polaridades;	29
12.5.	Isolamento C.C.;	29
12.6.	Verificação da tensão de entrada e dispositivos de proteção no QDR (fusíveis, disjuntores, etc.);	29
12.7.	Teste de variação de tensão de entrada (regulação);	29

12.8.	Verificação do dimensionamento dos fusíveis e dos cabos utilizados na alimentação C.A. e na distribuição C.C. para baterias e consumidores;	29
12.9.	Verificação do funcionamento das chaves C.A. e C.C.;	29
12.10.	Teste de limitação de corrente;	29
12.11.	Verificação da faixa e do valor de ajuste da tensão de saída em recarga;	29
12.12.	Verificação da faixa e do valor de ajuste da tensão de saída em flutuação;	29
12.13.	Verificação da faixa e do valor de ajuste da proteção e/ou sinalização de tensão alta no consumo;	29
12.14.	Verificação da faixa e do valor de ajuste da proteção e/ou sinalização de tensão baixa no consumo;	29
12.15.	Tensão residual (ripple);	29
12.16.	Verificação de sobrelevação de temperatura;	29
12.17.	Verificação de funcionamento em manual e automático;	29
12.18.	Simulação de defeitos;	29
12.19.	Simulação de funcionamento das colunas do diodo de queda (se houver);	30
12.20.	Correntes de partida e regime permanente dos motores;	30
12.21.	Aferição e ajustes do relé de controle de tensão conforme pedido de serviço da CONTRATANTE;	30
12.22.	Resistência elétrica dos cabos de aterramento da bucha de neutro; Obs: Desconectar a fiação dos terminais secundários do TP durante os ensaios e testes.	30
12.23.	Inspeção visual.	30
13.	Regulador de Tensão	30
13.1.	Resistência de isolamento dos enrolamentos;	30
13.2.	Fator de potência do isolamento;	30
13.3.	Relação de tensões;	31
13.4.	Resistência elétrica dos enrolamentos;	31
13.5.	Óleo isolante: Retirada e envio de amostra de óleo para laboratório para ensaios e testes de rotina e gases dissolvidos do tanque principal e do comutador;	31
13.6.	Ensaio e Testes de TC de bucha e TP conforme indicado nos itens referentes à Transformador de Corrente e Transformador de Potencial Indutivo desta normatização;	31
13.7.	Calibração e ajuste da imagem térmica conforme pedido de serviço da CONTRATANTE;	31
13.8.	Verificação do funcionamento, através de ajustes e medição das resistências de isolamento e de contato, de todos os instrumentos físicos como: relé de gás, termômetro de óleo e enrolamento, indicador de nível de óleo, válvulas de pressão e termostatos;	31
13.9.	Resistência de Isolamento dos motores;	31
13.10.	Correntes de partida e regime permanente dos motores;	32

13.11.	Aferição e ajustes do relé de controle de tensão conforme pedido de serviço da CONTRATANTE;	32
13.12.	Resistência elétrica dos cabos de aterramento da bucha de neutro; Obs: Desconectar a fiação dos terminais secundários do TP durante os ensaios e testes.	32
13.13.	Inspeção visual.	32
14.	Transformador / Reator	32
14.1.	Transformador de potência trifásico	32
14.1.1.	Resistência de isolamento dos enrolamentos;	32
14.1.2.	Fator de potência do isolamento dos enrolamentos;	32
14.1.3.	Fator de potência do isolamento e capacitância das buchas;	32
14.1.4.	Relação de tensões;	32
14.1.5.	Resistência elétrica dos enrolamentos em todas as derivações;	33
14.1.6.	Corrente de excitação;	33
14.1.7.	Óleo isolante: Retirada e envio de amostra de óleo para laboratório para ensaios e testes de rotina e gases dissolvidos do tanque principal e do comutador;	33
14.1.8.	Ensaio e Testes de TC de bucha conforme indicado no item referente à Transformador de Corrente desta normatização;	33
14.1.9.	Calibração e ajuste da imagem térmica conforme pedido de serviço da CONTRATANTE;	33
14.1.10.	Verificação do funcionamento, através de ajustes e medição das resistências de isolamento e de contato, de todos os instrumentos físicos como: relé de gás, termômetro de óleo e enrolamento, indicador de nível de óleo, válvulas de pressão e termostatos;	33
14.1.11.	Resistência de Isolamento dos motores;	33
14.1.12.	Correntes de partida e regime permanente dos motores;	34
14.1.13.	Resistência de isolamento do núcleo (quando houver acesso que permita realizar esse ensaio e teste);	34
14.1.14.	Resistência de Isolamento da fibra isolante que fica entre a base e o transformador de força;	34
14.1.15.	Funcionamento da refrigeração forçada;	34
14.1.16.	Aferição e ajustes do relé de controle de tensão conforme pedido de serviço da CONTRATANTE;	34
14.1.17.	Resistência elétrica dos cabos de aterramento da bucha de neutro;	34
14.1.18.	Resistência elétrica (continuidade) entre o conector e o cabeçote das buchas condensivas;	34
14.1.19.	Inspeção visual.	34
15.	Transformador para Serviços Auxiliares	35
15.1.	Relação de tensões;	35

15.2.	Resistência elétrica dos enrolamentos;	35
15.3.	Resistência de isolamento dos enrolamentos;	35
15.4.	Fator de potência do isolamento;	35
15.5.	Verificar todas as buchas quanto a trincas ou quebras;	35
15.6.	Óleo isolante: Retirada e envio de amostra de óleo para laboratório para ensaios e testes de rotina e gases dissolvidos;	35
16.	Transformador de Potencial (TP) Indutivo	35
16.1.	Resistência de isolamento dos enrolamentos;	35
16.2.	Fator de potência do isolamento do enrolamento, se aplicável;	35
16.3.	Relação de tensões em todas as derivações;	36
16.4.	Polaridade;	36
16.5.	Resistência elétrica dos enrolamentos em todas as derivações;	36
16.6.	Inspeção visual.	36
17.	Transformador de Corrente (TC)	36
17.1.	Resistência de isolamento;	36
17.2.	Fator de potência do isolamento, se aplicável;	37
17.3.	Relação de correntes;	38
17.4.	Resistência elétrica dos enrolamentos do início do enrolamento para todas as derivações;	39
17.5.	Polaridade;	39
17.6.	Levantamento da curva de Saturação (para os secundários de proteção);	39
17.7.	Inspeção visual.	40
18.	Disjuntor Geral de Painel de Serviços Essenciais	40
18.1.	Resistência de Isolamento;	40
18.2.	Resistência de Contato;	40
18.3.	Teste de atuação através de injeção de corrente.	40
19.	Comissionamento de Bay Blindado a SF6 (GIS)	40

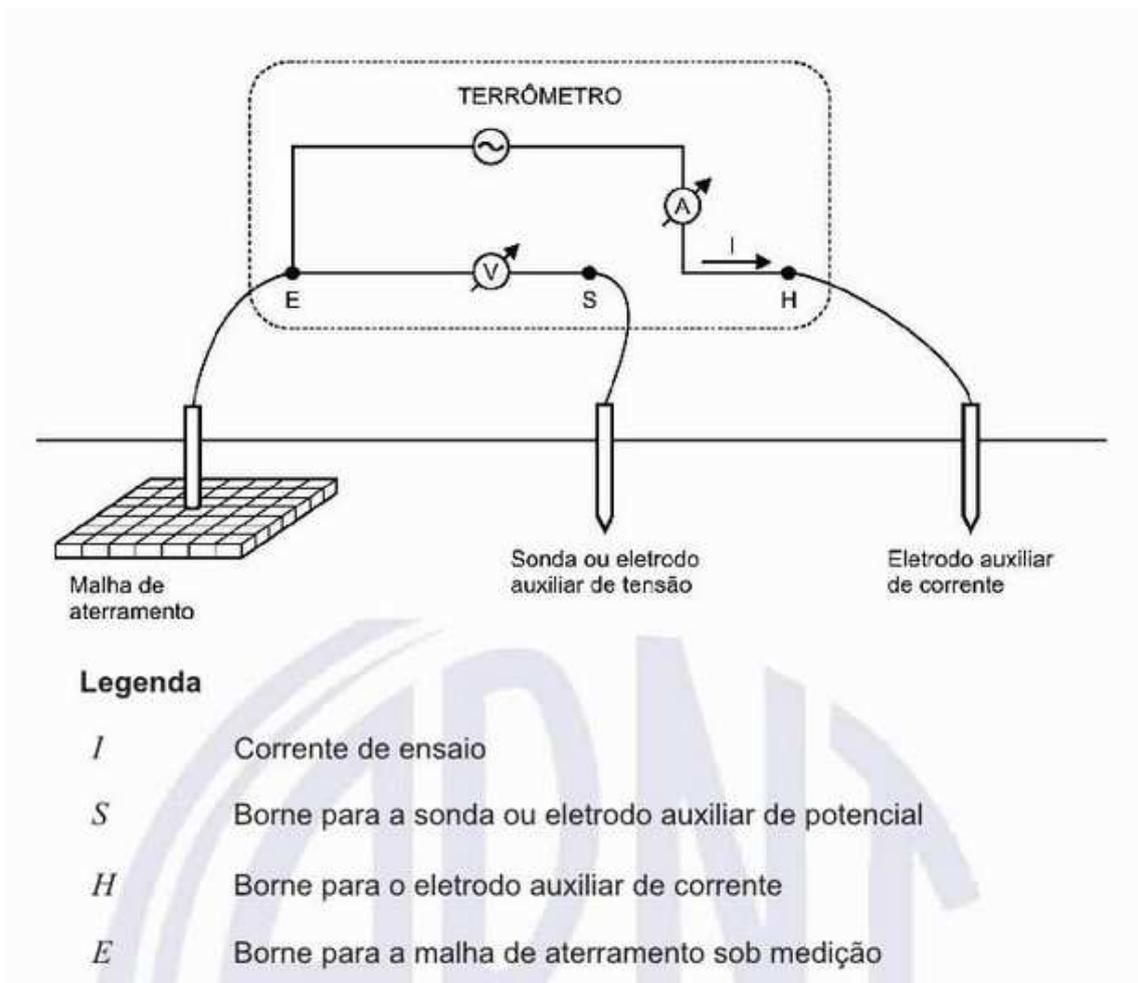
1. Malha de Aterramento

1.1. Resistência de aterramento da malha da cerca e principal conforme as normas e padrões aplicáveis

De acordo com a NBR 15749 (capítulo 6) o método da queda de potencial é recomendado para medição de resistência de aterramento através de equipamento específico (terrômetro).

O método da queda de potencial consiste basicamente em fazer circular uma corrente através da malha de aterramento sob ensaio por intermédio de um eletrodo auxiliar de corrente e medir a tensão entre a malha de aterramento e o terra de referência (terra remoto) por meio de uma sonda ou eletrodo auxiliar de potencial conforme indicado na figura abaixo.

Figura: Método da queda de potencial

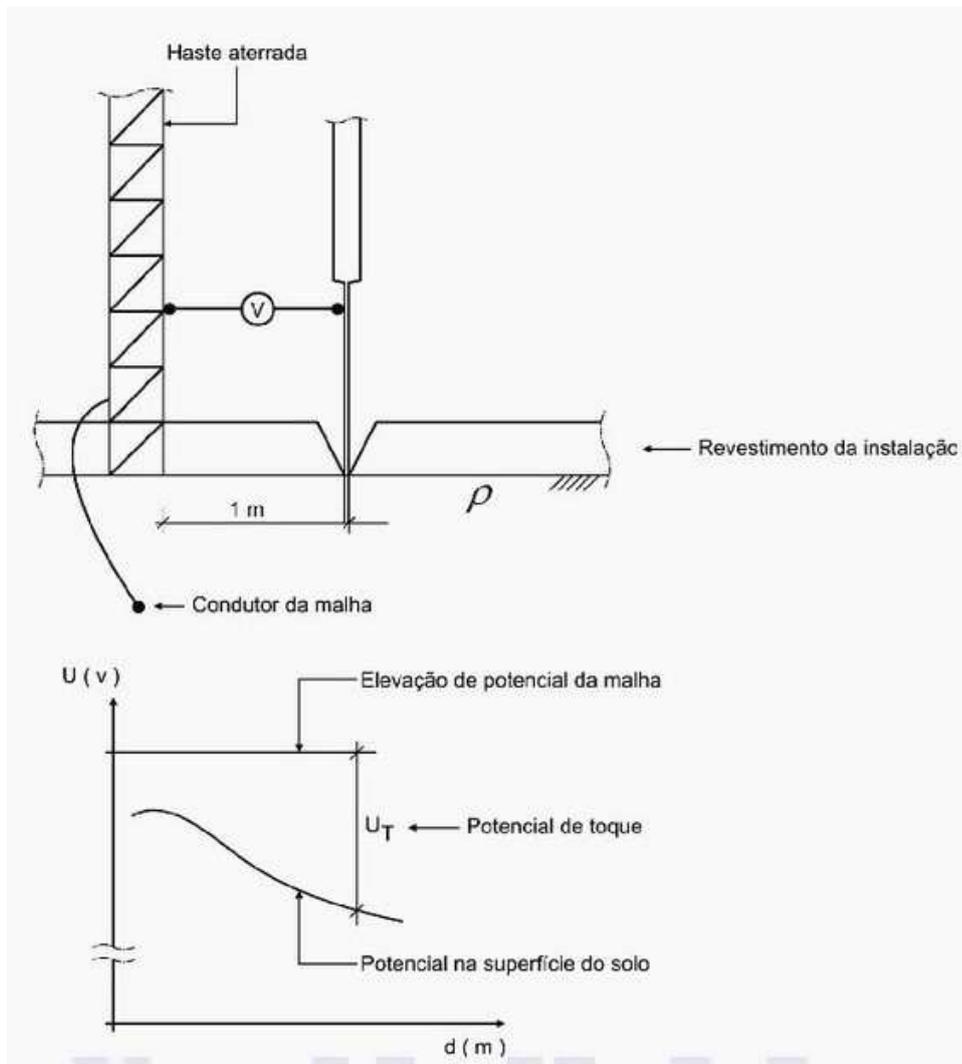


1.2. Continuidade da malha

1.3. Potenciais de passo e de toque

De acordo com a NBR 15749 (seção 7.4) esta medição deve ser feita entre as partes metálicas, estruturas metálicas, carcaças de equipamentos ligados ao sistema de aterramento sob ensaio e o eletrodo de potencial cravado no solo conforme indicado na figura a seguir, a 1 metro de distância da parte metálica envolvida.

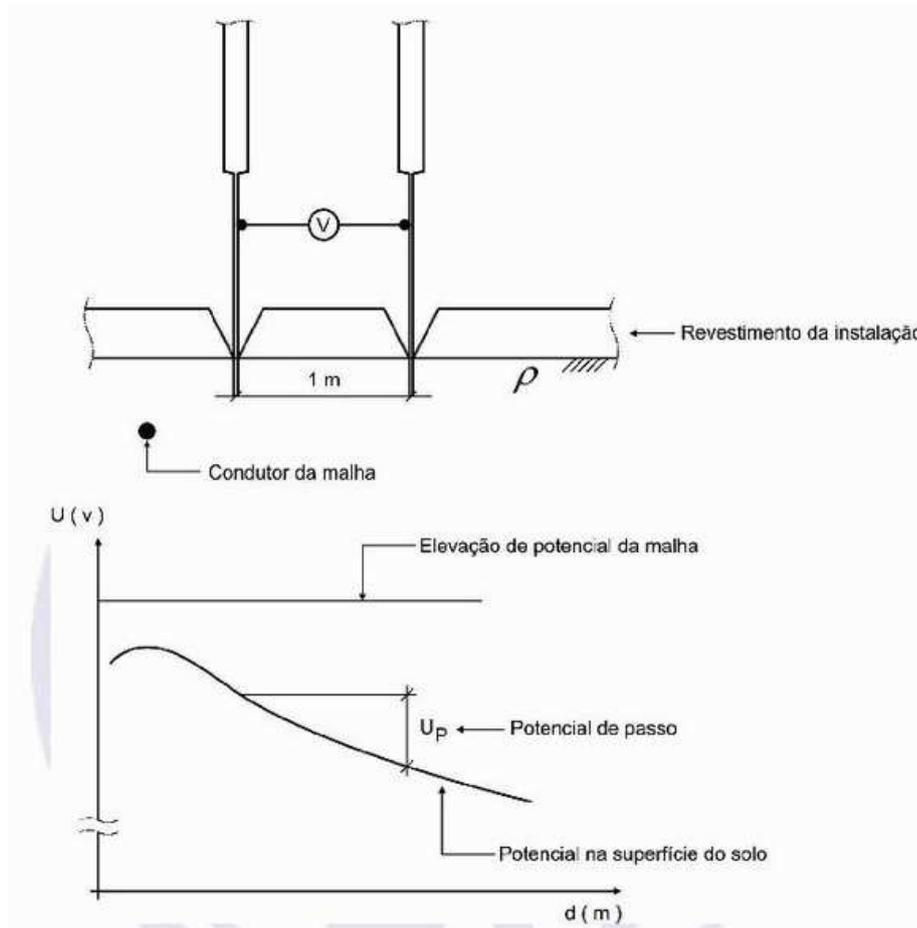
Figura: Medição de potencial de toque



Fonte: ABNT NBR 15749

Conforme a NBR 15749 (seção 7.5) as tensões de passo devem ser medidas entre dois eletrodos de potencial cravados no solo e afastados em 1 metro, conforme figura a seguir.

Figura: Medição de potencial de passo



Fonte: ABNT NBR 15749

2. Seccionadores

2.1. Seccionador Monopolar Manual ou Motorizada

2.1.1. Resistência de contato (Total, Articulações e Contatos);

Segundo seção 6.4 da norma NBR IEC 62271-102, a medição deve ser feita com corrente contínua através da medição de queda de tensão ou da resistência através dos terminais de cada pólo. A corrente durante o ensaio deve ter qualquer valor conveniente entre 50A e a corrente nominal de regime contínuo.

O ensaio de resistência de contato é realizado com a utilização do microohmímetro. Com a seccionadora fechada conectam-se os cabos do instrumento de medição na entrada e na saída da fase e aplica-se uma corrente de 100A, coletando os valores de resistência quando da

estabilização. O critério para aceitação do valor medido é compará-lo com a faixa de resistência aceitável informada pelo fabricante do equipamento.

2.1.2. Resistência de Isolamento de cada isolador e total;

O ensaio de resistência de isolamento é realizado com a utilização do megôhmetro. Antes de iniciar os ensaios, os cabos ou barramentos devem ser desconectados da seccionadora e os isoladores devem passar por uma limpeza para se ter uma medição do isolamento do equipamento em si; caso não seja possível a desconexão, deve-se levar em conta outros equipamentos conectados à chave na avaliação dos resultados do ensaio.

Com a seccionadora fechada, deve-se conectar o cabo de linha (LINE) do megôhmetro aos contatos da seccionadora e o cabo de terra (EARTH), do megôhmetro à massa, e aplicar uma tensão de 5kV para seccionadoras com tensão nominal acima de 69kV. Para se avaliar os resultados, pode ser feita a correção dos valores obtidos para a temperatura de referência de 75°C pela fórmula:

$$R_{75} = \frac{R_{med}}{2^a}$$

Onde:

R_{75} = resistência ôhmica de isolamento corrigida para 75°C;

R_{med} = resistência ôhmica de isolamento medida no ensaio;

$a = 75 - t/10$;

t = temperatura ambiente no momento do ensaio.

2.1.3. Correntes de partida e regime permanente dos motores;

Para seccionador motorizado a medição da corrente de partida e regime permanente é realizada com um amperímetro, o ensaio irá averiguar se o motor de acionamento não opera em sobrecarga.

2.1.4. Tempos de abertura e fechamento

Para o ensaio de medição do tempo de abertura e fechamento da seccionadora é utilizado um cronômetro.

2.1.5. Conexões de aterramento (Mecanismo para a estrutura e Estrutura para a malha)

Inspeção visual. Segundo seção 5.3 da norma NBR IEC 62271-102, a estrutura de cada equipamento de manobra deve ser provida com um terminal de aterramento confiável equipado com parafuso para conexão a um condutor de aterramento adequado às condições especificadas de falta para a terra. O diâmetro do parafuso deve ser no mínimo 12 mm. O ponto de conexão deve ser marcado com o símbolo de “Proteção à Terra”. As partes dos invólucros metálicos conectadas ao sistema de aterramento podem ser consideradas como um condutor de aterramento.

2.1.6. Resistência de Isolamento do motor

De acordo com a seção 16 da norma NBR IEC 17094-4, a medição deve ser realizada entre os terminais do motor e a carcaça ou núcleo, a temperatura do enrolamento deve estar acima do ponto de orvalho, o ensaio deve ser realizado com uma tensão contínua de 500V por um tempo recomendado de 1 min. A resistência de isolamento mínima recomendada para enrolamentos de motores de indução é de $5M\Omega$ a uma temperatura de $40^{\circ}C$.

2.1.7. Inspeção visual. De acordo com a planilha de inspeção do equipamento.

Verificação visual conforme ABNT 60694 seção 7.5.

2.2. Chave Fusível

2.2.1. Resistência de Isolamento de cada isolador e total

A subseção [2.1.1](#) também é aplicável ao equipamento.

2.2.2. Inspeção visual. De acordo com planilha de inspeção específica do equipamento.

A ETU-122.1 de janeiro de 2021 determina os isoladores das chaves fusíveis de distribuição estejam em conformidade com os seguintes requisitos:

- Cada isolador deve ser submetido à inspeção visual.
- A montagem das ferragens integrantes sobre as partes isolantes deve estar em conformidade com os desenhos. A cor do isolador deve se aproximar a especificada nos desenhos.
- As marcações e identificações devem estar de acordo com esta Especificação Técnica.
- O inspetor deverá efetuar uma inspeção geral verificando:

- a) Defeitos no acabamento da superfície do isolador, conforme item 7.3;
- b) Identificação, conforme item 7.4;
- c) Acondicionamento, conforme item 6.3;
- d) Montagem e fixação das ferragens integrantes, que deve estar de acordo com o desenho do fabricante previamente aprovado;
- e) Defeitos de fissuras na raiz da saia, principalmente próximo aos terminais integrantes;
- f) Defeito de falta de aderência do revestimento sobre os terminais;
- g) Separação ou defeitos de aderência nas interfaces das saias com o revestimento;
- h) Protuberâncias decorrentes do processo de moldagem com comprimento de 1 mm acima da superfície do revestimento.

2.3. Seccionador Tripolar Motorizado e de Abertura Sob Carga

2.3.1. Resistência de contato (Total, Articulações e Contatos);

A subseção [2.1.1](#) também é aplicável ao equipamento. O ensaio deverá ser realizado nas três fases do equipamento.

2.3.2. Resistência de Isolamento de cada isolador e total;

A subseção [2.1.2](#) também é aplicável ao equipamento. O ensaio deverá ser realizado nas três fases do equipamento.

2.3.3. Resistência elétrica e de isolamento, do resistor de pré-inserção e bobinas de shunt-trip e de comando no seccionador sob carga;

2.3.4. Tempos de abertura e fechamento;

Para o ensaio de medição do tempo de abertura e fechamento da seccionadora é utilizado um cronômetro em conjunto com uma avaliação visual, com o intuito de se garantir que não ocorra diferença significativa de tempo de abertura ou fechamento entre os polos da seccionadora.

2.3.5. Resistência de Isolamento dos motores;

A medição direta da resistência de isolamento pode ser feita com os seguintes instrumentos:

- a) Ohmímetro de indicação direta, com gerador incluso acionado manualmente ou motorizado;
- b) Ohmímetro de indicação direta com bateria incluso;
- c) Ohmímetro de indicação direta com retificador incorporado, utilizando uma fonte externa de corrente alternada;
- d) Ponte de resistências com galvanômetro e baterias inclusos.

Para maiores detalhes consultar seção 6.6 da norma NBR IEC 17094-3.

2.3.6. Corrente de partida e de regime permanente dos motores;

A subseção [2.1.3](#) também é aplicável.

2.3.7. Resistência de contato da lâmina de terra (se houver);

A subseção [2.1.1](#) é aplicável.

2.3.8. Conexões de aterramento (Mecanismo para a estrutura e Estrutura para a malha);

A subseção [2.1.5](#) é aplicável.

2.3.9. Inspeção visual;

O ensaio de inspeção visual de uma seccionadora deve-se observar os desgastes mecânicos, fissuras ou ranhuras nos isoladores, regulagem dos contatos, com uma câmera termográfica verificar pontos de aquecimentos nas conexões, verificar os pontos de aterramento, verificar a lubrificação dos mecanismos e o ajuste da proteção do motor.

2.4. Seccionador Tripolar Não Motorizado

2.4.1. Resistência de contato (Total, Articulações e Contatos);

A subseção [2.1.1](#) também é aplicável ao equipamento. O ensaio deverá ser realizado nas três fases do equipamento.

2.4.2. Resistência de Isolamento de cada isolador e total;

A subseção [2.1.2](#) também é aplicável ao equipamento. O ensaio deverá ser realizado nas três fases do equipamento.

2.4.3. Resistência de contato da lâmina de terra (se houver);

A subseção [2.1.1](#) também é aplicável.

2.4.4. Conexões de aterramento (Mecanismo para a estrutura e Estrutura para a malha);

A subseção [2.1.5](#) é aplicável.

2.4.5. Inspeção visual.

Na inspeção visual do ensaio de uma seccionadora devem-se observar os desgastes mecânicos, fissuras ou ranhuras nos isoladores, regulagem dos contatos, com uma câmera termográfica verificar pontos de aquecimentos nas conexões, verificar os pontos de aterramento e verificar a lubrificação dos mecanismos.

2.5. Seccionador de Aterramento Rápido

2.5.1. Resistência de contato (Total, Articulações e Contatos);

A subseção [2.1.1](#) é aplicável.

2.5.2. Resistência de Isolamento de cada isolador e total;

A subseção [2.1.2](#) é aplicável.

2.5.3. Tempo de fechamento.

Para o ensaio de medição do tempo de fechamento da seccionadora é utilizado um cronômetro.

2.5.4. Resistência de Isolamento e resistência elétrica da bobina de fechamento;

A subseção [2.1.2](#) é aplicável.

2.5.5. Conexões de aterramento (Mecanismo para a estrutura e Estrutura para a malha);

A subseção [2.1.5](#) é aplicável.

2.5.6. Inspeção visual.

A subseção [2.4.5](#) é aplicável.

3. Disjuntores

3.1. Fator de Potência de Isolamento

Procedimento para o ensaio subseção 2.2 (c):

https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Fasciculo_equipamentos.pdf

3.2. Resistência de Isolamento

O ensaio da resistência de isolamento é realizado com a utilização do megôhmetro. Estando com o disjuntor aberto, conecta-se o cabo de linha (LINE) do megôhmetro ao terminal de saída de uma fase do disjuntor e o cabo de terra (EARTH) ao respectivo terminal de entrada do disjuntor. O cabo GUARD deve ser conectado à massa do disjuntor e assim o ensaio de resistência de isolamento do polo do disjuntor é realizado. Esse procedimento deve ser repetido nas três fases do disjuntor

Posteriormente, com o disjuntor fechado conecta-se o cabo de linha (LINE) do megôhmetro aos terminas de saída do disjuntor, o cabo de terra (EARTH) deve ser conectado à sua massa e assim o ensaio de resistência de isolamento dos isoladores é realizado.

3.3. Resistência de Contato de todas as câmaras e total

De acordo com a seção 6.4 da norma NBR IEC 62271-100, a medição deve ser feita com corrente contínua através da medição de queda de tensão ou da resistência através dos terminais de cada pólo. A corrente durante o ensaio deve ter qualquer valor conveniente entre 50A e a corrente nominal de regime contínuo.

O ensaio de resistência de contato é realizado com a utilização da ponte de Kelvin. Com os contatos fechados do disjuntor conectam-se os cabos do instrumento de medição na entrada e na saída de cada fase, e aplica-se uma corrente contínua de 100 A. Os valores de resistência estarão disponíveis após a estabilização do instrumento. O critério para aceitação do valor medido é compará-lo com a faixa de resistência aceitável informada pelo fabricante do equipamento.

3.4. Tempos de operações (O, C, CO, OCO) das câmaras e do resistor de pré-inserção através de todas das bobinas de abertura.

Procedimento para o ensaio subseção 2.2 (b):
https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Fasciculo_equipamentos.pdf

3.5. Ajuste e medição da pressurização dos circuitos hidráulicos e de gás dos pressostatos e manômetros;

3.6. Estanqueidade do gás;

Procedimento para o ensaio ver norma NBR 60694 subseção 6.8.

3.7. Óleo isolante (disjuntores GVO e PVO): Retirada e envio de amostra de óleo para laboratório para ensaios e testes de rotina

O procedimento de retirada do óleo do transformador deve ser feito com muito cuidado para evitar a contaminação da amostra. Preferencialmente, a amostra de óleo deve ser retirada com o transformador desligado. Somente em casos em que seja possível garantir a total segurança e integridade do profissional é que pode ser realizada a coleta da amostra do óleo com o transformador ligado. Nestes casos, recomenda-se o acompanhamento e a orientação de algum profissional especializado em segurança do trabalho.

Para realizar essa coleta é necessário dispor dos seguintes materiais e instrumentos:

- Bandeja plástica ou metálica;
- Material de limpeza (pano);
- Chave ajustável (grifo);
- Frasco de vidro, de preferência transparente com capacidade de um litro para o ensaio físico-químico;
- Seringa de vidro transparente para o ensaio de cromatografia;

- Kit com adaptadores metálicos ou PVC e redutor com vários diâmetros;
- Recipiente para material descartável.

A retirada da amostra do óleo é realizada de acordo com o seguinte procedimento:

- A coleta do óleo deve ser efetuada em dia seco com temperatura acima de 20°C e umidade relativa abaixo de 72%.
- A seringa, o frasco e o kit devem estar limpos e lavados com sabão neutro, secados em estufa a 110°C. Esse procedimento deve ser feito em laboratório.
- A saída do registro no transformador deve estar limpa.
- Antes de colher o óleo para a amostra, deve-se deixar drenar um pouco de óleo para retirar resíduos da tubulação de saída, a fim de não interferir no resultado do ensaio.
- Conectar o kit ao frasco, abrir o registro e deixar encher, de preferência, de baixo para cima até transbordar, não deixando bolha de ar dentro do frasco e/ou seringa. • Após a drenagem conectar o kit ao registro e deixar escorrer uma quantidade suficiente para lavagem do kit.
- Após a retirada da amostra, acondicionar a seringa e o frasco em ambiente apropriado, evitando contaminação, contato com luz solar e umidade.
- O ensaio do óleo deve ser feito o mais rápido possível a fim de não comprometer a amostra.

3.8. Resistência de isolamento dos motores;

De acordo com a seção 16 da norma NBR IEC 17094-4, a medição deve ser realizada entre os terminais do motor e a carcaça ou núcleo, a temperatura do enrolamento deve estar acima do ponto de orvalho, o ensaio deve ser realizado com uma tensão contínua de 500V por um tempo recomendado de 1 min. A resistência de isolamento mínima recomendada para enrolamentos de motores de indução é de 5MΩ a uma temperatura de 40°C.

3.9. Correntes de partida e regime permanente dos motores;

A medição da corrente de partida e regime permanente é realizada com um amperímetro, o ensaio irá averiguar se o motor não opera em sobrecarga.

3.10. Tempo de carregamento de mola;

Para o ensaio do tempo de carregamento da mola é utilizado um cronômetro.

3.11. Resistência de isolamento e resistência elétrica, das bobinas de abertura e fechamento;

3.12. Colar quente das buchas de disjuntores GVO e buchas de cubículos de 13,8 kV;

Este ensaio é realizado com o colar enrolado em volta do abrigo contra intempéries de porcelana da bucha abaixo da saia superior. As perdas registradas devem ser inferiores a 0,10 watts. Se a perda de corrente ou watts (potência) for significativamente maior do que o normal, é feito um segundo teste após posicionar o colar uma saia para baixo. Este procedimento pode ser repetido rebaixando o colar na bucha tanto quanto o necessário, para determinar até aonde a falha progrediu.

3.13. Cálculo Índice de perdas no tanque (TLI) em disjuntores GVO;

Comparar os mW somados de cada contato (T1 / T2 ou B1 / B2), contra a massa, medidos independentemente, na condição aberto, com os mW medidos para a condição fechado (PÓLO).

Discrepâncias maiores que + 16 mW ou -16 mW entre as medições mW fechado e o somatório dos valores parciais na condição aberto, são consideradas anormais e indicam a necessidade de investigar a causa com a maior rapidez possível.

3.14. Resistência elétrica entre as buchas de entrada e saída dos disjuntores de cubículo;

3.15. Inspeção visual.

Inspeção visual. Segundo seção 5.3 da norma NBR IEC 62271-102, a estrutura de cada equipamento de manobra deve ser provida com um terminal de aterramento confiável equipado com parafuso para conexão a um condutor de aterramento adequado às condições especificadas de falta para a terra. O diâmetro do parafuso deve ser no mínimo 12 mm. O ponto de conexão deve ser marcado com o símbolo de “Proteção à Terra”. As partes dos invólucros metálicos conectadas ao sistema de aterramento podem ser consideradas como um condutor de aterramento.

4. Chave a Vácuo/Óleo

4.1. Resistência de contato;

A subseção [2.1.1](#) é aplicável.

4.2. Resistência de isolamento;

A subseção [2.1.2](#) é aplicável.

4.3. Fator de Potência do isolamento;

Procedimento para o ensaio subseção 2.2 (c): https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/documentos/fasciculos/Fasciculo_equipamentos.pdf

4.4. Resistência de isolamento e resistência elétrica das bobinas de abertura e fechamento;

4.5. Resistência de isolamento do motor (caso as chaves sejam motorizadas);

A subseção [2.1.8](#) é aplicável.

4.6. Correntes de partida e de regime permanente dos motores;

A subseção [2.1.9](#) é aplicável.

4.7. Tempos de abertura e fechamento;

4.8. Retirada e envio de amostra de óleo para laboratório para ensaios e testes de rotina.

(Quando possível);

A seção [3.7](#) é aplicável.

4.9. Inspeção visual.

5. Religador

5.1. Resistência de isolamento;

A seção [3.2](#) é aplicável.

5.2. Fator de Potência do isolamento;

A seção [3.1](#) é aplicável.

5.3. Cálculo do índice de perdas no tanque (TLI);

A seção [3.13](#) é aplicável.

5.4. Retirada e envio de amostra de óleo para laboratório para ensaios e testes de rotina;

A seção [3.7](#) é aplicável.

5.5. Ensaios e Testes dos TC de bucha conforme indicado nos itens referentes à Transformador de Corrente desta especificação;

Consultar [Transformador de Corrente](#) deste documento.

5.6. Resistência de contato;

A seção [3.3](#) é aplicável.

5.7. Resistência de isolamento e resistência elétrica das bobinas de fechamento, fechamento remoto e abertura;

5.8. Sequência e curvas de operação conforme pedido de ajuste da CONTRATANTE;

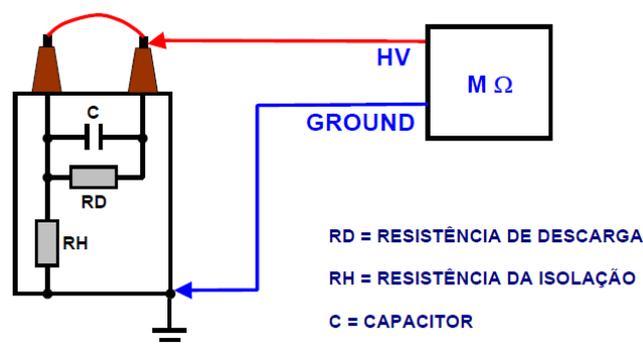
5.9. Pressão de gás;

5.10. Inspeção visual.

6. Capacitor

6.1. Resistência de isolamento de cada capacitor;

O ensaio da resistência de isolamento é realizado com a utilização do megôhmetro.



Fonte: Lactec (2003)

- Interligar com uma cordoalha o terminal 2 e a carcaça do capacitor;
- Conectar o cabo de saída do terminal AT (1kV) do megôhmetro ao terminal 1 do capacitor;

- Conectar o cabo de saída terminal retorno (-R) do megôhmetro ao terminal 2 do capacitor;
- Fazer a leitura de resistência de isolamento ao término de 1 minuto.

A análise deve ser feita por comparação com os resultados obtidos em ensaios anteriores ou do fabricante;

6.2. Capacitância de cada unidade e total de cada fase;

Conforme a subseção 6.3.4 da NBR 5282 a capacitância deve ser medida estando o capacitor submetido a uma tensão entre 0,9 vez e 1,1 vez a tensão nominal, empregando-se um método que elimine os erros de medição devido aos harmônicos. Esta medição da capacitância deve ser executada após os ensaios de tensão aplicada.

6.3. Resistência de isolamento das estantes;

De acordo com a NBR 14039:

7.3.3 Resistência de isolamento da instalação

7.3.3.1 A resistência de isolamento deve ser medida:

- a) entre os condutores vivos, tomados dois a dois;
- b) entre cada condutor vivo e a terra.

Durante esta medição os condutores fase e neutro podem ser interligados.

7.3.3.2 A resistência de isolamento deve atender aos valores mínimos especificados nas normas aplicáveis aos componentes da instalação. Esses valores são fornecidos pelos fabricantes de cada componente da instalação.

6.4. Resistência elétrica do resistor de descarga (A1xA2);

Conforme a subseção 6.3.6 da NBR 5282 o dispositivo de descarga, se houver, deve ser verificado por medida de resistência ôhmica. O método pode ser selecionado pelo fabricante. O ensaio deve ser feito após o ensaio de tensão suportável nominal.

6.5. Inspeção visual.

7. Cabo Isolado com Terminação Mufla (15 a 23 kV)

7.1. Resistência de isolamento;

O ensaio de resistência de isolamento deve ser realizado conforme NBR 6813.

7.2. Fator de Potência de Isolamento;

7.3. Tensão Aplicada em corrente contínua;

Conforme a seção 5.1 da NBR 9314 a tensão deve ser aplicada a uma taxa de 0,5 kV/s a 3,0 kV/s, até a tensão indicada na tabela 6 (NBR 9314). Para terminais para uso externo, o ensaio deve ser realizado sob chuva. O acessório é aprovado no ensaio se não ocorrer ruptura ou descarga externa.

7.4. Inspeção visual.

Os cabos de alta tensão devem ser inspecionados a fim de identificar indícios de aquecimento.

8. Pára-Raios

8.1. Resistência de isolamento;

O ensaio de resistência de isolamento é realizado usando o megôhmetro, para analisar se há fuga de corrente através do corpo do para-raios. Esse ensaio é realizado com a entrada do para-raios desconectado do barramento.

Na parte superior do para-raios deve-se conectar o cabo de linha (LINE) do megôhmetro e o cabo de terra (EARTH), negativo, é conectado na parte inferior do para-raios. Para aplicação da tensão suportável no ensaio, consultar subseção 5.3.1 da NBR 60060-1.

8.2. Fator de Potência do Isolamento (perdas em mW/W);

O equipamento utilizado para realização do ensaio é o Medidor de Fator de Potência de Isolamento. Para liberação de equipamentos para operação espera-se encontrar valores de Fator de Potência – FP menores que 2% referidos a 20°C. Também se condiciona a realização dos ensaios com umidade relativa máxima de 65%.

8.3. Atuação dos contadores de descargas;

Ver subseção 6.6.14 da Norma Técnica Celg D

<https://www.enel.com.br/content/dam/enel-br/one-hub-brasil---2018/nomas-t%C3%A9cnicas-gois/normas-t%C3%A9cnicas/NTC13.pdf>

8.4. Resistência de isolamento das bases isolantes;

A seção [9.1](#) também é aplicável nesse ensaio (consultar subseção 5.3.1 da NBR 60060-1).

De acordo com a NBR 14039:

7.3.3 Resistência de isolamento da instalação

7.3.3.1 A resistência de isolamento deve ser medida:

- a) entre os condutores vivos, tomados dois a dois;
- b) entre cada condutor vivo e a terra.

Durante esta medição os condutores fase e neutro podem ser interligados.

7.3.3.2 A resistência de isolamento deve atender aos valores mínimos especificados nas normas aplicáveis aos componentes da instalação. Esses valores são fornecidos pelos fabricantes de cada componente da instalação.

8.5. Medição da resistência elétrica da conexão do cabo de aterramento do pára-raios e sua respectiva haste de aterramento;

8.6. Inspeção visual.

9. Centelhador

9.1. Resistência de isolamento de cada isolador e total;

O instrumento utilizado para realização do ensaio é o megôhmetro. Os ensaios são realizados com aplicação de tensões conforme a tensão nominal do equipamento (consultar subseção 5.3.1 da NBR 60060-1). O tempo de duração do ensaio é 1 minuto.

O agente impeditivo da realização deste ensaio é o alto índice de umidade relativa do ar – UR. É aconselhável realizar-se os ensaios em valores menores de 70% de UR.

Figura: Tensões de teste conforme a tensão nominal do Equipamento

<i>Tensão do equipamento (V)</i>	<i>Tensão de teste (V)</i>
< 1.000	500
1.000 a 2.500	500 a 1.000
2.501 a 5.000	1.000 a 2.500
5.001 a 12.000	2.500 a 5.000
> 12.000	10.000

Fonte: https://www.osetoreletrico.com.br/wp-content/uploads/2014/08/ed-102_Fasciculo_Cap-VII-Manutencao-de-transformadores.pdf

9.2. Medição e ajustes dos gaps

9.3. Inspeção visual.

10. Bobina de Bloqueio

10.1. Resistência de isolamento de cada isolador e total;

A seção [9.1](#) também é aplicável nesse ensaio.

10.2. Resistência elétrica;

O ensaio de resistência elétrica deve ser realizado conforme seção 17.8 da NBR 16458.

10.3. Indutância

O ensaio da indutância nominal deve está de acordo com a seção 17.6 da NBR 16458.

10.4. Pára-raios da bobina;

Consultar [Pára-raios](#) neste documento.

10.5. Inspeção visual

11. Baterias Estacionárias

- 11.1. Medição de densidade do eletrólito de cada elemento (somente para baterias ventiladas)

Conforme a NBR 14199 seção 6.16, deve-se coletar amostra do eletrólito e determinar os índices de impurezas presentes, à luz dos especificados na NBR 14197:2018, 13.2 e tabela 3.

- 11.2. Medição de tensão de cada elemento.

O ensaio de medição de tensão deve ser realizado conforme seção 6.17 da NBR 14199.

- 11.3. Carga de equalização, se necessário.

O ensaio de carga de equalização deve ser realizado conforme seção 6.7 da NBR 14199.

- 11.4. Ciclo de descarga e recarga (Ensaio de Capacidade no regime projetado da instalação).

O ensaio de ciclos de descarga e recarga deve ser realizado conforme seção 6.8 da NBR 14199.

- 11.5. Medições ôhmicas internas de cada elemento (condutância ou impedância ou resistência interna).

O ensaio de medições ôhmicas internas deve ser realizado conforme seção 6.14 da NBR 14199. Ver também item D3 do Anexo D da NBR 15641.

- 11.6. Verificação do torque de aperto dos parafusos de conexão dos polos de cada elemento.

De acordo com a NBR 14199 o ensaio deve ser realizado com torquímetro compatível com o torque de aperto das interligações dos elementos ou monoblocos a ser aplicado segundo recomendações do fabricante.

- 11.7. Verificação das bitolas dos cabos utilizados na montagem e na conexão da bateria do retificador.

O ensaio deve ser realizado conforme seção 6.18 da NBR 14199.

11.8. Ensaaios e testes complementares conforme manual do fabricante.

Para outros ensaios e testes, ver tabela 1 da NBR 14199.

11.9. Inspeção visual.

O ensaio de inspeção visual deve ser realizado de acordo com a seção 6.2 da NBR 14199.

12. Carregador de Baterias

- 12.1. Ensaios e testes conforme manual de instrução do fabricante e ou instruções específicas da CONTRATANTE;
- 12.2. Anotação dos dados de placa;
- 12.3. Verificação dos torques de aperto das ligações;
- 12.4. Verificação das polaridades;
- 12.5. Isolamento C.C.;
- 12.6. Verificação da tensão de entrada e dispositivos de proteção no QDR (fusíveis, disjuntores, etc.);
- 12.7. Teste de variação de tensão de entrada (regulação);
- 12.8. Verificação do dimensionamento dos fusíveis e dos cabos utilizados na alimentação C.A. e na distribuição C.C. para baterias e consumidores;
- 12.9. Verificação do funcionamento das chaves C.A. e C.C.;
- 12.10. Teste de limitação de corrente;
- 12.11. Verificação da faixa e do valor de ajuste da tensão de saída em recarga;
- 12.12. Verificação da faixa e do valor de ajuste da tensão de saída em flutuação;
- 12.13. Verificação da faixa e do valor de ajuste da proteção e/ou sinalização de tensão alta no consumo;
- 12.14. Verificação da faixa e do valor de ajuste da proteção e/ou sinalização de tensão baixa no consumo;
- 12.15. Tensão residual (ripple);
- 12.16. Verificação de sobrelevação de temperatura;
- 12.17. Verificação de funcionamento em manual e automático;
- 12.18. Simulação de defeitos;

- 12.19. Simulação de funcionamento das colunas do diodo de queda (se houver);
- 12.20. Correntes de partida e regime permanente dos motores;
- 12.21. Aferição e ajustes do relé de controle de tensão conforme pedido de serviço da CONTRATANTE;
- 12.22. Resistência elétrica dos cabos de aterramento da bucha de neutro; Obs: Desconectar a fiação dos terminais secundários do TP durante os ensaios e testes. O ensaio de resistência elétrica dos cabos deve ser realizado conforme NBR 6814.
- 12.23. Inspeção visual.

13. Regulador de Tensão

- 13.1. Resistência de isolamento dos enrolamentos;

De acordo com a NBR 11809 (seção 9.6.7), o ensaio deve ser feito com um megôhmetro de 1000 V no mínimo, e o regulador deve estar com todas as buchas montadas e com todos os enrolamentos curto-circuitados.

Proceder da seguinte maneira:

- a) O ensaio de resistência do isolamento deve ser feito com todos os circuitos de igual tensão, ligados entre si. Circuitos ou grupos de circuitos de tensões diferentes devem ser ensaiados separadamente;
- b) Fazem-se as medições com as mesmas ligações indicadas na tabela 28 (NBR 11809, pág. 51) para ensaio de fator de potência do isolamento;
- c) Liga-se o megôhmetro, mantendo-se a tensão constante durante, no mínimo, 1 minuto e faz a leitura. Anota-se nesta leitura a tensão do megôhmetro utilizado e a temperatura do enrolamento sob ensaio. Para esta última leitura, o regulador deve estar em equilíbrio térmico com o ambiente;
- d) Terminado o ensaio, os terminais devem ser aterrados por tempo suficiente para que as cargas armazenadas escoem.

- 13.2. Fator de potência do isolamento;

O ensaio de fator de potência do isolamento é descrito na subseção 9.6.6 da NBR 11809:1991.

13.3. Relação de tensões;

O ensaio de relação de tensões é descrito na seção 9.3 da NBR 11809:1991. A norma apresenta três métodos para realização do ensaio: Método do voltímetro, Método de comparação e Método da ponte.

13.4. Resistência elétrica dos enrolamentos;

O ensaio da resistência elétrica dos enrolamentos é descrito com detalhes na seção 9.1 da NBR 11809:1991.

13.5. Óleo isolante: Retirada e envio de amostra de óleo para laboratório para ensaios e testes de rotina e gases dissolvidos do tanque principal e do comutador;
A seção [3.7](#) é aplicável.

13.6. Ensaio e Testes de TC de bucha e TP conforme indicado nos itens referentes à Transformador de Corrente e Transformador de Potencial Indutivo desta normatização;

13.7. Calibração e ajuste da imagem térmica conforme pedido de serviço da CONTRATANTE;

O ensaio consiste em verificar o aquecimento excessivo dos conectores, do corpo do regulador e o sobreaquecimento de óleo ou dos enrolamentos detectados através dos termômetros/imagens térmicas. O instrumento utilizado é um termovisor que realiza a medição remota e interpreta a radiação infravermelha que é emitida pelo equipamento.

13.8. Verificação do funcionamento, através de ajustes e medição das resistências de isolamento e de contato, de todos os instrumentos físicos como: relé de gás, termômetro de óleo e enrolamento, indicador de nível de óleo, válvulas de pressão e termostatos;

13.9. Resistência de Isolamento dos motores;

De acordo com a seção 16 da norma NBR IEC 17094-4, a medição deve ser realizada entre os terminais do motor e a carcaça ou núcleo, a temperatura do enrolamento deve estar acima do ponto de orvalho, o ensaio deve ser realizado com uma tensão contínua de 500 V por um tempo recomendado de 1 min. A resistência de isolamento mínima recomendada para enrolamentos de motores de indução é de $5M\Omega$ a uma temperatura de $40^{\circ}C$.

- 13.10. Correntes de partida e regime permanente dos motores;
- 13.11. Aferição e ajustes do relé de controle de tensão conforme pedido de serviço da CONTRATANTE;
- 13.12. Resistência elétrica dos cabos de aterramento da bucha de neutro; Obs: Desconectar a fiação dos terminais secundários do TP durante os ensaios e testes. O ensaio de resistência elétrica dos cabos deve ser realizado conforme NBR 6814.
- 13.13. Inspeção visual.
O ensaio de inspeção visual é descrito na NBR 11809:1991 (9.8.4.1).

14. Transformador / Reator

14.1. Transformador de potência trifásico

14.1.1. Resistência de isolamento dos enrolamentos;

De acordo com a norma NBR 5356-1 seção 11.9, a resistência de isolamento deve ser medida antes dos ensaios dos dielétricos. Este ensaio não constitui critério para aprovação ou rejeição do transformador. Ver anexo E da NBR 5356-1 (item E.4) para detalhes do ensaio.

14.1.2. Fator de potência do isolamento dos enrolamentos;

De acordo com a norma NBR 5356-1 seção 11.20, o ensaio do fator de potência do isolamento deve proceder os ensaios dielétricos e pode ser repetido após estes, desde que solicitado pelo comprador, para efeito de comparação com valores anteriormente obtidos. Ver anexo E da NBR 5356-1 (item E.12) para detalhes do ensaio.

14.1.3. Fator de potência do isolamento e capacitância das buchas;

Conforme a NBR 5034 seção 8.2.1, a medição do fator de perdas dielétricas ($\tan \delta$) e da capacitância (C_1) na temperatura ambiente, é aplicável somente a buchas com isolamento orgânica ou de polímero fundido, buchas compostas e buchas capacitivas. Durante este ensaio, recomenda-se que o condutor da bucha esteja conduzindo corrente. Para maiores detalhes ver norma citada.

14.1.4. Relação de tensões;

O ensaio de relação de tensões encontra-se na NBR 5356-1, anexo E (item E3).

14.1.5. Resistência elétrica dos enrolamentos em todas as derivações;

De acordo com a NBR 5356-1 seção 11.2, a resistência de cada enrolamento, os terminais entre os quais ela for medida e a temperatura dos enrolamentos devem ser registrados. A medição deve ser efetuada em corrente contínua. Detalhes do ensaio encontram-se no anexo E (item E2) da referida norma.

14.1.6. Corrente de excitação;

O valor eficaz da corrente de excitação e o valor das perdas são medidos simultaneamente. Para um transformador trifásico, toma-se a média dos valores das três fases. Maiores informações sobre o ensaio consultar NBR 5356-1 seção 11.5.

14.1.7. Óleo isolante: Retirada e envio de amostra de óleo para laboratório para ensaios e testes de rotina e gases dissolvidos do tanque principal e do comutador; A seção [3.7](#) também é aplicável.

14.1.8. Ensaio e Testes de TC de bucha conforme indicado no item referente à Transformador de Corrente desta normatização; Consultar [Transformador de Corrente](#) deste documento.

14.1.9. Calibração e ajuste da imagem térmica conforme pedido de serviço da CONTRATANTE;

O ensaio consiste em verificar o aquecimento excessivo dos conectores, do corpo do transformador e o sobreaquecimento de óleo ou dos enrolamentos detectados através dos termômetros/imagens térmicas. O instrumento utilizado é um termovisor que realiza a medição remota e interpreta a radiação infravermelha que é emitida pelo transformador.

14.1.10. Verificação do funcionamento, através de ajustes e medição das resistências de isolamento e de contato, de todos os instrumentos físicos como: relé de gás, termômetro de óleo e enrolamento, indicador de nível de óleo, válvulas de pressão e termostatos;

Consultar o anexo E (Item E.16 - Acessórios) da NBR 5356-1.

14.1.11. Resistência de Isolamento dos motores;

De acordo com a seção 16 da norma NBR IEC 17094-4, a medição deve ser realizada entre os terminais do motor e a carcaça ou núcleo, a temperatura do enrolamento deve estar acima do ponto de orvalho, o ensaio deve ser realizado com uma tensão contínua de 500 V

por um tempo recomendado de 1 min. A resistência de isolamento mínima recomendada para enrolamentos de motores de indução é de $5M\Omega$ a uma temperatura de $40^{\circ}C$.

14.1.12. Correntes de partida e regime permanente dos motores;

A medição da corrente de partida e regime permanente é realizada com um amperímetro, o ensaio irá averiguar se o motor não opera em sobrecarga.

14.1.13. Resistência de isolamento do núcleo (quando houver acesso que permita realizar esse ensaio e teste);

14.1.14. Resistência de Isolamento da fibra isolante que fica entre a base e o transformador de força;

14.1.15. Funcionamento da refrigeração forçada;

Consultar o anexo E (Item E.16 - Acessórios) da NBR 5356-1.

14.1.16. Aferição e ajustes do relé de controle de tensão conforme pedido de serviço da CONTRATANTE;

Relé de gás: presença de gás no visor; limpeza do visor; vazamento de óleo; juntas; fiação; atuação (alarme e desligamento).

Relé de pressão súbita: vazamento; juntas; contadores tipo plugue; fiação.

14.1.17. Resistência elétrica dos cabos de aterramento da bucha de neutro;

O ensaio de resistência elétrica dos cabos deve ser realizado conforme NBR 6814.

14.1.18. Resistência elétrica (continuidade) entre o conector e o cabeçote das buchas condensivas;

14.1.19. Inspeção visual.

No ensaio de inspeção visual deve-se observar: vazamento de óleo, aquecimento nos conectores, desnivelamento da base, irregularidades no funcionamento do comutador de derivações em carga, trinca ou quebra do diafragma de válvula de segurança, defeitos nos acessórios de proteção e sinalização.

15. Transformador para Serviços Auxiliares

- 15.1. Relação de tensões;
O ensaio de relação de tensões encontra-se na NBR 5356-1, anexo E (item E3).
- 15.2. Resistência elétrica dos enrolamentos;
A subseção [14.1.5](#) também é aplicável.
- 15.3. Resistência de isolamento dos enrolamentos;
A subseção [14.1.1](#) também é aplicável.
- 15.4. Fator de potência do isolamento;
A subseção [14.1.2](#) também é aplicável.
- 15.5. Verificar todas as buchas quanto a trincas ou quebras;
- 15.6. Óleo isolante: Retirada e envio de amostra de óleo para laboratório para ensaios e testes de rotina e gases dissolvidos;
A seção [3.7](#) também é aplicável.

16. Transformador de Potencial (TP) Indutivo

- 16.1. Resistência de isolamento dos enrolamentos;
A seção [17.1](#) deste documento é aplicável.
- 16.2. Fator de potência do isolamento do enrolamento, se aplicável;
O ensaio de medição do fator de potência do isolamento é utilizado a fim de se detectar isolamentos defeituosos.
De acordo com a seção 12.5 da NBR 6855:2018 a medição do fator de perdas dielétricas destina-se a obtenção de um parâmetro para avaliação qualitativa do isolamento principal do TPI. Segundo a NBR este ensaio é aplicável para TPI isolados a óleo e submetidos a níveis de tensão maior igual que 72,5 kV. Para o critério de aprovação, é estabelecido que o fator de perdas dielétricas medido à temperatura ambiente não pode exceder 1% para TPI imerso em óleo. O ensaio deve ser feito por meio do método do watt por

volt-ampère ou pelo método de ponte. Para maiores detalhes sobre o ensaio consultar seção 13.5 da NBR 6855:2018.

16.3. Relação de tensões em todas as derivações;

Este ensaio consiste da utilização de um instrumento como auxílio, responsável pela aplicação de tensão em um dos terminais do TPI (secundário) e verificação da tensão no outro terminal (primário). Com isso, torna-se possível se obter o valor da relação de transformação e erros associados.

16.4. Polaridade;

Conforme a NBR 6855 (seção 8.4), o TPI deve ter polaridade subtrativa. A identificação de polaridade deve ser de acordo com a seção 9.2 da norma citada.

16.5. Resistência elétrica dos enrolamentos em todas as derivações;

De acordo com a seção 11.6 da NBR 6855, o ensaio de resistência dos enrolamentos pode ser medida pelos métodos da queda de tensão ou método da ponte, de Wheatstone ou de Kelvin. Neste ensaio não há critérios de reprovação e os valores obtidos são meramente informativos.

16.6. Inspeção visual.

Inspeção visual a fim de detectar vazamentos, estado físico do tanque, trincas em isoladores, conectores, aterramento defeituoso e estado físico das bases de sustentação.

17. Transformador de Corrente (TC)

17.1. Resistência de isolamento;

O ensaio da resistência de isolamento analisa o nível de isolamento entre os enrolamentos de alta e baixa tensão, e entre estes enrolamentos e pontos de aterramento do Transformador de Corrente. A norma IEEE Std C57.13.1-2006 estabelece que a resistência mínima de isolamento aceitável é de $1M\Omega$. Devendo, portanto, os valores medidos nos ensaios ser superior a $1M\Omega$. Outra referência amplamente utilizada e recomendada por norma é a utilização dos valores de relatórios de ensaios de fabricantes ou ensaios anteriores desde que possuam um histórico de resultados.

A medição é realizada aplicando-se uma tensão contínua por determinado tempo e verifica-se qual o valor da resistência de isolamento. O instrumento de medição a ser utilizado é o MEGGER. Este é o equipamento aplicado com maior frequência em testes de isolamento, sendo capaz de realizar o teste de resistência de isolamento com aplicação de tensão CC de até 10kV, seguindo padrões IEEE.

Para o ensaio em TCs, a norma IEEE Std C57.13.1-2006 especifica que podem ser realizados até 5 tipos de conexões distintas para a obtenção da resistência de isolamento entre esses pontos. São elas:

1. Entre terminais secundários S_1 , S_2 e primários P_1 e P_2 ;
2. Entre terminais P_1 , P_2 e carcaça;
3. Entre terminais S_1 , S_2 e carcaça;
4. Entre terminais primários P_1 , P_2 e secundários S_1 e S_2 mais carcaça;
5. Entre terminais secundários S_1 , S_2 e primários P_1 e P_2 mais carcaça;

Antes de iniciar o ensaio é necessário garantir a isolação do TC, desconectando-o das barras energizadas de alta tensão, e aterrar base do TC.

Para medição de resistência de isolamento entre lado de alta e a carcaça do transformador, o cabo LINE é conectado aos terminais de alta tensão, o cabo EARTH é conectado à carcaça do equipamento e o cabo GUARD é conectado aos terminais de baixa tensão em um mesmo ponto, tendo em vista que não se tem interesse na sua medição. Aplica-se a tensão de ensaio 10 kV e são verificadas as leituras.

Para medição de resistência de isolamento entre lado de alta e lado de baixa do transformador, o cabo LINE é conectado aos terminais de alta tensão, o cabo EARTH é conectado aos terminais de baixa tensão em um mesmo ponto e o cabo GUARD é conectado à carcaça do equipamento. Aplica-se a tensão de ensaio 10 kV e são verificadas as leituras.

Para medição de resistência de isolamento entre lado de baixa e carcaça do transformador, o cabo LINE é conectado aos terminais de baixa tensão em um mesmo ponto, o cabo EARTH é conectado a carcaça do equipamento e o cabo GUARD é conectado aos terminais primários. Aplica-se a tensão de ensaio 500 V e são verificadas as leituras.

17.2. Fator de potência do isolamento, se aplicável;

O ensaio de medição do fator de potência do isolamento é utilizado a fim de se detectar isolamentos defeituosos. Refere-se a um teste completo de perdas dielétricas em

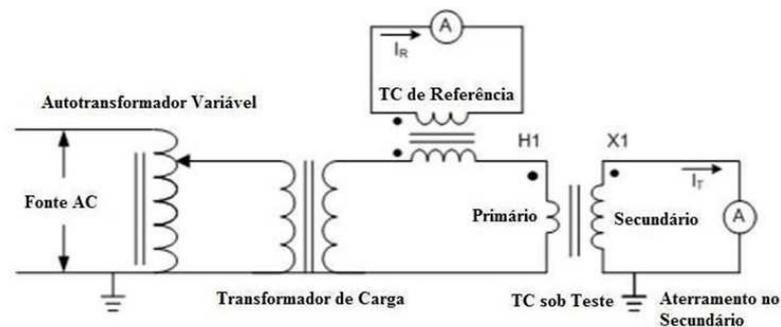
corrente alternada, capaz de identificar as condições de isolamento do equipamento por meio da variação de suas características.

De acordo com a seção 13.4 da NBR 6856:2015 a medição do fator de perdas dielétricas destina-se a obtenção de um parâmetro para avaliação qualitativa do isolamento principal do TC, comparando os valores medidos em campo com os medidos em fábrica. Segundo a NBR este ensaio é aplicável para TC imerso em óleo submetidos a níveis de tensão maior igual que 72,5 kV. Para o critério de aprovação, é estabelecido que o fator de perdas dielétricas medido à temperatura ambiente não pode exceder 0,5 % para TC imerso em óleo. O ensaio deve ser feito por meio do método do watt por volt-ampère ou pelo método de ponte. Para maiores detalhes sobre o ensaio consultar seção 13.4 da NBR 6856:2015.

17.3. Relação de correntes;

O ensaio de relação de correntes analisa o estado dos enrolamentos do transformador, se existe algum curto entre espiras ou ainda, se os enrolamentos estão abertos. Neste ensaio tem-se a simulação do TC em estado real de operação. O procedimento de ensaio fixado pela norma IEEE Std C57.13.1-2006, utiliza além de uma fonte de corrente elevada, um TC adicional de razão conhecida com um amperímetro associado ao seu circuito e um segundo amperímetro para o circuito secundário, conforme ilustrado a seguir.

Figura: Relação de Transformação Método da Corrente



Fonte: IEEE Std C57.13.1-2006

De acordo com a norma a fonte CA, necessária para o teste, poderá ser um transformador de carga, sendo este capaz de fornecer correntes elevadas, ultrapassando a faixa dos 1200 A. Caso seja utilizado um transformador de carga, é recomendável, por norma, a utilização de um autotransformador variável para o controle da tensão primária.

O TC de razão conhecida é utilizado como TC de referência e conectado em série com o circuito primário do TC em teste. A relação do transformador de corrente sob ensaio é igual à relação de espiras do TC de referência (N_r) multiplicada pela relação entre a corrente

secundária do TC de referência (I_R) e a corrente secundária do TC sob teste (I_T), de acordo com equação:

$$N = N_r \times \frac{I_R}{I_T}$$

Procedimento de ensaio com a fonte de corrente CA

1. Conectar a fonte de corrente CA nos terminais primário do TC;
2. Conectar um amperímetro no secundário do TC;
3. Aplicar corrente no circuito primário;
4. Verificar valores de corrente primária e secundária;

De posse dos valores de corrente primária e secundária, calcular a relação de transformação pela equação N .

- 17.4. Resistência elétrica dos enrolamentos do início do enrolamento para todas as derivações;

De acordo com a seção 12.5 da NBR 6856:2021, o ensaio de resistência dos enrolamentos pode ser medida pelos métodos da queda de tensão ou método da ponte, de Wheatstone ou de Kelvin. Se especificados valores-limites de resistência, os valores medidos devem ser iguais ou inferiores aos valores especificados. Quando não especificados, os valores são meramente informativos.

- 17.5. Polaridade;

Conforme a NBR 6856:2021 (seção 9.4), o TC deve ter polaridade subtrativa. A identificação de polaridade deve ser de acordo com a seção 10.2 da norma citada.

- 17.6. Levantamento da curva de Saturação (para os secundários de proteção);

Conforme seção 13.11 da NBR 6856:2015, o objetivo do ensaio de saturação é definir as características de excitação do núcleo de proteção do TC, sendo esta curva a relação da tensão de excitação secundária e a corrente de excitação. Na prática, é aplicado uma tensão senoidal nos terminais do enrolamento secundário sob análise e medindo a corrente de excitação correspondente a tensão aplicada. É importante frisar que o enrolamento primário e os demais enrolamentos secundários que não estão em análise, deveram estar abertos.

O ensaio consiste em aplicar uma tensão de teste de até 2 kV nos terminais do secundário sob ensaio. O teste define o ponto do joelho da curva, que representa a saturação do TC, de acordo com a norma IEC 60044-1 é referente ao ponto onde um aumento de tensão de 10% acarreta um aumento de 50% na corrente. Com intuito de eliminar qualquer

magnetismo residual resultante do teste, após a realização do ensaio é necessário desmagnetizar o núcleo do TC.

17.7. Inspeção visual.

Inspeção visual a fim de detectar vazamentos, estado físico do tanque, trincas em isoladores, conectores, aterramento defeituoso e estado físico das bases de sustentação.

18. Disjuntor Geral de Painel de Serviços Essenciais

18.1. Resistência de Isolamento;

A seção [3.2](#) deste documento é aplicável.

18.2. Resistência de Contato;

A seção [3.3](#) deste documento é aplicável.

18.3. Teste de atuação através de injeção de corrente.

O ensaio de teste de atuação de um disjuntor consiste em submeter o mesmo a diferentes amplitudes de corrente, acima da nominal, e registrar o tempo que o mesmo leva para desarmar.

19. Comissionamento de Bay Blindado a SF6 (GIS)

Os critérios para elaboração de projetos de subestação compacta blindada a SF6 (GIS) se encontra na NTU 005.2 de 2017 da Energisa seção 9.9 página 169.

ANEXO A – ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO EM VARISTORES DE ZNO

O documento a seguir é de autoria do mestrando Vandilson Barbosa.

1.1.1 MODELO DE ARRHENIUS

Inicialmente, tentou-se construir um banco de dados composto por sinais da corrente de fuga total obtidos de varistores ensaiados em laboratório. Para tanto, o modelo de Arrhenius foi utilizado para realizar o envelhecimento acelerado de varistores, por meio da aplicação de estresse elétrico e térmico, conjuntamente. Para aplicação desse modelo, duas estratégias foram empregadas. A primeira delas, consistiu em manter as grandezas tensão e temperatura constantes e variar o tempo de ensaio. E para a segunda, determinou-se que apenas a tensão seria constante e as grandezas temperatura e tempo seriam variadas.

Para realização dos ensaios com tensão e temperatura constantes e tempo variável, empregou-se o diagrama esquemático do arranjo experimental apresentado na Figura 4.2 – (a). O circuito é composto por uma mesa de controle, um transformador de tensão (0 a 100 kV – 5 kVA), um resistor de proteção (282 k Ω), um divisor capacitivo, o objeto de teste (varistor de ZnO) em série com um resistor shunt (R_{shunt}), uma estufa térmica e um osciloscópio digital. Para empregar a estufa térmica em conjunto com o kit de alta tensão, realizou-se o isolamento elétrico da carcaça da estufa em relação ao condutor de alta tensão. A carcaça da estufa foi conectada ao aterramento por meio de um resistor *shunt*. Adicionalmente, o bloco de varistor foi fixado e conectado ao condutor de alta tensão, conforme apresentado na Figura 4.2 – (b).

A aquisição do sinal da tensão aplicada sobre o varistor foi realizada por meio do divisor capacitivo associado a um osciloscópio. O sinal da corrente de fuga total foi adquirido empregando o resistor *shunt* que é proporciona a sua queda de tensão. As informações técnicas das duas amostras, A e B, de varistores utilizadas são apresentadas na Tabela 4.1.

O modelo de Arrhenius é representado matematicamente por (4.1). Para realizar envelhecimento acelerado do varistor em aproximadamente 68 anos, foi necessário

assumir $t_{Teste} = 4 \text{ h}$, $T_{Teste} = 170^\circ\text{C}$ e $T_{Pad} = 40^\circ\text{C}$, conforme apresentado em (4.2). E, ainda, submeteu-se o varistor à MCOV, 3,2 kV, para satisfazer as condições exigidas por norma (IEC 60099-4, 2014). Na Tabela 4.2 são apresentados os resultados obtidos nos ensaios elétricos considerando as tensão e temperatura constantes e o tempo de aplicação dos esforços elétricos variável.

O processo de validação do envelhecimento acelerado do varistor é realizado por meio da análise do nível da tensão de referência (valor de tensão para gerar uma corrente de fuga de 1 mA RMS através do varistor). De acordo com Doorsamy & Bokoro (2018), o envelhecimento do varistor é verificado caso a tensão de referência seja reduzida entre 5% e 10%, o que implica em um maior nível de corrente de fuga para o mesmo nível de tensão aplicado antes do envelhecimento, considerando que o varistor estava novo no início do ensaio.

$$t = t_{Teste} \times 2,5^{\frac{(T_{Teste}-T_{Pad})}{10}}, \quad (4.1)$$

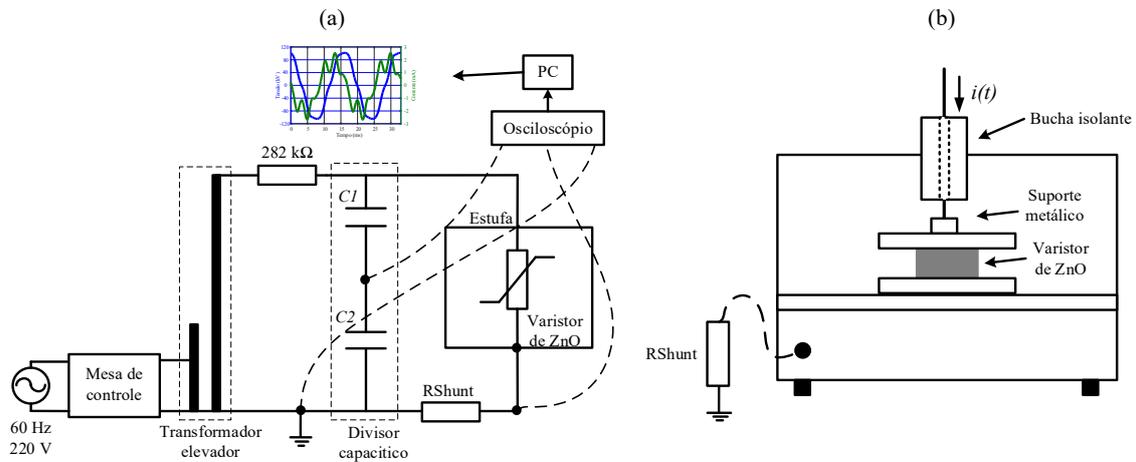
$$t = 4 \times 2,5^{\frac{(170-40)}{10}} = 596.050 \text{ horas}, \quad (4.2)$$

$$t \approx 68 \text{ anos},$$

em que t é o tempo correspondente ao envelhecimento acelerado; t_{Teste} é o tempo de ensaio real; T_{Teste} é a temperatura de teste de envelhecimento acelerado; T_{Pad} é a temperatura padrão (40°C).

A amostra de varistor A não foi envelhecida de forma acelerada, pois a redução da tensão de referência constatada, após o ensaio de envelhecimento, foi de 1,70%, haja vista que os níveis de tensão medidos antes e após o ensaio foram de 4,72 kV e 4,64 kV, respectivamente. De modo semelhante à amostra de varistor A , a mostra B também não foi envelhecida de forma acelerada, pois a redução da tensão de referência foi de 1,64%, considerando os valores de tensão de referência medidos antes e após o ensaio de envelhecimento de 4,96 kV e 4,88 kV, respectivamente. Durante a aquisição dos níveis de tensão, as curvas características dos varistores 1 e 2 foram obtidas, as quais são apresentadas na Figura 4.3.

Figura 4.2 – (a) Arranjo experimental para realização dos ensaios; (b) esquema representativo da estufa térmica.



Fonte: Autor (2021).

Tabela 4.1 – Dados técnicos dos varistores.

Dados técnicos	Para-raios
Máxima tensão de operação contínua	3,2 kV
Tensão residual máxima	13,2 kV
Corrente nominal de descarga	10 kA
Classe de descarga	Classe 1
Varistor	ZnO

Fonte: Autor (2021).

Os ensaios com tensão constante com a temperatura e o tempo variáveis foram realizados com base no diagrama esquemático do arranjo experimental apresentado na Figura 4.2 – (a), com a estufa configurada de acordo com a Figura 4.2 – (b). As amostras dos dois varistores utilizados também possuem as mesmas características apresentadas na Tabela 4.1. Nesses ensaios, o modelo de Arrhenius também foi utilizado. Desta vez, tentou-se envelhecer o varistor de forma acelerada em aproximadamente 67 anos, como apresentado em (4.3). Para tanto, adotou-se $t_{teste} = 2,5 h$, $T_{pad} = 40^{\circ}\text{C}$, tensão igual a MCOV e temperatura de teste variável, sendo o valor final fixado em $T_{teste} = 175^{\circ}\text{C}$. Para alcançar essa temperatura, iniciou-se com $T_{teste} = 130^{\circ}\text{C}$, com incrementos de 5°C até atingir a temperatura a temperatura final, conforme apresentado na Tabela 4.3. A forma de verificar se houve envelhecimento

acelerado (e permanente) dos varistores foi realizada da mesma maneira descrita anteriormente.

$$t = 2,5 \times 2,5^{\frac{(175-40)}{10}} = 589.020 \text{ horas,}$$

$$t \approx 67 \text{ anos.} \quad (4.3)$$

Parâmetros	Especificação dos parâmetros										
Tempo real acumulado (horas)	0	0,4	0,8	1,2	1,6	2,0	2,4	2,8	3,2	3,6	4,0
Tempo artificial acumulado (anos)	0	6,80	13,61	20,41	27,22	34,02	40,82	47,63	54,43	38,27	68,04
Temperatura acumulada (°C)	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170	170
Tensão (kV)	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2

Tabela 4.2 – Dados referentes aos ensaios realizados com tensão e temperatura constantes e tempo variável.

Fonte: Autor (2021).

Parâmetros	Especificação dos parâmetros										
Tempo real acumulado (horas)	0	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	1,75	2,00	2,25	2,50
Tempo artificial acumulado (anos)	0	0,11	0,34	0,82	1,72	3,40	6,45	11,91	21,52	38,27	67,24
Temperatura acumulada (°C)	130	130	135	140	145	150	155	160	165	170	175
Tensão (kV)	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2	3,2

Tabela 4.3 – Dados referentes aos ensaios realizados com tensão constante e temperatura e tempo variáveis.

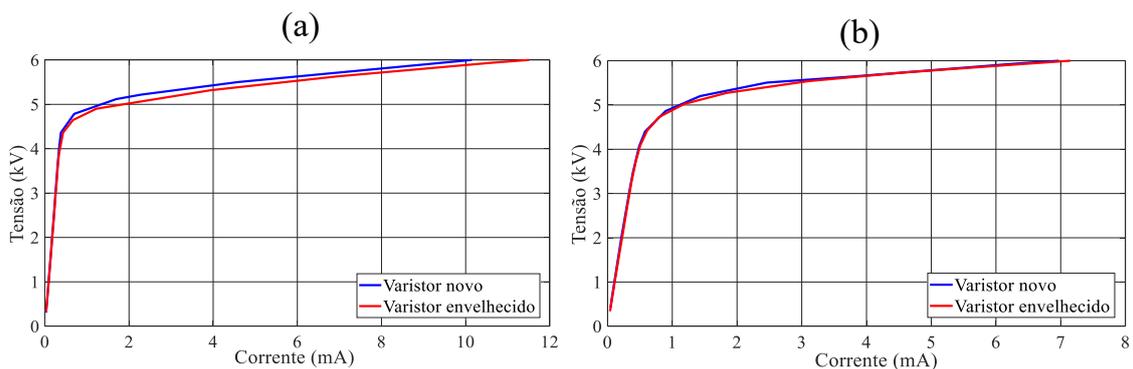
Fonte: Autor (2021).

Para a amostra de varistor 3, verificou-se que não houve envelhecimento acelerado, visto que a redução da tensão de referência constata, após o envelhecimento, foi de 1,05%, considerando que os níveis de tensão medidos antes e após o ensaio foram de 4,77 kV e 4,72 kV, respectivamente. Referente à amostra 4, também não foi verificado o envelhecimento acelerado do varistor, pois a redução da tensão de referência foi de 4,12%, considerando os valores de tensão de referência medidos antes

e após o ensaio de envelhecimento de 5,23 kV e 5,02 kV, respectivamente. Durante a aquisição dos níveis de tensão, as curvas características dos varistores 3 e 4 foram obtidas, as quais são apresentadas na Figura 4.4.

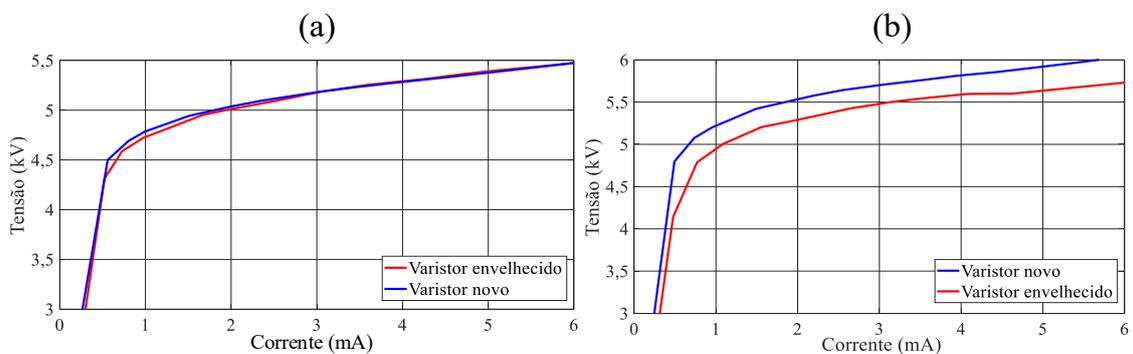
Pelo exposto, conclui-se que as estratégias apresentadas de envelhecimento de varistores de ZnO não proporcionou a desejada degradação permanente dos varistores.

Figura 4.3 – Curvas características obtidas por meio dos ensaios de envelhecimento acelerado de varistores de ZnO (a) para a amostra 1 e (b) para a amostra 2, considerando os valores eficazes da tensão e corrente.



Fonte: Autor (2021).

Figura 4.4 – Curvas características obtidas por meio dos ensaios de envelhecimento acelerado de varistores de ZnO (a) para a amostra 3 e (b) para a amostra 4, considerando os valores eficazes da tensão e corrente.



Fonte: Autor (2021).

Referências

DOORSAMY, W.; BOKORO, P. *Condition Monitoring of Metal-oxide Surge Arresters using Leakage Current Signature Analysis*. In: 20th International Conference on High Voltage Engineering, 2018.

IEC 60099-4. *Surge Arresters - Part 4: Metal-oxide Surge Arresters Without Gaps for a.c. Systems*. [S.l.], 2014.