

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

PAULO JOSÉ DA ROSA NETO

**MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM SUBESTAÇÕES ABRIGADAS
DE MÉDIA TENSÃO**

FLORIANÓPOLIS, 2025.

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SANTA
CATARINA – CÂMPUS FLORIANÓPOLIS
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETROTÉCNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA**

PAULO JOSÉ DA ROSA NETO

**MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM SUBESTAÇÕES ABRIGADAS
DE MÉDIA TENSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina como parte dos requisitos para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista.

Orientador:
Prof. Daniel Tenfen, Dr. Engº.

FLORIANÓPOLIS, 2025.

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor.

Rosa Neto, Paulo José da
**MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM SUBESTAÇÕES ABRIGADAS DE
MÉDIA TENSÃO / Paulo José da Rosa Neto; orientação de Daniel
Tenfen. - Florianópolis, SC, 2025.**
124 p.

**Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) - Instituto Federal
de Santa Catarina, Câmpus Florianópolis. Bacharelado
em Engenharia Elétrica. Departamento Acadêmico
de Eletrotécnica.**
Inclui Referências.

1. Manutenção Preventiva. 2. Subestação abrigadade
média tensão. 3. Plano de manutenção. 4. Segurança do
trabalho. I. Tenfen, Daniel. II. Instituto Federal de
Santa Catarina. III. **MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM SUBESTAÇÕES
ABRIGADAS DE MÉDIA TENSÃO.**

**MANUTENÇÃO PREVENTIVA EM SUBESTAÇÕES ABRIGADAS
DE MÉDIA TENSÃO**

PAULO JOSÉ DA ROSA NETO

Este trabalho foi julgado adequado para obtenção do título de Engenheiro(a) Eletricista e aprovado na sua forma final pela banca examinadora do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina.

Florianópolis, 18 de dezembro, 2025.

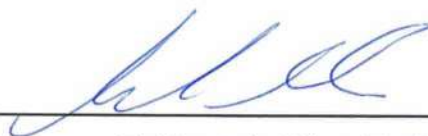
Banca Examinadora:



Daniel Tenfen, Dr. Eng^o.



Fábio Victor Schreiber, MSc. Eng^o



Fabiano da Silva, Eng^o

Dedico este trabalho à minha família, em especial aos meus pais, Eliane e Nelson e à minha irmã, Fernanda, que acompanharam toda a minha trajetória na vida acadêmica.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pela minha vida.

¹Bem-aventurado aquele que teme ao Senhor e anda nos seus caminhos.

²Pois comerás do trabalho das tuas mãos; feliz serás, e te irá bem.

³A tua mulher será como a videira frutífera aos lados da tua casa; os teus filhos como plantas de oliveira à roda da tua mesa” (Salmos 128:1-3).

Agradeço à minha família, nas Figuras de meus pais, Nelson José e Eliane Idenir, de minha irmã Fernanda da Rosa e de minha avó, Idenir Rosa (in memoriam), que acompanharam toda a minha trajetória na vida acadêmica e sempre torceram pelo meu sucesso.

Agradeço aos meus amigos, em especial Leocardia Szeskoski, Gean Lucas e José Francisco, que sempre estiveram ao meu lado desde o início da graduação.

Agradeço à Policial Rodoviária Federal, em especial, nas Figuras dos inspetores Rodrigo Ferrer Uber e Anderson Martins Vidaleti, por todo o suporte disponibilizado na fase final de graduação.

Agradeço ao IFSC por todo o suporte e oportunidade de tornar-me Engenheiro Eletricista, em especial, na Figura de meu orientador professor Dr. Eng^o Daniel Tenfen, que sempre foi atencioso e acreditou no meu potencial para a conclusão do presente trabalho.

Agradeço aos membros da banca, professor MSc. Eng^o Fábio Victor Schreiber e Eng^o Fabiano da Silva, que aceitaram avaliar meu trabalho e contribuir para o meu desenvolvimento.

Enfim, agradeço a todos que, direta ou indiretamente conviveram e participaram da minha trajetória acadêmica.

Combati o bom combate,
terminei a corrida, guardei a fé.
(2 Timóteo 4:7).

RESUMO

O presente trabalho apresenta a relevância da manutenção preventiva nas subestações abrigadas de média tensão. Devido á história, é sabido que a probabilidade de uma falta de energia devido a falhas por falta de manutenção é percentualmente maior, causando transtornos para qualquer setor da economia, em especial polos tecnológicos, aeroportos, indústrias, hospitais e condomínios, locais em que encontramos mais sensibilidade à falta dela. Com isso, o foco principal do trabalho é explanar a confiabilidade do sistema frente a frequência de manutenção preventiva, demonstrando desde indicadores de manutenção para definição de um plano de manutenção até a manutenção de todos os componentes presentes em uma subestação abrigada de média tensão, passando por todos os requisitos de segurança requeridos por normas. Sob esta perspectiva, o trabalho aborda os principais componentes de uma subestação abrigada até 36,2 kV, apresentando um plano de manutenção e um passo a passo das boas práticas de engenharia, expondo ensaios, procedimentos e insumos utilizados nas manutenções preventivas, com embasamento na norma brasileira NBR 14039:2021 e nas recomendações de fabricantes de componentes de média tensão até 36,2 kV. Serão referenciadas as normas técnicas e as normas de segurança do trabalho. Como resultado, o trabalho destaca-se por apresentar um plano de manutenção completo para uma subestação abrigada de média tensão, e pela apresentação de novas tecnologias e tendências futuras para o setor.

Palavras-chave: Plano de manutenção. Manutenção Preventiva. Subestação abrigada de média tensão. Segurança do trabalho.

ABSTRACT

This paper presents the relevance of preventive maintenance in medium-voltage enclosed substations. Historically, it is known that the probability of a power outage due to maintenance failures is proportionally higher, causing disruption to any sector of the economy, especially technological hubs, airports, industries, hospitals, and residential complexes – locations where power outages are most sensitive. Therefore, the main focus of this work is to explain the reliability of the system in relation to the frequency of preventive maintenance, demonstrating everything from maintenance indicators for defining a maintenance plan to the maintenance of all components present in a medium-voltage enclosed substation, including all safety requirements mandated by standards. From this perspective, the work addresses the main components of an enclosed substation up to 36.2 kV, presenting a maintenance plan and a step-by-step guide to good engineering practices, outlining tests, procedures, and inputs used in preventive maintenance, based on the Brazilian standard NBR 14039:2021 and the recommendations of manufacturers of medium-voltage components up to 36.2 kV. Technical standards and occupational safety standards will be referenced. As a result, the work stands out for presenting a complete maintenance plan for an enclosed medium-voltage substation, and for presenting new technologies and future trends for the sector.

Keywords: Maintenance plan. Preventive maintenance. Medium voltage enclosed substation. Workplace safety.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Subestação Abrigada	23
Figura 2 – Organograma dos tipos de manutenções	28
Figura 3 – Subestação com ramal de entrada subterrâneo acima de 300 kVA	29
Figura 4 – Subestação com ramal de entrada aérea acima de 300 kVA	30
Figura 5 – Diagrama unifilar de subestação abrigada	32
Figura 6 – Cabo isolado de média tensão	33
Figura 7 – Mufla termocontrátil	34
Figura 8 – Isoladores de porcelana e de resina epóxi	34
Figura 9 – Barramento de média tensão	35
Figura 10 – Conexões de média tensão	35
Figura 11 – Chaves seccionadoras de abertura sem carga (á esquerda) e de abertura com carga (á direita)	36
Figura 12 – Chaves seccionadoras de abertura sem carga (á esquerda) e de abertura com carga (á direita) com portas fusíveis HH limitadores de corrente	36
Figura 13 – Fusível tipo HH	37
Figura 14 – Detalhes internos do fusível tipo HH	38
Figura 15 – Para-raios tipo válvula	38
Figura 16 – Disjuntor de média tensão á vácuo	40
Figura 17 – Detalhes internos da câmara de contatos e de extinção de arco	40
Figura 18 – Relé de proteção	42
Figura 19 – Transformador de potencial	43
Figura 20– Transformador de corrente	43
Figura 21 – Transformador a óleo	45
Figura 22 – Transformador a seco	45
Figura 23 – Relé de proteção térmica	47
Figura 24 – Ventilação forçada para transformador a seco	48
Figura 25 – Exaustor	48
Figura 26 – QGBT	49
Figura 27 – Caixa BEP	50
Figura 28 – Armário para armazenamento de EPIs	51
Figura 29 – Espanta roedores eletrônico	52
Figura 30 – Luminária de emergência	52
Figura 31 – Fórmula e gráfico para cálculo do MTBF	53

Figura 32 – Fórmula e gráfico para cálculo do MTTR	55
Figura 33 – Fórmula para cálculo da disponibilidade	56
Figura 34 – Fórmula para cálculo da confiabilidade	57
Figura 35 – Fórmula para cálculo do Backlog	58
Figura 36 – Fórmula para cálculo do CMF	58
Figura 37 – Fórmula para cálculo do CPMV	59
Figura 38 – Distribuição por tipo de manutenção	60
Figura 39 – Vestimenta de proteção contra riscos provenientes de arco elétrico e fogo repentino conforme NR-09	65
Figura 40 – Abertura das chaves fusíveis no poste pela concessionária de energia	65
Figura 41 – Teste de detecção de tensão da concessionária de energia	66
Figura 42 – Teste de detecção de tensão realizado pela equipe na entrada de energia.....	66
Figura 43 – Aterramento temporário na entrada de energia	67
Figura 44 – Ponto quente detectado em chave seccionadora	69
Figura 45 – Instrumento analisador de energia	70
Figura 46 – Ensaio de resistência de isolamento de cabos de MT	72
Figura 47 – Instrumento Megômetro	73
Figura 48 – Instrumento Hipot	73
Figura 49 – Cabo com isolamento em boas condições	74
Figura 50 – Cabo com isolamento deteriorada	74
Figura 51 – Fenômeno <i>Flash Over</i>	75
Figura 52 – Fenômeno <i>Tracking</i>	75
Figura 53 – Ensaio de resistência de isolamento das muflas com o instrumento megômetro	76
Figura 54 – Ensaio de resistência de isolamento das chaves seccionadoras com o instrumento megômetro	77
Figura 55 – Instrumento Micro-ohmímetro	78
Figura 56 – Ensaio de resistência de contatos das chaves seccionadoras com o instrumento microhmímetro	78
Figura 57 – Ensaio de resistência de isolamento dos para-raios com o instrumento megômetro	79
Figura 58 – Ensaio de resistência de isolamento dos disjuntores de MT com o instrumento megômetro - Disjuntor Aberto	80
Figura 59 – Ensaio de resistência de isolamento dos disjuntores de MT com o instrumento megômetro - Disjuntor Fechado.....	80

Figura 60 – Ensaio de resistência de contatos dos disjuntores de MT com o instrumento microhmímetro - Disjuntor fechado	81
Figura 61 – Painel de comando à distância com relé de proteção	83
Figura 62 – Circuito de instalação do relé de proteção com <i>no-break</i> em funcionamento	83
Figura 63 – Circuito de instalação do relé de proteção com <i>no-break</i> em falha	84
Figura 64 – Instrumento TTR	85
Figura 65 – Ensaio de relação de transformação com o instrumento TTR	85
Figura 66 – Ensaio de resistência de isolamento com o instrumento megômetro.....	87
Figura 67 – Ensaio de resistência dos enrolamentos primário e secundário com o instrumento micromímetro	88
Figura 68 – Ilustração de conexão para ensaio de relação de transformação com o instrumento TTR.....	90
Figura 69 – Ilustração de conexão para ensaio de resistência de isolamento com o instrumento megômetro	91
Figura 70 – Ilustração de conexão para ensaio de resistência dos enrolamentos primário e secundário com o instrumento micromímetro	91
Figura 71 – Funções e display do relé térmico para transformadores a seco THERMTRONIC®	96
Figura 72 – Ensaio de resistência de isolamento entre os barramentos de força com o instrumento megômetro	97
Figura 73 – Método da queda de potencial	98
Figura 74 – Equipamento terrômetro.....	99
Figura 75 – Luvas isolantes.....	100
Figura 76 – Ensaio de luvas isolantes com o instrumento Hypot	101
Figura 77 – Estrados isolantes	101
Figura 78 – Ensaio de estrados isolantes com o instrumento Hypot.....	102
Figura 79 – Desengraxante dielétrico.....	103
Figura 80 – Aplicação de desengraxante dielétrico por pulverização.....	104
Figura 81 – Câmera termográfica de monitoramento remoto.....	106
Figura 82 – Analisador de energia permanente	106

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Impactos do apagão sobre faturamento de comércio e serviços na cidade de São Paulo.....	19
Tabela 2 - Legenda dos desenhos das subestações com entrada subterrânea ou aérea	31
Tabela 3 - Resistência de isolamento mínima recomendada para cabos de MT	71
Tabela 4 - Valores de tensão elétrica contínua para o ensaio com o Hipot	73
Tabela 5 - Especificações técnicas para ensaio dos cabos de MT com o instrumento Hipot	74
Tabela 6 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TPs de medição	85
Tabela 7 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TPs de proteção.....	85
Tabela 8 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TCs de medição	86
Tabela 9 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TCs de medição	86
Tabela 10 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TCs de medição	86
Tabela 11 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TCs de proteção.....	86
Tabela 12 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TCs de proteção.....	87
Tabela 13 - Valores de referência para critério de aceitação de transformadores a seco.....	88
Tabela 14 - Limites de elevação de temperatura dos enrolamentos de transformadores a seco	90
Tabela 15 - Conexões entre os enrolamentos de BT e MT para medição com o instrumento TTR.....	90
Tabela 16 - Conexões entre os enrolamentos de BT, MT e carcaça para medição com o instrumento megômetro	91
Tabela 17 - Conexões entre os enrolamentos de BT e MT para medição com o instrumento micromímetro	92
Tabela 18 - Características do óleo isolante	93
Tabela 19 - Características do óleo isolante	93
Tabela 20 - Recomendações em caso de problemas no óleo isolante	94
Tabela 21 - Valores de referência para análise cromatográfica do óleo isolante	94
Tabela 22 - Valores mínimos de resistência de isolamento	98
Tabela 23 - Periodicidade de ensaios de EPI e EPC	100

Tabela 24 - Especificações técnicas para o ensaio das luvas isolantes	100
Tabela 25 - Especificações técnicas para ensaio dos estrados isolantes	101

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ABRADEE – Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

APR – Análise Preliminar de Risco

ARC FLASH – Explosão de Arco

AT – Alta Tensão

BEP – Barramento de Equipotencialização Principal

BT – Baixa Tensão

°C – Graus Celsius

CEMIG – Companhia Energética de Minas Gerais

CMF – Custo de Manutenção sobre Faturamento

CONFEA – Conselho Federal de Engenharia e Agronomia

CPMV – Custo de Manutenção sobre Valor de Reposição

CREA – Conselho Regional de Engenharia e Agronomia

EMH – Equipamentos Médico Hospitalares

EPC – Equipamentos de Proteção Coletiva

EPI – Equipamentos de Proteção Individual

GΩ – GigaÔhms

Hz - Hertz

IoT – Internet das coisas

kV – Kilo Volt

MΩ - MegaÔhms

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego

MT – Média Tensão

MTBF – *Mean Time Between Failures*

MTTR – *Mean Time To Repair*

NR – Norma Regulamentadora

NBR – Norma Brasileira

OM – Ordem de Manutenção

OS – Ordem de Serviço

PM – Plano de Manutenção

PRODIST – Procedimentos de Distribuição

PTR – Permissão de Trabalho

QGBT – Quadro Geral de Baixa Tensão

SEs – Subestações Elétricas

TΩ – TeraÔhms

TCs – Transformadores de Corrente

TPs – Transformadores de Potencial

TTR – *Transformer Turns Ratio*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Definição do Problema	18
1.2	Justificativa	18
1.3	Objetivo Geral	20
1.4	Objetivos Específicos	20
1.5	Estrutura do trabalho	20
2	REVISÃO DA LITERATURA	22
2.1	Normas	22
2.2	Manutenção Industrial	23
2.2.1	Plano de manutenção (PM).....	24
2.2.2	Ordem de serviço (OS)	25
2.2.3	Manutenção Preventiva	26
2.2.4	Manutenção Preditiva	26
2.2.5	Manutenção Corretiva	27
2.2.6	Manutenção Prescritiva.....	27
2.2.7	Organograma das manutenções.....	28
2.3	Subestações abrigadas de média tensão até 36,2 kV	28
2.3.1	Componentes de uma subestação abrigada.....	31
2.3.1.1	<i>Diagrama unifilar</i>	31
2.3.1.2	<i>Ramal de ligação</i>	32
2.3.1.3	<i>Cabo isolado de média tensão</i>	32
2.3.1.4	<i>Muflas</i>	33
2.3.1.5	<i>Isoladores de média tensão</i>	34
2.3.1.6	<i>Barramento de média tensão</i>	35
2.3.1.7	<i>Chaves seccionadoras</i>	35
2.3.1.8	<i>Fusíveis</i>	37
2.3.1.9	<i>Para-raios</i>	38
2.3.1.10	<i>Disjuntor de média tensão</i>	39
2.3.1.11	<i>Relé de proteção e painel de comando á distancia</i>	41
2.3.1.12	<i>Transformadores para instrumentos</i>	42
2.3.1.12.1	<i>Transformadores de potencial</i>	43
2.3.1.12.2	<i>Transformadores de corrente</i>	43
2.3.1.13	<i>Transformadores de potência</i>	44
2.3.1.13.1	<i>Transformadores a óleo</i>	44
2.3.1.13.2	<i>Transformadores a seco</i>	45
2.3.1.14	<i>Relé térmico para transformadores a seco</i>	46
2.3.1.15	<i>Ventilação forçada para transformadores a seco</i>	47
2.3.1.16	<i>Ventilação forçada para a subestação</i>	48
2.3.1.17	<i>QGBT - Quadro Geral de Baixa Tensão</i>	49
2.3.1.18	<i>Aterramento</i>	49
2.3.1.19	<i>Armário para armazenamento de EPI (Equipamentos de proteção individual)</i>	50
2.3.1.20	<i>Repelente eletrônico para roedores</i>	51
2.3.1.21	<i>Iluminação de emergência</i>	52

3	ANÁLISE DE INDICADORES DE MANUTENÇÃO (KPI'S)	53
3.1	MTBF – Tempo médio entre falhas	53
3.2	MTTR – Tempo médio para reparo	54
3.3	Disponibilidade	55
3.4	Confiabilidade	56
3.5	Backlog	57
3.6	CMF – Custo de manutenção sobre faturamento	58
3.7	CPMV – Custo de manutenção sobre valor de reposição	59
3.8	Distribuição por tipo de manutenção	59
4	MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS COMPONENTES DE SUBESTAÇÕES ABRIGADAS DE MT	61
4.1	Protocolo de segurança para a manutenção	62
4.2	Análise preliminar de risco (APR), permissão de trabalho (PTR) e anotação de responsabilidade técnica (ART)	67
4.3	Execução da manutenção: inspeção, serviços e ensaios	68
4.3.1	Inspeção.....	69
4.3.2	Cabos isolados de MT.....	70
4.3.3	Muflas.....	75
4.3.4	Barramentos de MT.....	76
4.3.5	Chaves seccionadoras.....	76
4.3.6	Para-raios.....	78
4.3.7	Disjuntor de média tensão.....	79
4.3.8	Relé de proteção e painel de comando à distância.....	81
4.3.9	Transformadores para instrumentos.....	84
4.3.10	Transformadores de potência.....	88
4.3.10.1	<i>Transformadores a seco</i>	88
4.3.10.2	<i>Transformadores a óleo</i>	92
4.3.11	Relé térmico para transformadores a seco.....	95
4.3.12	Ventilação forçada para transformadores a seco.....	96
4.3.13	Ventilação forçada da subestação.....	96
4.3.14	Quadro Geral de Baixa Tensão.....	97
4.3.15	Aterramento.....	98
4.3.16	EPIs e EPCs.....	99
4.3.17	Repelente eletrônico para roedores.....	102
4.3.18	Iluminação de emergência.....	102
4.3.19	Boas práticas na manutenção.....	102
4.3.20	Reenergização da subestação.....	104
4.4	Manutenção Prescritiva	105
5	COMENTÁRIOS FINAIS	107
	REFERÊNCIAS	108
6	ANEXOS	117

1 INTRODUÇÃO

Na atualidade, a eletricidade tornou-se indispensável à humanidade, sendo uma necessidade no processo de globalização. No cenário atual, uma pequena falta de energia pode acarretar grandes prejuízos nas indústrias, nos hospitais, enfim, em condomínios e nas residências convencionais, podendo inclusive causar pânico e sensação de insegurança.

Exercendo uma atividade indispensável no sistema de distribuição de energia elétrica, as subestações elétricas, comumente chamadas de SEs, operam e controlam esse sistema.

Provida de um conjunto de equipamentos elétricos, as SEs funcionam como uma parte vital no sistema de distribuição, controlando o fluxo de potência e adequando os níveis de tensões e correntes de acordo com as necessidades, garantindo que cada unidade receba energia de acordo com os parâmetros elétricos preestabelecidos no módulo 8 do PRODIST (Procedimentos de Distribuição). Para tanto, é imprescindível um plano de manutenção para garantir a confiabilidade do sistema, fornecimento de energia com segurança, mitigando os problemas de faltas e operando com as melhores práticas de engenharia. Para isso, um plano de manutenção das SEs deve ser executado com periodicidade a ser definida por meio de indicadores.

As subestações transformadoras são complexas e contêm riscos existentes, sendo indispensáveis suas manutenções periódicas, garantindo a segurança e a confiabilidade do sistema. Entretanto, as boas práticas de manutenções preventivas têm sido continuamente atualizadas, com projetos cada vez mais complexos, acarretando na exigência de profissionais com nível técnico cada vez mais avançado (Belleza, 2021).

Este trabalho propõe discorrer sobre a importância das intervenções para as manutenções preventivas e preditivas das subestações abrigadas de média tensão, as melhores práticas de engenharia, a segurança e a confiabilidade do sistema desde o desligamento programado até a reenergização das subestações.

1.1 Definição do Problema

A manutenção preventiva das subestações de Média Tensão (MT) tornou-se um desafio para as indústrias, aeroportos, hospitais e condomínios, devido à complexidade de uma parada programada para tal manutenção.

No Brasil, os clientes das concessionárias que são atendidos em tensões até 36,2 kV podem ter suas subestações abrigadas, blindadas, aéreas, ou ao tempo, dependendo da carga instalada e dos critérios estabelecidos por cada concessionária, além de atender às normas vigentes na concepção do projeto. A concessionária CEMIG, por exemplo, através da Norma Técnica de Distribuição ND – 5.3, estabelece padrões da entrada de serviço de energia elétrica das unidades consumidoras individuais, com carga instalada superior a 75 kW, atendidas por rede aérea ou subterrânea, com tensões padronizadas de 13,8 kV, 22 kV e 34,5 kV.

Uma parte desses clientes exerce atividades em tempo integral, ou seja, 24 horas por dia, e uma falta indesejada pode acarretar uma série de prejuízos, tanto materiais como econômicos. Em razão disto, destaca-se o estudo sobre a manutenção programada periódica das SEs, com a implementação de técnicas e de produtos inovadores, garantindo assim a confiabilidade e a disponibilidade do fornecimento de energia elétrica.

A energia elétrica é essencial em todos os setores da economia, gerando produção e renda. Para tanto, é necessário que se tenha confiabilidade, e uma das vertentes da confiabilidade no setor é a manutenção. Nesse contexto, quais as boas práticas e principais normas e procedimentos envolvidos na manutenção de subestações de média tensão?

1.2 Justificativa

A relevância do tema e a experiência vivida no setor de manutenção de subestações inspiraram a escolha do tema. Os desafios enfrentados no dia a dia, as paradas programadas e não programadas em áreas sensíveis como aeroportos e hospitais, induzem a redigir sobre o tema, apresentando um plano de manutenção bem elaborado, acrescentado das boas práticas de engenharia, determinando uma manutenção preventiva de excelência e com segurança para os profissionais.

O valor da falta de energia por segmento econômico também justifica a investigação por um plano de manutenção adequado. Segundo ODATA, uma pesquisa realizada nos Estados Unidos pelo Ponemon Institute verificou que um downtime de 1 minuto em um Data Center gera um prejuízo médio de cerca de U\$7.900,00. Na indústria, o prejuízo envolve perda de insumos, horas paradas, horas extras dos colaboradores, custos de vendas não realizadas, logística e entregas comprometidas.

A Tabela 1, divulgada pela Fecomércio SP mostra dados dos impactos do apagão sobre o faturamento do comércio e serviços na cidade de São Paulo, apagão este que ocorreu de 11/10/2024 a 15/10/2024:

Tabela 1 - Impactos do apagão sobre faturamento de comércio e serviços na cidade de São Paulo

Prejuízos causados pelo apagão em São Paulo, em faturamento bruto (diárias)		
Fonte: FecomercioSP		
DIA	SERVIÇOS	VAREJO
Sexta-feira (11)	R\$ 188 milhões	R\$ 89,9 milhões
Sábado (12)	R\$ 442,4 milhões	R\$ 211,5 milhões
Domingo (13)	R\$ 336,2 milhões	R\$ 160,8 milhões
Segunda-feira (14)	R\$ 154,8 milhões	R\$ 74 milhões
Terça-feira (15)	R\$ 110,6 milhões	R\$ 52,9 milhões
TOTAL (CINCO DIAS)	R\$ 1.232 bilhão	R\$ 589 milhões

Fonte: Fecomércio SP, 2024.

A depender do tempo de falta, setores como aviação civil e hospitalares podem sofrer graves consequências, como atrasos e cancelamentos de voos, e no setor hospitalar as consequências podem ser ainda piores, sendo refém das baterias dos EMH (Equipamentos Médico Hospitalares). Para contornar essas situações, esses setores sensíveis contam com alimentação de energia por geradores quando na falta, porém, os geradores também necessitam de manutenção preventiva e precisam deter combustível suficiente para cobrir o tempo de falta.

Sob este prisma, é imprescindível a elaboração de um plano de manutenção (PM) das SE de média tensão. O PM aumenta a confiabilidade do sistema e mitiga possíveis falhas advindas da periodicidade entre uma manutenção e outra, promovendo segurança energética para os diferentes setores da economia.

1.3 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é apresentar as boas práticas de engenharia nas manutenções preventivas em subestações de média tensão, descrevendo os componentes de uma subestação transformadora, destacando suas importâncias e propondo um plano de manutenção compatível com as necessidades dessas instalações.

1.4 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- a) destacar os componentes de uma subestação abrigada e suas funcionalidades;
- b) destacar a importância de um plano de manutenção periódico;
- c) mostrar indicadores de manutenção para definição da periodicidade de manutenção preventiva.
- d) dissertar sobre as melhores práticas de engenharia de uma manutenção preventiva programada;
- e) expor novos conceitos, normas e tecnologias empregadas nas manutenções preventivas;
- f) apresentar a segurança do trabalho nas manutenções preventivas.

1.5 Estrutura do trabalho

A sequência de apresentação do presente trabalho foi estruturada para facilitar a compreensão do leitor. O trabalho foi ordenado em 5 capítulos.

O primeiro capítulo expõe a introdução, abrangendo as linhas gerais do trabalho, a justificativa, a definição do problema, o objetivo geral e os específicos e a presente estrutura do trabalho.

O segundo capítulo apresenta a revisão da literatura, contendo as subdivisões que embasam teoricamente o trabalho.

O terceiro capítulo aborda os principais indicadores chaves utilizados para definir a periodicidade entre manutenções e gestão de pessoas, auxiliando de forma direta na construção do plano de manutenção.

O quarto capítulo contém o plano de manutenção preventiva periódica de uma subestação abrigada até 36,2 kV, apresentando passo á passo os procedimentos, desde o desligamento até a reenergização, os fundamentos e conceitos de manutenção prescritiva, baseada no monitoramento em tempo real com sistemas supervisórios para controle da manutenção.

O quinto capítulo finaliza o trabalho, com a explanação dos comentários finais.

2 REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo são apresentados os fundamentos técnicos e teóricos para a compreensão do trabalho.

2.1 Normas

Segundo a ABNT:

“As normas:

- a) tornam o desenvolvimento, a fabricação e o fornecimento de produtos e serviços mais eficientes, mais seguros e mais limpos;
- b) facilitam o comércio entre países tornando-o mais justo;
- c) fornecem aos governos uma base técnica para saúde, segurança e legislação ambiental, e avaliação da conformidade;
- d) compartilham os avanços tecnológicos e a boa prática de gestão;
- e) disseminam a inovação;
- f) protegem os consumidores e usuários em geral, de produtos e serviços; e tornam a vida mais simples provendo soluções para problemas comuns.

As normas asseguram as características desejáveis de produtos e serviços, como qualidade, segurança, confiabilidade, eficiência, intercambialidade, bem como respeito ambiental – e tudo isto a um custo econômico. Quando os produtos e serviços atendem às nossas expectativas, tendemos a tomar isso como certo e a não ter consciência do papel das normas. Rapidamente, nos preocupamos quando produtos se mostram de má qualidade, não se encaixam, são incompatíveis com equipamentos que já temos, não são confiáveis ou são perigosos. Quando os produtos, sistemas, máquinas e dispositivos trabalham bem e com segurança, quase sempre é porque eles atendem às normas.

As normas têm uma enorme e positiva contribuição para a maioria dos aspectos de nossas vidas. Quando elas estão ausentes, logo notamos” (ABNT, 2025).

As normas são de suma importância para a elaboração do trabalho, pois nelas que encontramos os procedimentos e parâmetros necessários para o tema. Os ensaios são embasados em normas brasileiras, europeias e americanas, cujas referências estão indicadas, assim como as normas regulamentadoras brasileiras relacionadas à segurança do trabalho. Todas as normas necessárias e referenciadas no trabalho encontram-se na seção de referências.

2.2 Manutenção Industrial

Na Figura 1, podemos ver um exemplo de uma subestação abrigada, na qual aparecem da esquerda para a direita, o cubículo de medição, o cubículo de proteção com o disjuntor de média tensão e uma chave seccionadora, e por fim o cubículo de transformação com uma chave seccionadora e um transformador a óleo:

Figura 1 – Subestação Abrigada



Fonte: OMS ENGENHARIA® (2023).

De acordo com Gurski (2002, p.7), a manutenção industrial tem a missão de “garantir a disponibilidade da função dos equipamentos e instalações de modo a atender a um processo de produção e a preservação do meio ambiente, com confiabilidade, segurança e custos adequados”. Segundo Viana, “podemos não perceber, mas a manutenção, palavra derivada do latim *manus tenere*, que significa manter o que se tem, está presente na história humana há eras, desde o momento em que começamos a manusear instrumentos de produção” (Viana, 2002, p. 1).

Com o rápido avanço da tecnologia e com um mercado cada vez mais competitivo, a disponibilidade dos equipamentos tornou-se um fator crucial nesta corrida, fazendo com que cada vez mais as manutenções periódicas sejam

importantes, e tornando-se uma extrema segurança para evitar paradas não programadas, e, conseqüentemente, prejuízos. De acordo com a NBR 5462:1994, são destacados 3 tipos de manutenções principais: manutenção preventiva, manutenção preditiva e manutenção corretiva, que são as manutenções clássicas trazidas na literatura. Na atualidade, destaca-se mais um tipo de manutenção: a manutenção prescritiva.

2.2.1 Plano de manutenção (PM)

Conforme a NBR ISO 14224:2024: “o plano de manutenção é o conjunto de tarefas estruturadas e documentadas que incluem atividades, procedimentos, recursos e a escala de tempo requerido para executar a manutenção” (ABNT, 2024, p.13). Para Mobley (2008, p.2.100), o PM é criado e armazenado em um sistema de gerenciamento de manutenção computadorizado. O PM será vinculado com registros de um ou mais ativos para os quais foi concebido. Cada relação entre o PM e o registro dos ativos terá uma frequência de execução que tornam o PM em uma ordem de serviço. O sistema de gerenciamento de manutenção computadorizado identifica a frequência de manutenção e gera de maneira automática uma ordem de serviço a partir do PM.

Ainda conforme Mobley (2008, p.87-125), o PM deve contemplar:

- a) Lista de ativos: identificação dos componentes da subestação conforme sua importância para a operação;
- b) Procedimentos de manutenção: instruções de trabalho detalhadas, especificando os métodos, equipamentos e sequências de ensaios;
- c) Frequência: deve estabelecer periodicidades de manutenção baseada em tempo, uso ou condições operacionais dos componentes;
- d) Recursos necessários: detalhamento dos materiais, equipamentos e mão de obra especializada;

- e) Normas e procedimentos de segurança: deve contemplar os procedimentos de segurança, assegurando a análise preliminar de risco e a permissão para o trabalho;
- f) Registros: necessário manter o histórico completo das intervenções realizadas;
- g) Indicadores chaves de desempenho (KPI's): utilizar as métricas para definição de indicadores chaves de desempenho para avaliação dos resultados.

2.2.2 Ordem de serviço (OS)

Viana (2002, p.38) trata a OS como ordem de manutenção (OM), dizendo que “a OM consiste na autorização de trabalho de manutenção a ser executado, ela é a base da ‘ação’ do homem da manutenção, pois exterioriza o ‘trabalho’, organizando-o e registrando-o”. A OS pode ser gerada de três maneiras distintas: manual, automática ou via solicitação de serviço, e deve ser preenchida de acordo com o PM, como citado em 2.2.1.

A OS passará por várias fases, desde a sua geração até o seu encerramento. Essas fases são definidas por estados como:

- a) “Não iniciada: é o primeiro estado da ordem; quando da sua abertura a mesma ficará aguardando uma data para execução. Neste estado a OM não tem apontado nenhum histórico, homem-hora ou material;
- b) Programada: no momento em que uma ordem é programada, ou seja, é definida uma data para sua execução, ela passa para este estado, podendo receber apontamentos;
- c) Iniciada: é a ordem que já foi programada pelo menos uma vez, e que tenha recebido algum tipo de apontamento, mas que ainda possua alguma pendência para sua execução;
- d) Suspensa: quando a OM requerer alguma ação externa, para a sua execução, podemos suspendê-la até tal ação ser tomada;
- e) Encerrada: se a execução do trabalho for completada com sucesso, encerramos a OM sem nenhuma pendência, e com todos os seus apontamentos.

O formato básico da OM deverá ser composto de cabeçalho, descrição das tarefas e Histórico. O cabeçalho trará informações cadastrais como: Nº da OM, TAG, Equipamento, Centro de Custo, Tipo de Manutenção, Equipe Responsável e Data da Manutenção.

Atualmente o papel da OM na organização das empresas industriais se reveste, cada vez mais, de importância estratégica, devido ao fato que com a

maior utilização de softwares ERP, ser ela a base de informação, não só para a manutenção, como também para as áreas de custos, suprimentos, estoques, produção, etc” (Viana, 2002, p.38-39).

O Anexo E apresenta um modelo para ordem de manutenção, com as informações mínimas que devem ser preenchidas no documento, seja de forma manual ou eletrônica.

2.2.3 Manutenção Preventiva

Segundo a NBR 5462:1994: “manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item” (ABNT, 1994, p. 7). A manutenção preventiva é realizada com todos os componentes em estado operativo, ou seja, em estado de zero defeito (Viana, 2002, p.10). As manutenções podem ser sistemáticas ou condicionais. A sistemática consiste em uma manutenção que segue um plano de manutenção previamente estabelecido com suas periodicidades respeitadas. Já a condicional não tem periodicidade preestabelecida e é realizada de acordo com o desempenho de algum componente do sistema (Branco Filho, 2008, p.10).

2.2.4 Manutenção Preditiva

De acordo com a NBR 5462:1994:

“Manutenção que permite garantir uma qualidade do serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva” (ABNT, 1994, p. 7).

A manutenção preditiva nada mais é do que o controle estatístico dos componentes, por monitoramento ou por medições, e traduzem o quão próximo está a falha. O objetivo principal da manutenção preditiva é programar a periodicidade de intervenção para avaliar a utilização dos componentes até o fim da sua vida útil (Viana, 2002, p.12). Segundo Branco Filho (2008, p. 8), as consequências das ações preditivas são 3: ou não se realiza manutenção

preventiva nem corretiva, pois o sistema está em total condição operativa; ou realiza-se manutenção preventiva, antes de uma falha, ou realiza-se uma manutenção corretiva em decorrência de um estado de pane.

2.2.5 Manutenção Corretiva

De acordo com a NBR 5462:1994: “manutenção efetuada após a ocorrência de uma pane destinada a recolocar um item em condições de executar uma função requerida” (ABNT, 1994, p. 7).

A manutenção corretiva acontece de forma aleatória, em tempo inesperado e causa prejuízos às organizações.

Segundo Branco Filho:

“Manutenção Corretiva – Todo o trabalho de manutenção realizado em máquinas que estejam em falha, para reparar a falha.

O reparo de uma falha pode ser feito logo que acontece ou ser feito em data posterior. Se feito em data posterior, ela poderá ser programada e planejada para uma data posterior a falha.

Aquela manutenção que não puder ser adiada para data posterior, ou programada, deve ser considerada manutenção corretiva de emergência (aconteceu agora e preciso fazer agora)” (Branco Filho, 2008, p.6).

A manutenção corretiva é o pior que pode acontecer para alguns setores de produção e de serviços, devido a interrupção do fornecimento de energia e conseqüentemente, a parada inesperada de produção ou prestação de serviços, causando transtornos e gastos elevados de forma emergencial.

2.2.6 Manutenção Prescritiva

Segundo Rosano Daniel Nunes: “A manutenção prescritiva é uma evolução da preditiva. Em um futuro próximo, a automação e a internet das coisas (bases da Indústria 4.0) serão mais comuns nas linhas produtivas, uma vez que seus custos de instalação serão mais baixos e viáveis a todos” (FIERGS, 2020).

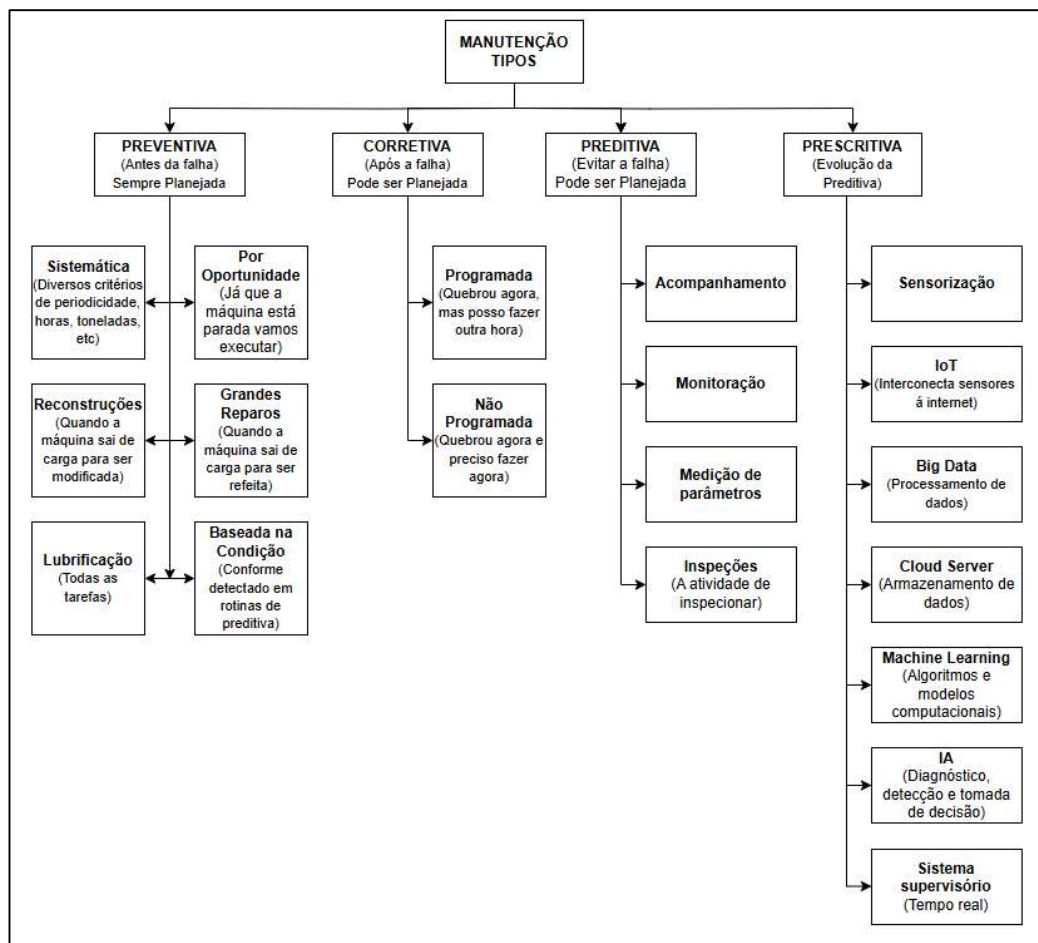
Com a tecnologia na comunicação e com o surgimento de novas tecnologias sensoriais, pode-se dizer que é uma revolução na forma de se obter dados, sendo necessários softwares inteligentes que interpretam esses dados e transformam em resultados, avaliando como se comporta tal sistema e fazendo a

imprevisibilidade de quebra de máquinas tender á zero, garantindo a máxima disponibilidade e confiabilidade dos ativos.

2.2.7 Organograma das manutenções

Na Figura 2, um organograma dos principais tipos de manutenções é ilustrado.

Figura 2 – Organograma dos tipos de manutenções



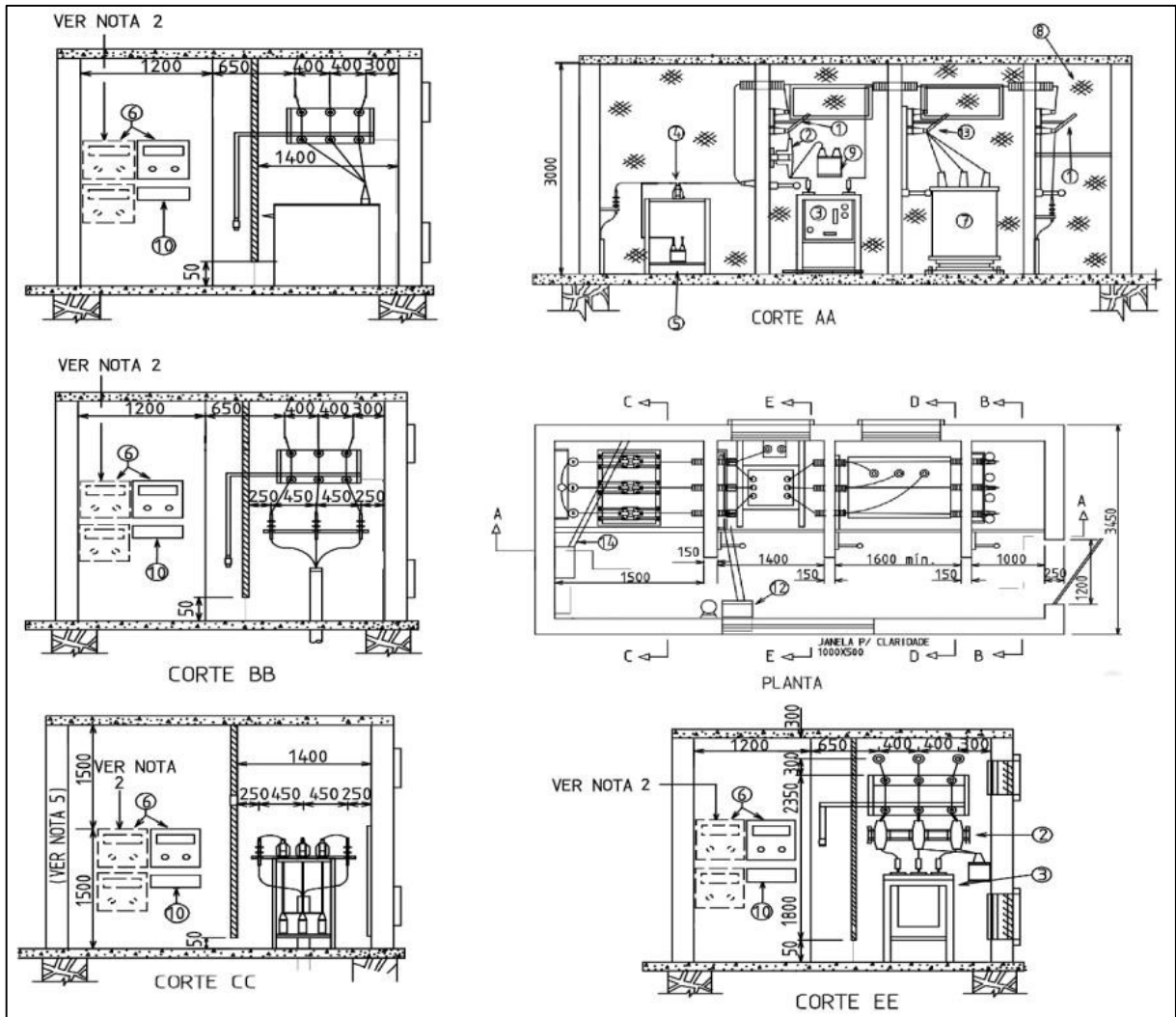
Fonte: Adaptado de Branco Filho (2008, p.10).

2.3 Subestações abrigadas de média tensão até 36,2 kV

As subestações abrigadas de média tensão até 36,2 kV, com potência instalada acima de 300 kVA podem ser de dois tipos: com ramal de entrada subterrâneo ou aéreo. A Figura 3 ilustra um exemplo de uma subestação com ramal

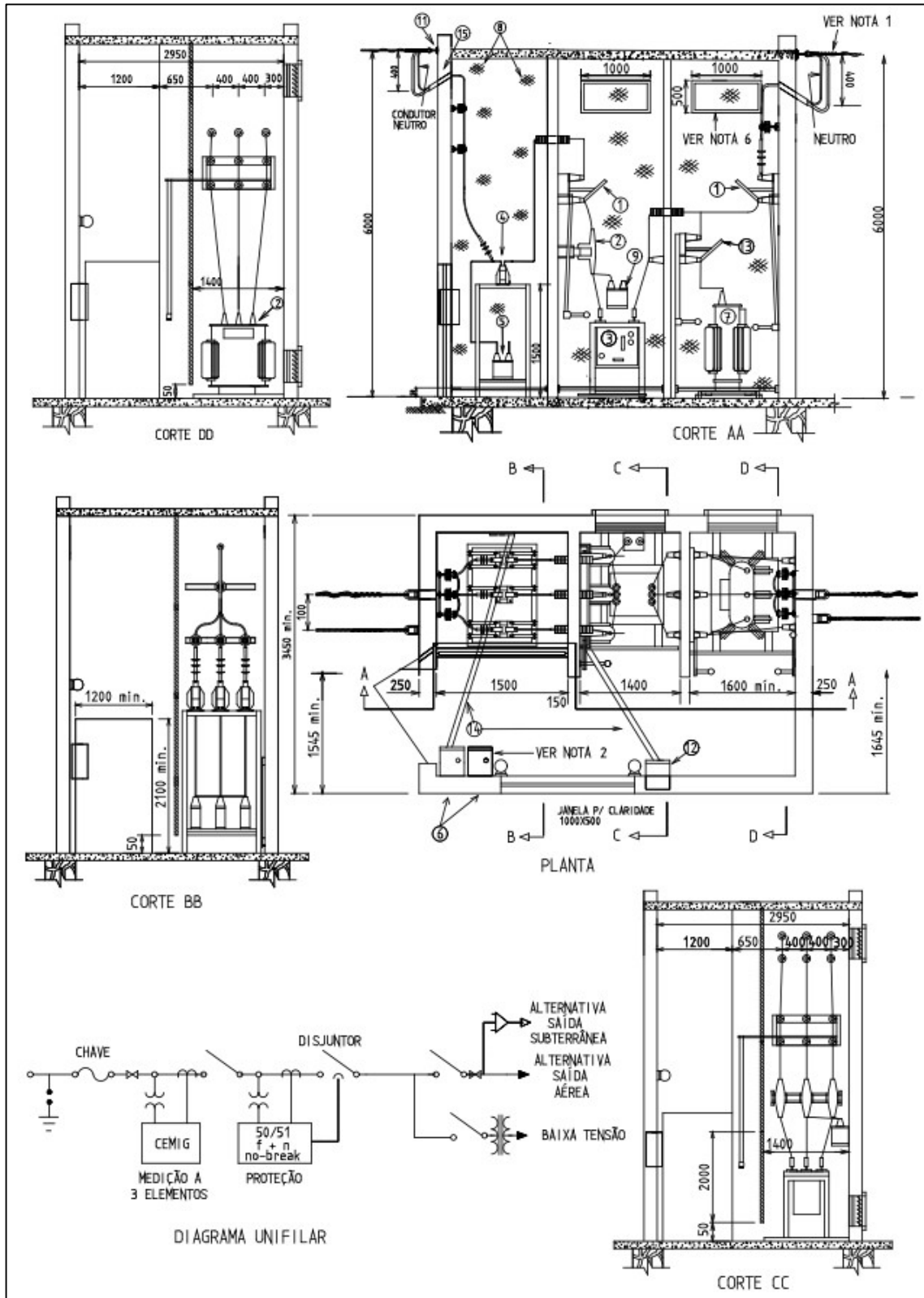
de entrada subterrâneo, enquanto a Figura 4 ilustra uma subestação com ramal de entrada aéreo. A Tabela 2 lista os componentes indicados em ambas as ilustrações.

Figura 3 – Subestação com ramal de entrada subterrâneo acima de 300 kVA



Fonte: Cemig (2023, p.95).

Figura 4 – Subestação com ramal de entrada aérea acima de 300 kVA



Fonte: Cemig (2023, p.94).

Tabela 2 - Legenda dos desenhos das subestações com entrada subterrânea ou aérea

1	Chave seccionadora, com abertura tripolar sob carga, sem fusível, 15 ou 25 ou 35 kV, 200A
2	TC de 15 ou 25 ou 35 kV para proteção (ver Nota 3)
3	Disjuntor
4	TC de 15 ou 25 ou 35 kV para medição (propriedade CEMIG)
5	TP de 15 ou 25 ou 35 kV para medição (propriedade CEMIG)
6	Caixa CM-4
7	Transformador
8	Grade de proteção (DESENHO COMPLEMENTAR 6)
9	TP de 15, 25 ou 35 kV para proteção
10	Plataforma basculante de madeira ou metal, de 500x500mm para suportar peso até 20daN
11	Olhal de ϕ 13mm para ancoragem do ramal de conexão com cabo isolado fixado na laje da subestação com parafuso de máquina de ϕ 16x250mm
12	Caixa para relé de sobrecorrente e/ou relé de proteção direcional
13	Chave fusível de abertura tripolar sob carga, 15 ou 25 ou 35 kV (ver TABELA 16, TABELA 17 e TABELA 18).
14	Eletroduto de aço, diâmetro mínimo de 50mm(2")
15	Eletroduto de PVC rígido, antichama, ϕ 75mm
16	TP para iluminação e tomadas da subestação

Fonte: Cemig (2023, p,96).

2.3.1 Componentes de uma subestação abrigada

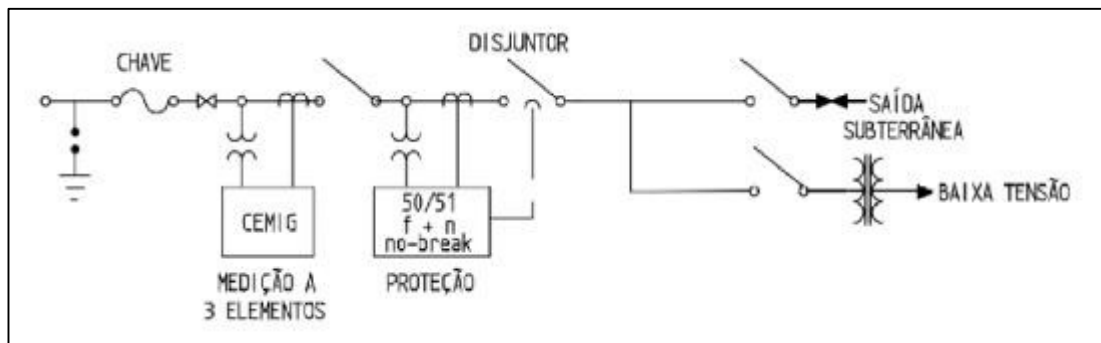
Uma SE abrigada de média tensão é dotada de diversos componentes, cada qual com sua função específica. Nesta subseção são apresentados todos os componentes integrantes de uma SE abrigada de média tensão.

2.3.1.1 Diagrama unifilar

O diagrama unifilar de uma SE de média tensão abrigada ilustra os principais componentes elétricos existentes, como representado na Figura 5. Da esquerda para a direita, tem-se a representação do ramal de conexão da concessionária, e logo passa por para-raios devidamente aterrados, e do mesmo ponto de conexão chega até a chave fusível. Após a chave fusível, o circuito entra na SE através dos cabos de MT, passando pelo primeiro cubículo, no qual faz-se a medição a três elementos com os TCs e TPs de faturamento instalados pela concessionária. Após o primeiro cubículo, os barramentos de MT entram no segundo cubículo, passando por isoladores e são conectados em uma chave seccionadora tripolar. Na saída da chave seccionadora tripolar, os barramentos são conectados nos TCs e TPs de proteção, que alimentam a proteção e cargas auxiliares da subestação, até que chegam no disjuntor de MT. Ao sair do disjuntor de MT, o circuito chega ao

terceiro cubículo e é conectado em uma chave seccionadora tripolar de abertura sob carga com portas fusíveis HH. Por fim, na saída da chave seccionadora tripolar de abertura sob carga com portas fusíveis HH, os barramentos de MT são conectados ao lado primário do transformador, tendo a saída do lado secundário chegando até o QGBT em BT. Ainda no digrama representado na Figura 5, há uma saída subterrânea em MT opcional caso haja outro transformador a ser atendido dentro da mesma edificação.

Figura 5 – Diagrama unifilar de subestação abrigada



Fonte: Cemig (2023, p.94).

2.3.1.2 Ramal de ligação

“É o conjunto constituído pelos condutores, equipamentos e acessórios instalados entre o ponto de derivação da rede da CEMIG e a medição, inclusive” (Cemig, 2023, p.9).

Os ramais de ligação podem ser de duas maneiras: entrada aérea ou entrada subterrânea. A entrada aérea é aquela constituída por condutores nus, suspensos em estruturas até a subestação, podendo ser de cobre ou alumínio. Já a entrada subterrânea é dotada de condutores isolados, que chegam até a subestação instalados em eletrodutos que ficam enterrados no solo.

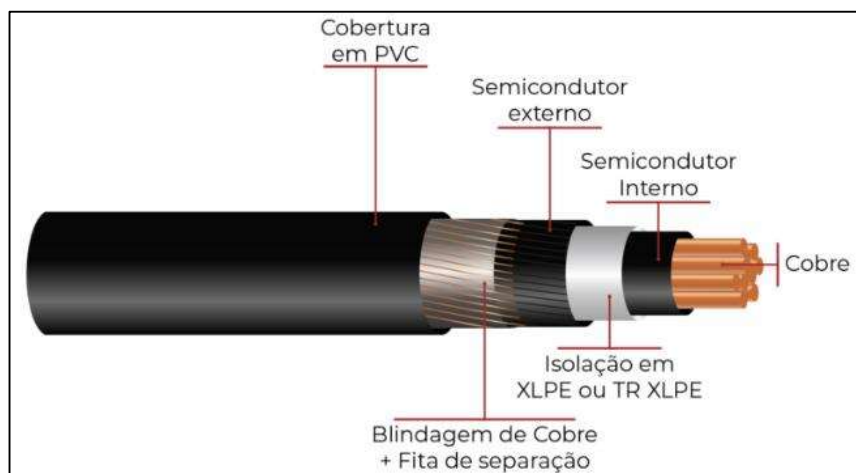
2.3.1.3 Cabo isolado de média tensão

Os cabos de média tensão são usados para a conexão entre a rede da concessionária e o ponto de entrega dentro da subestação, sendo instalado de forma subterrânea.

Diferentemente dos cabos de Baixa Tensão (BT), os cabos de MT são compostos por outras camadas. Como ilustrado na Figura 6, em sua camada mais interna o cabo de MT é constituído pelo condutor central, podendo ser em cobre ou alumínio, sendo envolvido por uma camada semicondutora interna. Após, há a isolamento que envolve a camada semicondutora interna, podendo ser em polietileno (XLPE) ou etileno propileno (EPR). Esta camada é envolvida por outra camada semicondutora externa, que por sua vez é envolvida pela blindagem que está conectada a malha de aterramento. E por fim, temos a camada externa, chamada cobertura, que é feita em em cloreto de polivinila (PVC).

A Figura 6 mostra as camadas de um cabo de média tensão para facilitar o entendimento:

Figura 6 – Cabo isolado de média tensão



Fonte: MESH ENGENHARIA (2025).

2.3.1.4 Muflas

As terminações dos cabos de média tensão são realizadas com um componente conhecido como mufla, para evitar que sua parte energizada fique muito próxima da blindagem que está aterrada, evitando o curto-circuito.

Há 4 formas construtivas de muflas: termocontrátil, retrátil á frio, porcelana e enfaixada. As três primeiras citadas podem ser usadas tanto externamente como internamente, sendo somente a última recomendada para uso estritamente interno.

A Figura 7 mostra um exemplo de uma mufla termocontrátil, que facilmente é vista nos postes das concessionárias.

Figura 7 – Mufla termocontrátil



Fonte: 3M® (2025, p.1).

2.3.1.5 Isoladores de média tensão

Os isoladores fazem parte da conexão entre componentes da subestação. Geralmente são instalados na alvenaria da subestação para isolar e sustentar o barramento de média tensão. Construtivamente podem ser de dois materiais: porcelana ou resina epóxi. A Figura 8 mostra isoladores dos dois tipos de materiais.

Figura 8 – Isoladores de porcelana e de resina epóxi



Fonte: SENNER® (2025).

2.3.1.6 Barramento de média tensão

É um condutor de cobre rígido nu, instalado com identificação por cores padronizadas e interliga internamente os componentes da subestação. A Figura 9 mostra barramentos de média tensão, que são fabricados em 3 bitolas diferentes, 3/8", 1/2" ou 5/8", e a Figura 10 ilustra suas respectivas conexões. Comercialmente os barramentos são conhecidos como vergalhões.

Figura 9 – Barramento de média tensão



Fonte: MÉDIA TENSÃO® (2025).

Figura 10 – Conexões de média tensão



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

2.3.1.7 Chaves seccionadoras

As chaves seccionadoras, como o próprio nome diz, são dispositivos de manobra que são capazes de abrir ou fechar um circuito. Com seus contatos

fechados, são capazes de fornecer a corrente integral que a carga demanda, suportando situações de curto-circuito por um determinado intervalo de tempo.

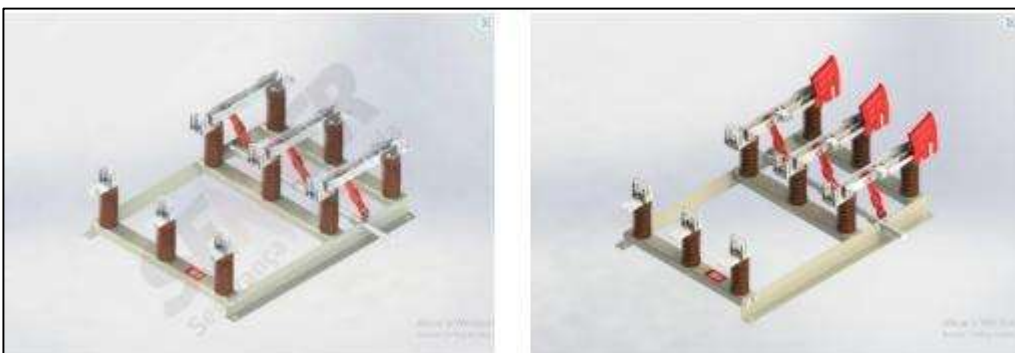
As chaves seccionadoras nas SE de MT são geralmente trifásicas, com abertura e fechamento em um único comando, chamado punho de manobra. Conforme a Figura 5, essas chaves seccionadoras geralmente são instaladas após a medição da concessionária, logo na entrada do segundo cubículo, para seccionar o cubículo de medição do restante da subestação, e na entrada dos cubículos dos transformadores, para seccionamento individual dos circuitos. As chaves seccionadoras ilustradas na Figura 11 são aquelas geralmente instaladas na entrada do segundo cubículo, enquanto as chaves seccionadoras ilustradas na Figura 12 são aquelas instaladas para seccionamento individual dos circuitos.

Figura 11 – Chaves seccionadoras de abertura sem carga (á esquerda) e de abertura com carga (á direita)



Fonte: SENNER® (2025).

Figura 12 – Chaves seccionadoras de abertura sem carga (á esquerda) e de abertura com carga (á direita) com portas fusíveis HH limitadores de corrente



Fonte: SENNER® (2025).

2.3.1.8 Fusíveis

De acordo com a CEMIG:

“A chave fusível é um dispositivo com estrutura projetada para a conexão de um cartucho contendo um elo fusível entre seus terminais. O conjunto chave e elo fusível formam um dispositivo de proteção instalado por fase em sistemas de distribuição com a finalidade de interrupção do circuito em condições de sobrecorrente” (Cemig, 2017, p.17).

As chaves fusíveis são instaladas por fase pelas concessionárias nos ramais primários de distribuição, fixadas na cruzeta poste com função de seccionamento e da proteção do circuito em condições de curto-circuito, além de sobrecorrente.

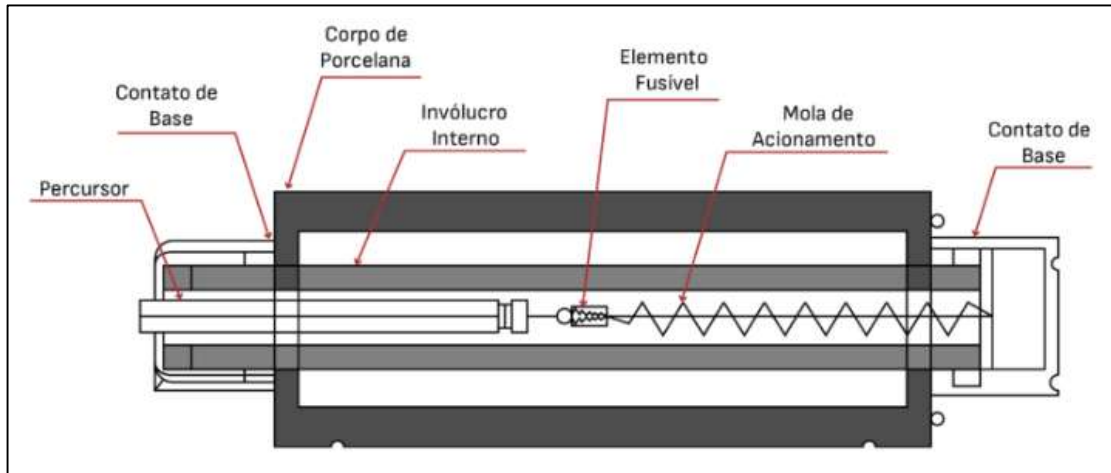
Por outro lado, dentro da subestação são instaladas as chaves seccionadoras com porta fusíveis HH limitadores de corrente, como ilustradas na Figura 12. Essas chaves são dotadas de dispositivo de abertura automática em caso de queima de um fusível para proteção de cargas trifásicas, evitando assim a queima de cargas por falta de fase. As chaves são tripolares e tem os seus contatos abertos ou fechados ao mesmo tempo por um comando único no punho de manobra. Geralmente são instaladas no cubículo onde encontra-se o transformador de potência, a montante dele. A Figura 13 mostra os elementos externos de um fusível tipo HH, com o pino percursor instalado obrigatoriamente voltado para o dispositivo de abertura. Já a Figura 14 ilustra os elementos internos de um fusível do tipo HH.

Figura 13 – Fusível tipo HH



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

Figura 14 – Detalhes internos do fusível tipo HH



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

2.3.1.9 Para-raios

Segundo Barros e Gedra:

“Os para-raios são destinados a proteger os equipamentos de um circuito contra surto de tensão transitório de origem externa provocado por descargas elétricas atmosféricas e/ou anomalias de origem interna (como manobras ou chaveamentos). Esses eventos provocam sobretensão nas instalações, podendo ocasionar a queima de equipamentos” (Barros e Gedra, 2009, p.57).

Os para-raios tipo haste reta são instalados na subestação para proteger a edificação civil contra descargas atmosféricas, e podem ser de dois tipos: Franklin ou gaiola de Faraday. Já os para-raios tipo válvula são instalados na subestação com o intuito de proteger os equipamentos elétricos do circuito. São instalados um para-raios por fase, sendo que a fase é conectada em seu lado superior enquanto o lado inferior é conectado ao aterramento (Barros e Gedra, 2009, p.58). A Figura 15 ilustra um para-raios tipo válvula.

Figura 15 – Para-raios tipo válvula



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

2.3.1.10 *Disjuntor de média tensão*

De acordo com Mamede Filho:

“Os disjuntores são equipamentos destinados à interrupção e ao restabelecimento das correntes elétricas num determinado ponto do circuito.

Os disjuntores sempre devem ser instalados acompanhados da aplicação dos relés respectivos, que são os elementos responsáveis pela detecção das correntes, tensões, potência, etc. do circuito que, após analisadas por sensores previamente ajustados, podem enviar ou não a ordem de comando para a sua abertura. Um disjuntor instalado sem os relés correspondentes transforma-se apenas numa excelente chave de manobra, sem qualquer característica de proteção.

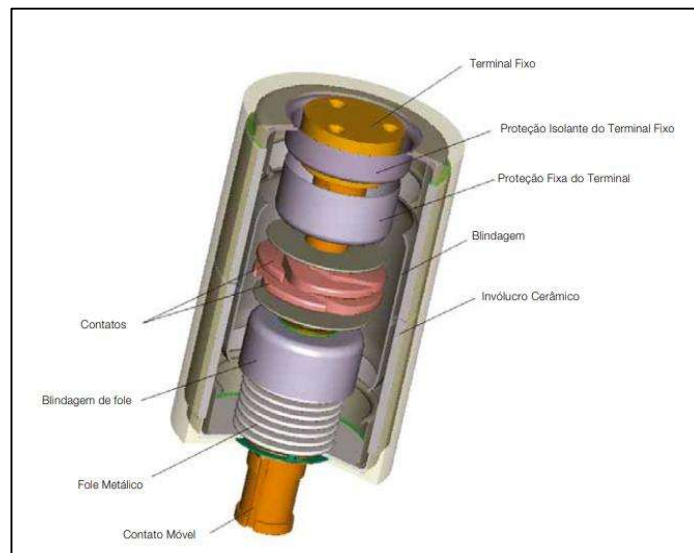
A função principal de um disjuntor é interromper as correntes de defeito de um determinado circuito durante o menor espaço de tempo possível. Porém, os disjuntores são também solicitados a interromper correntes de circuitos operando a plena carga e a vazio, e a energizar os mesmos circuitos em condições de operação normal ou em falta.

O disjuntor é um equipamento cujo funcionamento apresenta aspectos bastante singulares. Opera, continuamente, sob tensão e corrente de carga muitas vezes em ambientes muito severos no que diz respeito à temperatura, à umidade, à poeira, etc. Em geral, após longo tempo nessas condições, às vezes até anos, é solicitado a operar por conta de um defeito no sistema. Nesse instante, todo o seu mecanismo, inerte até então, deve operar com todas as suas funções, realizando tarefas tecnicamente difíceis, em questão de décimos de segundo” (Mamede Filho, 2013, p.580).

Sob esta perspectiva, temos que os disjuntores de média tensão são dispositivos de proteção, interrompendo o circuito de alimentação da subestação á jusante do segundo cubículo caso alguma anomalia seja detectada pelos relés de proteção, além de promover o desligamento seguro da subestação para manutenções, devido a sua característica de extinção de arco elétrico. A Figura 16 ilustra um disjuntor de MT de fabricação da WEG®, com a legenda de seus respectivos componentes, e na Figura 17 tem-se a ilustração dos componentes internos de um disjuntor de MT á vácuo.

Figura 16 – Disjuntor de média tensão á vácuo

Fonte: WEG® (2025).

Figura 17 – Detalhes internos da câmara de contatos e de extinção de arco

Fonte: WEG® (2025).

2.3.1.11 Relé de proteção e painel de comando à distancia

O relé de proteção apresentado na Figura 18 é de fabricação da PEXTRON®, modelo URP1439TU, e possui a seguinte descrição:

“O URP1439TU é um relé de proteção microprocessado com 4 entradas de medição de corrente trifásico independentes (A-B-C-N) e 3 tensões trifásicas conectada em delta – Δ (A-B-C). Possui fonte capacitiva incorporada e verificação de continuidade para a bobina de abertura do disjuntor (BA). Aplica-se na proteção de sobrecorrente em linhas de transmissão, distribuição, cabines primárias, distribuição industrial, alimentadores, transformadores, motores, barramentos e geradores. Proteção de sistemas contra subtensão, sobretensão, subfrequência e religamento. (Pextron, 2025, p.12).

Ainda segundo o fabricante, o relé possui as seguintes funções:

- a) “27: subtensão;
- b) 27-0: subtensão para supervisão da alimentação auxiliar;
- c) 47: sequência de fase de tensão;
- d) 50: sobrecorrente instantâneo de fase;
- e) 50N: Sobrecorrente instantâneo de neutro;
- f) 51: sobrecorrente temporizado de fase;
- g) 51N-GS: sobrecorrente temporizado de neutro ou sensor de terra (GS);
- h) 59: sobretensão;
- i) 79V-79F: religamento por tensão e frequência;
- j) 81U: subfrequência;
- k) 86: bloqueio” (Pextron, 2025, p.12).

Os relés de proteção exercem um papel fundamental em uma SE de MT, sendo a proteção principal do sistema com relação aos parâmetros de rede, sendo parametrizados conforme projeto aprovado pela concessionária local.

O relé de proteção pode ser instalado no painel de comando à distância ao tempo ou abrigados, e com alimentação auxiliar alternada ou contínua (Pextron, 2025, p.13). Também é equipado com um botão de retardo de tempo para desligamento do disjuntor de MT, não havendo mais a necessidade de ser instalado no painel de comando à distância como em SE mais antigas. Esse botão assegura a segurança do operador caso haja a explosão do disjuntor de MT, um evento que gera arco elétrico, conhecido como *Arc Flash*, e que provoca calor e pressão extremos, podendo resultar em ferimentos graves ou até ser fatal.

Figura 18 – Relé de proteção



Fonte: PEXTRON® (2025).

2.3.1.12 Transformadores para instrumentos

Os transformadores para instrumentos são componentes empregados nas SE de MT para medição e proteção. Os TCs E TPs empregados para proteção atuam de forma integrada com os relés de proteção e com o disjuntor de MT, com a função de monitorar permanentemente as informações de tensão e corrente do sistema elétrico (Barros e Gedra, 2009, p.96). Já os TCs e TPs empregados para a medição, segundo Barros e Gedra:

“Também existem TPs e TCs específicos para serem empregados na medição de energia elétrica. Uma das principais diferenças dos transformadores de proteção para os transformadores de medição é que os de proteção precisam suportar os elevados valores de tensão e corrente que ocorrem nas anomalias e enviar essas informações para os relés.

Nos transformadores de medição, quando ocorre um valor elevado, seja de tensão ou de corrente, ele satura, porque o medidor de energia não precisa registrar o que ocorre durante uma anomalia em um curto intervalo de tempo. Se não ocorrer essa saturação, o medidor ligado da saída do transformador pode inclusive queimar, pois ele é muito mais sensível do que o relé” (Barros e Gedra, 2009, p.96).

2.3.1.12.1 Transformadores de potencial

De acordo com Barros e Gedra: “O transformador de potencial (TP) reduz o valor de tensão para valores mais baixos de tal forma que seja possível a conexão ao relé” (Barros e Gedra, 2009, p.96). A Figura 19 apresenta um modelo de transformador de potencial tipicamente instalado nas SE de MT.

Figura 19 – Transformador de potencial

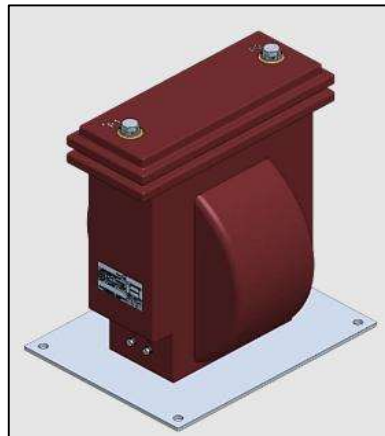


Fonte: TAMURA® (2025).

2.3.1.12.2 Transformadores de corrente

Segundo Barros e Gedra: “O Transformador de Corrente (TC) reduz os valores de corrente que percorrem os circuitos de alta tensão para valores mais reduzidos. Como os relés não poderiam ser conectados em alta tensão, o TC promove a isolação elétrica entre o circuito de alta tensão e o relé” (Barros e Gedra, 2009, p.96). A Figura 20 mostra um modelo de transformador de corrente aplicado nas SE de MT.

Figura 20– Transformador de corrente



Fonte: TAMURA® (2025).

2.3.1.13 *Transformadores de potência*

Os transformadores de potência são equipamentos que operam por meio de indução eletromagnética, recebendo tensão elétrica elevada em um de seus enrolamentos, chamado enrolamento primário, e transferem a energia ao seu outro enrolamento, chamado secundário, mantendo a frequência, porém, com tensões mais baixas e correntes mais elevadas (Mamede Filho, 2013, p.663).

A NBR 5410:2004 estabelece que, para a segurança de pessoas e animais, o nível de tensão para aparelhos elétricos seja igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada com frequência até 400 Hz, ou a 1500 V em corrente contínua (ABNT, 2004, p.01). Ou seja, o transformador de potência exerce um papel fundamental nessa cadeia de componentes de uma SE de MT, sendo o principal componente das SE, adequando os níveis de tensão para níveis seguros para os usuários finais.

Segundo Barros e Gedra, existem dois tipos de transformadores aplicáveis a SE de MT: a óleo e a seco. “No transformador a óleo esse líquido possui a função de isolá-lo e refrigerá-lo. No caso do transformador a seco suas bobinas são revestidas de uma resina epóxi que possui a função de isolamento e a refrigeração é feita por meio do ar que circula por essas bobinas” (Barros e Gedra, 2009, p.75).

2.3.1.13.1 *Transformadores a óleo*

Os transformadores a óleo são empregados nos sistemas de distribuição, força e nas indústrias em geral. De acordo com Mamede Filho: “Existem três tipos de líquidos isolantes que são usados em transformadores: óleo mineral, silicone e ascarel. A utilização do ascarel em território nacional está proibida por lei há muitos anos” (Mamede Filho, 2013, p.692). O ascarel foi proibido em 1981, devido a efeitos danosos a seres humanos e ao meio ambiente. Atualmente, com o avanço da tecnologia, existem também transformadores a óleo vegetal, que tem sua pintura externa na cor verde para distinção dos demais. Abaixo, na Figura 21 tem-se a representação de um transformador a óleo mineral.

Figura 21 – Transformador a óleo

Fonte: WEG® (2025).

2.3.1.13.2 Transformadores a seco

Os transformadores a seco são de custo mais elevado em comparação a transformadores a óleo, porém, sua aplicabilidade também é outra, sendo mais utilizado especificamente em instalações com perigo iminente de incêndio, como refinarias de petróleo, indústrias petroquímicas, grandes centros comerciais, em que normativas proíbem o uso de transformadores a óleo, além de outras instalações que requerem um nível de segurança mais elevada contra explosões de inflamáveis (Mamede Filho, 2013, p.693). A Figura 22 ilustra um transformador a seco.

Figura 22 – Transformador a seco

Fonte: WEG® (2025).

2.3.1.14 Relé térmico para transformadores a seco

O relé térmico apresentado na Figura 23 é de fabricação da THERMTRONIC®, modelo TH104 IoT, que o fabricante afirma:

“O TH104 IoT mede a temperatura de todas as sondas que estiverem habilitadas e mostra na tela. Se estiver no modo SCAN, mostra todas as temperaturas, e se estiver no modo HOT, mostra somente a temperatura mais elevada. A função MAN permite visualizar manualmente a temperatura de cada sonda, e a função TMAX permite visualizar as temperaturas mais elevadas registradas para cada sonda.

Um dos parâmetros mais importantes programadas são as temperaturas de ALARME (Alerta de temperatura elevada) e TRIP (temperatura limite do transformador). Quando alguma sonda superar a temperatura de ALARME, aparece mensagem na tela e em seguida o relé é atuado. O relé de alarme é geralmente usado para ligar algum alerta ou sirene, indicando ao operador que a temperatura está muito elevada. Se a temperatura continuar subindo e alcançar o valor programado em TRIP, aparece mensagem na tela e em seguida o relé de TRIP é ativado. Este relé geralmente é conectado a um relé maior que efetua o desligamento do transformador para protegê-lo de danos/queima.

A mensagem de FALHA (FAULT) será ativada no caso de detecção de dano (curto/circ. aberto) em alguma sonda. A operação continua normal com as demais sondas que funcionam.

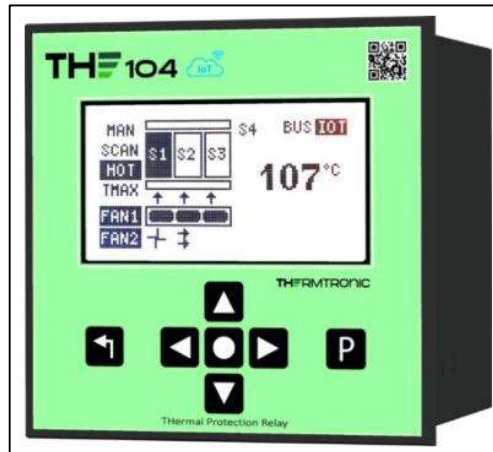
Analogamente para os relés Fan1 e Fan2, ao a temperatura superar o valor Fan-ON o relé será ligado, e quando menor que Fan-OFF será desligado. Fan1 geralmente é instalado junto ao transformador, e Fan2 geralmente como exaustor de calor da cabine. Quando ligados, será uma animação na tela gráfica.

O TH104 filtra digitalmente ruídos na medição das sondas PT100, para evitar a atuação errônea dos relés. Desta maneira é aplicado um filtro de 5 segundos para visualizar erros na tela e 15 segundos para a atuação dos relés de saída.

Todas as atuações apresentam representações e animações na tela do controlador” (THERMTRONIC®, 2025, p.3).

Os relés térmicos exercem uma função vital de conservação e proteção dos transformadores a seco, além de possibilitar o monitoramento remoto da temperatura das bobinas do transformador, proporcionando inclusive a visualização de possível falha em alguma das sondas. É o relé térmico que promove o chaveamento de seus contatos de ventilação, alarme e trip, conforme as temperaturas parametrizadas em memória. Para o chaveamento dos contatos de ventilação, é necessário que seja instalado um quadro com um contator auxiliar a fim de evitar correntes elevadas circulando diretamente em seus contatos.

Figura 23 – Relé de proteção térmica



Fonte: THERMTRONIC® (2025, p.1).

2.3.1.15 Ventilação forçada para transformadores a seco

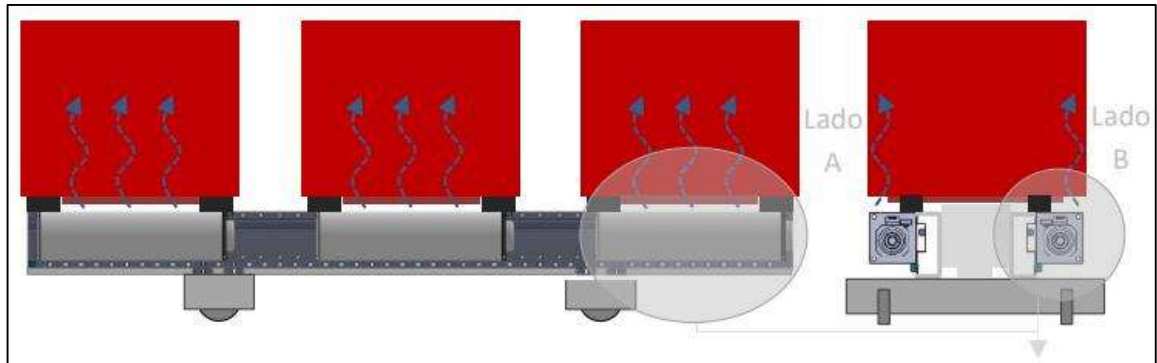
O sistema de ventilação forçada para transformadores a seco tem diversas características positivas, segundo a THERMTRONIC®. Essas características são:

- a) “Aumenta entre 25% a 35% a potência disponível do transformador, dependendo das características construtivas do mesmo, bem como das condições de operação;
- b) Recomendado quando: 1) é necessário contar com uma reserva de potência adicional para situações em que a demanda poderia exceder a potência do transformador; 2) o transformador opera perto da condição de carga máxima (evita ter que substituir o transformador);
- c) Ajuda a prolongar a vida útil transformador devido ao maior resfriamento do mesmo;
- d) Ao contrário de outros sistemas de ventilação (ex.: exaustor de teto para cubículo), obtém melhor desempenho, pois direciona o fluxo de ar precisamente para os canais de ventilação existentes entre as bobinas de alta e baixa tensão “ (THERMTRONIC®, 2025, p.1).

Apesar de fabricantes afirmarem que a ventilação forçada aumenta em até 35% a potência do transformador, é necessário verificar as condições operativas dele. Os enrolamentos, a isolação, os barramentos e todos os componentes construtivos do transformador devem estar preparados para receber a sobrecarga. Sob outra óptica, a ventilação forçada diretamente nas bobinas do transformador auxilia no seu resfriamento, evitando ao extremo a atuação de trip do relé térmico.

A Figura 24 ilustra um sistema de ventilação forçada para transformadores a seco na configuração de 3 ventiladores, que atuam de forma simultânea quando o seu comando é acionado pelo relé térmico.

Figura 24 – Ventilação forçada para transformador a seco



Fonte: THERMTRONIC® (2025, p.1).

2.3.1.16 Ventilação forçada para a subestação

Ilustrado na Figura 25, os exaustores são comumente usados para a renovação de ar ambiente da subestação, retirando constantemente o ar quente do interior da subestação e eliminando partículas e poeira, além de promover ventilação forçada aos componentes da subestação em virtude do deslocamento de ar.

Figura 25 – Exaustor



Fonte: VENTISOL® (2025).

2.3.1.17 QGBT - Quadro Geral de Baixa Tensão

O QGBT de uma subestação, corriqueiramente chamado de painel elétrico, é composto por um conjunto de componentes de proteção, manobra e comando de BT, instalados internamente a um cubículo metálico dotado de estruturas de suporte (Mamede Filho, 2013, p.515). O QGBT de uma SE de MT, ilustrado na Figura 26, geralmente é composto por um disjuntor geral de BT, e derivado dele os disjuntores gerais de cada ala ou bloco do empreendimento, além dos dispositivos de proteção contra descargas atmosféricas. Os dispositivos de comando das ventilações forçadas também podem ser instalados no QGBT.

Figura 26 – QGBT



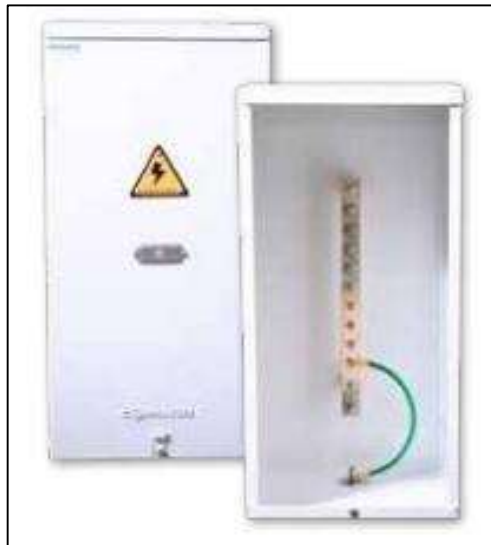
Fonte: MAMEDE FILHO (2013, p.516).

2.3.1.18 Aterramento

De acordo com a CEMIG: “A malha de aterramento da subestação deve ser projetada e executada considerando os critérios da ABNT NBR 15751, da NBR 14039 e da ABNT NBR 5419, com vistas a atender a segurança das instalações e de pessoas” (CEMIG, 2023, p.63). Todas as partes metálicas da subestação, como grades de proteção, portas, janelas, carcaça dos transformadores, para-raios e suportes metálicos, devem ser conectadas ao aterramento por meio de solda exotérmica ou conector apropriado (CEMIG, 2023, p.64).

Toda a malha de aterramento deve ser equipotencializada na subestação, em uma caixa chamada BEP, que, segundo a Celesc: “O barramento de equipotencialização principal (BEP) é destinado a servir de via de interligação de todos os condutores de aterramento destinados a equipotencialização” (Celesc, 2016, p.3). A Figura 27 mostra uma caixa BEP, que deve ser instalada no interior das SE de MT.

Figura 27 – Caixa BEP



Fonte: COMANDO® (2025, p.7).

2.3.1.19 *Armário para armazenamento de EPI (Equipamentos de proteção individual)*

Não existe obrigatoriedade de instalação de armário para armazenamento de EPI na subestação, porém, a NR-06 define as condições de guarda, conservação e higiene dos EPIs. A instalação de um armário para armazenamento de EPIs em uma subestação de MT é vista como uma boa prática, pois protege os equipamentos e garante que sempre estejam em condições de uso dentro do seu prazo de validade. A Figura 28 ilustra um armário para armazenamento de EPIs.

Figura 28 – Armário para armazenamento de EPIs



Fonte: Comercial Fire® (2025, p.36).

2.3.1.20 *Repelente eletrônico para roedores*

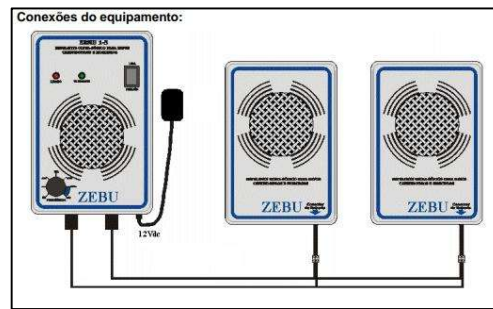
De acordo com o fabricante Zebu®:

“De acordo com o fabricante Zebu®: “equipamento foi desenvolvido para afugentar roedores, através de emissão de ondas sônicas e ultrassônicas que variam de 4 a 35 kHz, deixando os roedores desorientados, impossibilitados de dormir e comunicar-se, obrigando-os a abandonar o local onde moram. É recomendado utilizar frequências próximas à máxima do equipamento, entre 30 e 35 kHz. (Na prática para roedores utilizar frequências acima da audível, a fim de não incomodar ao ouvido humano, acima de 17kHz e para morcegos girar ao máximo o potenciômetro de ajuste. As frequências entre 4 e 17kHz devem ser evitadas na presença de pessoas ou animais domésticos, mas podem ser utilizadas para espantar roedores). No controle de roedores, a eficiência do equipamento, em média, atinge 70% a 100%, dependendo de fatores atrativos para roedores e da instalação correta do equipamento. No controle de roedores, a eficiência do equipamento, em média, atinge 70% a 100%, dependendo de fatores atrativos para roedores e da instalação correta do equipamento.” (Zebu®, 2025, p.1).

Os repelentes eletrônicos para roedores são muitas vezes esquecidos de serem recomendados por projetistas, sendo um componente de suma importância para evitar curto-circuito proveniente da circulação de roedores no interior da subestação.

A Figura 29 ilustra um modelo ERMU 1-5 do fabricante de espanta roedores eletrônico Zebu®.

Figura 29 – Espanta roedores eletrônico



Fonte: Zebu® (2025, p2).

2.3.1.21 Iluminação de emergência

A Figura 30 ilustra uma luminária de emergência do fabricante Segurimax®, que afirma:

“Os blocos autônomos foram projetados para iluminar o ambiente em caso de falta de energia elétrica da rede ou iluminar o caminho de fuga na ocorrência de sinistro. São indicados para instalação em alturas maiores, como igrejas, galpões industriais, saguões, teatros, auditórios, corredores, hospitais etc.” (Segurimax®, 2025, p.1).

Além disto, os blocos autônomos devem obrigatoriamente obedecer a todos os pré-requisitos da norma NBR 10898:2023.

Figura 30 – Luminária de emergência



Fonte: Segurimax® (2025, p.1).

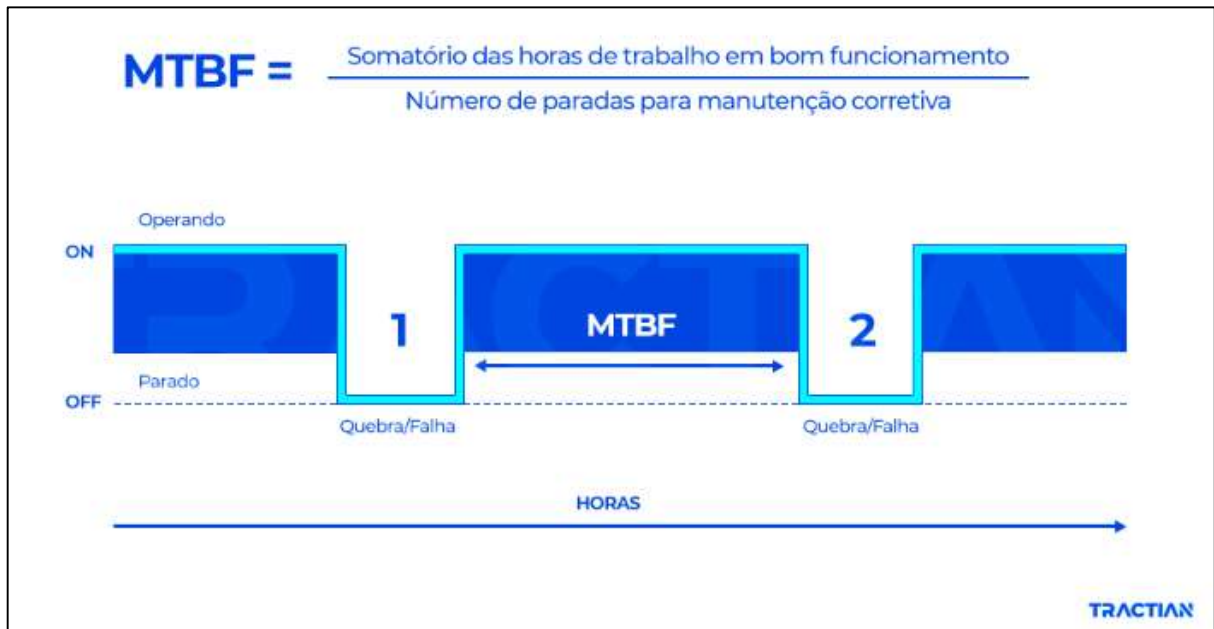
3 ANÁLISE DE INDICADORES CHAVES DE MANUTENÇÃO (KPI'S)

Os indicadores chaves de manutenção geram valores para mensurar a periodicidade entre as manutenções, sendo um artifício para a realização de manutenções preditivas e preventivas, além de atenuar paradas não programadas e auxiliar no apontamento de melhorias.

3.1 MTBF – *Mean Time Between Failures*

O MTBF, que traduzindo significa “tempo médio entre falhas”, é um dos principais indicativos para mensurar a periodicidade das manutenções, pois indica o tempo médio de horas trabalhadas em boas condições pelo número de paradas devido a manutenções corretivas, possibilitando assim uma previsibilidade e assertividade na programação das manutenções. A Figura 31 apresenta um gráfico ilustrando o MTBF.

Figura 31 – Fórmula e gráfico para cálculo do MTBF



Fonte: TRACTIAN® (2025).

Para exemplificar, suponhamos que uma subestação teve 3 paradas não programadas. É o tempo em bom funcionamento: O tempo até a primeira parada foi de 12.514,3 horas, já entre a primeira e a segunda parada foi de 15.121,5 horas, por

fim, entre a segunda e a terceira parada foi de 13.115,7 horas. Sendo assim, segue o cálculo conforme a equação (1):

$$MTBF^1 = \frac{12514,3+15121,5+13115,7}{3} = 13583,8 \text{ horas} \quad (1)$$

Segundo a TRACTIAN®, o recomendável é realizar as inspeções e manutenções preventivas em 70% deste tempo, ou seja, multiplicando o MTBF por um fator 0,7 (TRACTIAN®, 2025). Então (2):

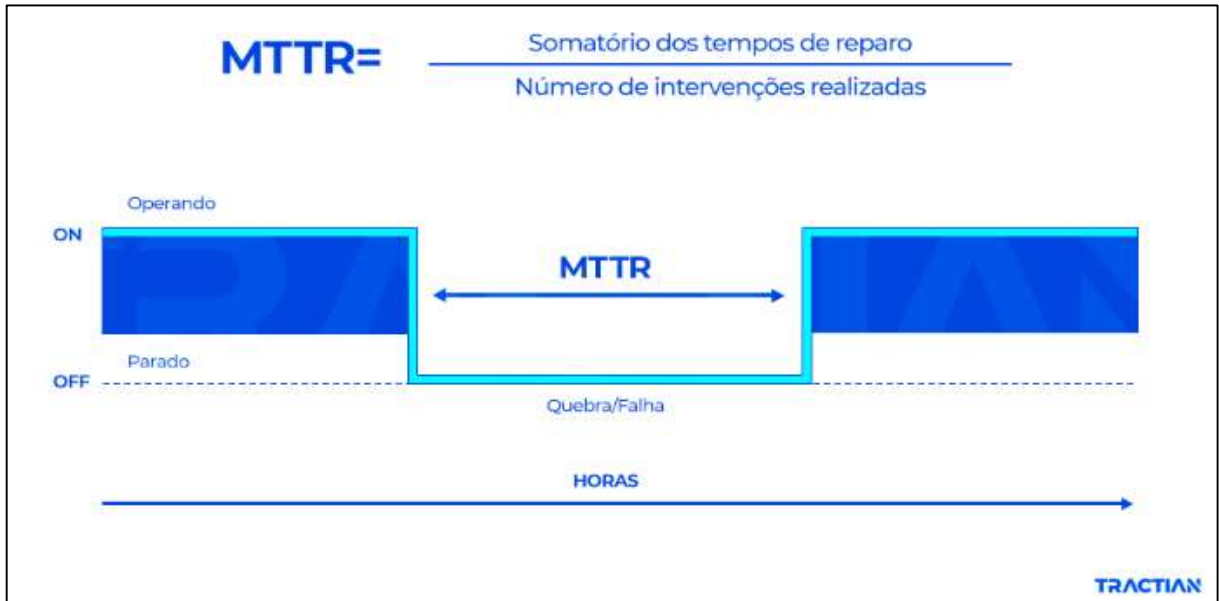
$$MTBF^2 = 0,7 \cdot MTBF^1 = 9508,66 \quad (2)$$

Com isso, define-se a periodicidade de inspeções e manutenções preventivas na subestação. Considerando que em 1 ano tem-se 8760 horas, então, a frequência de inspeção e manutenção se dá em 1 ano, com folga de 1 mês devido a imprevistos. Logicamente, quanto maior for o MTBF, significa menos frequência de falhas em algum dos componentes, porém, tratando-se de subestação, considera-se também fatores como poeira e sujeira que se acumulam com o tempo, e também devido à maresia em subestações próximas ao mar.

3.2 MTTR – Mean Time To Repair

O MTTR, que traduzindo significa “tempo médio para reparo”, é um indicador usado para gestão de equipes de manutenção, sendo calculado em horas trabalhadas pelo número de intervenções realizadas, o que indica o tempo médio que as equipes de manutenção levam para tal reparo. A Figura 32 apresenta um gráfico do MTTR.

Figura 32 – Fórmula e gráfico para cálculo do MTTR



Fonte: TRACTIAN® (2025).

O MTTR é o dual do MTBF, ou seja, quanto menor for o indicador, melhor estão trabalhando as equipes para sanar a parada.

Exemplificando, suponhamos que em uma subestação houve 3 paradas para reparo, a primeira com duração de 4 horas, a segunda com duração de 5 horas e a terceira com duração de 7 horas. Sendo assim, segue o cálculo conforme a equação (3):

$$MTTR = \frac{4+5+7}{3} = 5,33 \text{ horas} \quad (3)$$

Com essa informação em mãos, é possível calcular o lucro cessante de uma empresa, na qual fica em prejuízo durante uma parada. Caso uma empresa tenha um lucro de R\$ 7.500,00 por hora, então, o lucro cessante será de R\$ 39.975,00. Esse cálculo de lucro cessante reforça a ideia do valor da energia quando há falta dela.

3.3 Disponibilidade

A disponibilidade traz a informação percentual de quanto uma subestação esteve disponível em um intervalo de tempo. É calculado como o MTBF pela soma do MTBF com o MMTR, após multiplicado por 100 para se ter o valor percentual. A equação de cálculo da disponibilidade é apresentada na Figura 33.

Figura 33 – Fórmula para cálculo da disponibilidade

$$\text{DISPONIBILIDADE} = \frac{\text{MTBF}}{\text{MTBF} + \text{MTTR}} \times 100$$

Fonte: TRACTIAN® (2025).

Assim sendo, segue o cálculo da subestação conforme MTBF e MTTR calculados anteriormente, conforme equação (4):

$$\text{DISPONIBILIDADE} = \frac{13583,8}{13583,8+5,33} \cdot 100 = 99,96\% \quad (4)$$

O cálculo traduz que, em 99,96% do tempo, a subestação operou normalmente. Segundo a TRACTIAN®, padrões mundiais determinam uma boa disponibilidade aquela cujo cálculo seja superior a 90%, portanto, o cálculo está dentro de padrões mundiais (TRACTIAN®, 2025).

3.4 Confiabilidade

A confiabilidade é dada como a probabilidade da subestação operar normalmente em um intervalo de tempo futuro. Pode ser calculado com qualquer unidade de tempo, porém, deve seguir as unidades de tempo com as quais foram calculados o MTBF e o MTTR. A equação de cálculo da confiabilidade é apresentada na Figura 34.

Figura 34 – Fórmula para cálculo da confiabilidade

CONFIABILIDADE = $R(t) = e^{-\lambda \cdot t}$

<p>λ = taxa de falhas</p> $\lambda(t) = \frac{1}{\text{MTBF}}$	<p>t = tempo</p> <p>Precisa seguir a unidade do MTBF (horas, dias...)</p>	<p>e = Número de Euler</p> <p style="font-size: 1.5em; font-weight: bold; color: blue;">2,71</p>
---	---	---

TRACTIAN

Fonte: TRACTIAN® (2025).

Assim sendo, segue o cálculo da confiabilidade conforme MTBF e MTTR calculados anteriormente, considerando um tempo de 15000 horas, conforme as equações (5 e (6):

$$\lambda = \frac{1}{13583,8} = 7,36 \cdot 10^{-5} \quad (5)$$

$$\text{CONFIABILIDADE} = e^{-7,36 \cdot 10^{-5} \cdot 15000} = 0,33 \quad (6)$$

Segundo o cálculo, a probabilidade da subestação operar sem falhar nas próximas 15000 horas é de 33%.

3.5 Backlog

O *Backlog* é mais uma ferramenta de gestão de equipes, traduzindo a informação de excesso ou déficit de mão de obra nas equipes. Representa a demanda de serviços e a capacidade de atendê-los (TRACTIAN®, 2025).

O *Backlog* é calculado como a soma Hora-Homem de todas as OS destinadas às equipes pela Hora-Homem disponível para a execução delas. O cálculo pode ser dado diariamente, semanalmente, quinzenalmente, mensalmente ou anualmente, gerando gráficos de *Backlog versus* tempo. Caso o gráfico tenha derivada positiva, então há excesso de mão de obra; caso tenha derivada negativa, há déficit de mão de obra; e caso o gráfico seja flat, indica um bom número de mão

de obra. O *backlog* é calculado conforme a fórmula apresentada na Figura 35. O fator de produtividade leva em consideração a carga de trabalho do Homem, como fadiga e estresse, devendo ser estimado pelo responsável pelas equipes.

Figura 35 – Fórmula para cálculo do Backlog

$$\text{Backlog} = \frac{\sum \text{HH OS Planejadas} + \sum \text{HH OS Pendente} + \sum \text{HH OS Programada} + \sum \text{HH OS Executadas}}{\text{HH Disponível}}$$

$\text{HH Disponível} = \text{HH Total} \times \text{Fator de Produtividade (\%)}$

TRACTIAN

Fonte: TRACTIAN® (2025).

3.6 CMF – Custo de manutenção sobre faturamento

O CMF traduz a porcentagem do faturamento total de uma organização que foi gasto com manutenção, sendo uma ferramenta de gerenciamento financeiro do setor de manutenção.

O custo total de manutenção engloba materiais, pessoal, contratação de terceiros, depreciação e perda de faturamento. O CMF é calculado conforme a equação apresentada na Figura 36.

Figura 36 – Fórmula para cálculo do CMF

$$\text{CMF} = \frac{\text{Custo total de manutenção}}{\text{Faturamento bruto}} \times 100$$

Fonte: TRACTIAN® (2025).

Como exemplo, suponhamos que o custo anual de manutenção de uma determinada subestação foi de R\$10.000,00, e que o faturamento bruto foi de R\$2.000.000,00, então, conforme equação (7):

$$\text{CMF} = \frac{10000}{2000000} \cdot 100 = 0,5\% \quad (7)$$

Segundo o cálculo, neste caso apenas 0,5% do valor de faturamento bruto foi gasto com manutenção da subestação.

3.7 CPMV – Custo de manutenção sobre valor de reposição

O CPMV é mais um indicador financeiro que orienta o setor de manutenção sobre manter um ativo ou adquirir um novo.

O cálculo se dá com o custo total de manutenção para manter um ativo pelo valor da compra de um novo, multiplicado por 100 para a visualização percentual. A equação de cálculo do CPMV é demonstrada na Figura 37.

Figura 37 – Fórmula para cálculo do CPMV

$$\text{CPMV} = \frac{\text{Custo total de manutenção}}{\text{Valor de compra de um novo equipamento}} \times 100$$

Fonte: TRACTIAN® (2025).

Em uma subestação, suponhamos que houve um problema no mecanismo de carregamento da mola do disjuntor de média tensão, e que o conserto do componente custa R\$8.000,00 e um novo disjuntor custa R\$50.000,00, então, conforme equação (8):

$$\text{CPMV} = \frac{8000}{50000} \cdot 100 = 16\% \quad (8)$$

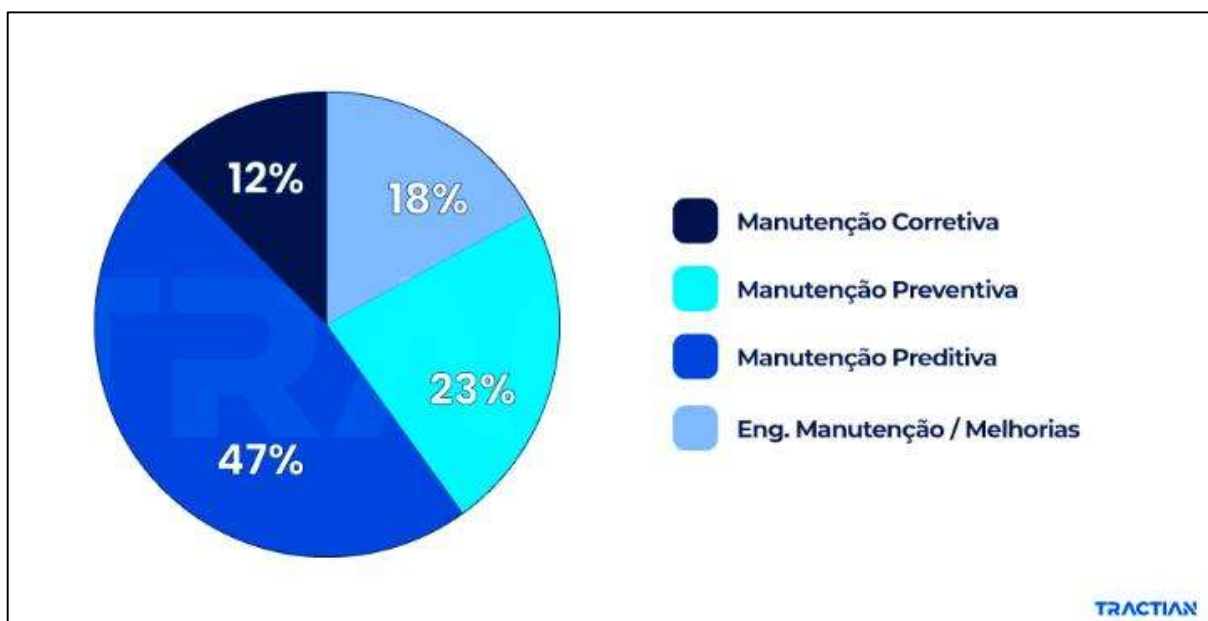
O cálculo serve de base para a tomada de decisão no setor de manutenção, sendo variável entre equipamentos se é vantajoso ou não a aquisição de um novo ativo. Para a aquisição de um novo equipamento pode ser necessário também analisar outros indicadores como o tempo médio entre falha do equipamento atual e comparar com um novo equipamento, entre outros.

3.8 Distribuição por tipo de manutenção

A distribuição por tipo de manutenção nada mais é do que um gráfico em formato de pizza, que ilustra o percentual da aplicação de cada tipo de manutenção, conforme a Figura 38.

Segundo a TRACTIAN®, o ideal é que a frequência de manutenções corretivas não programadas fique abaixo de 20%, e que a frequência de manutenções preventivas oscile de 30% a 40%. Para uma maior confiabilidade, empresas mantêm a frequência de manutenções preditivas com a maior porcentagem na distribuição (TRACTIAN®, 2025).

Figura 38 – Distribuição por tipo de manutenção



Fonte: TRACTIAN® (2025).

4 MANUTENÇÃO PREVENTIVA DOS COMPONENTES DE SUBESTAÇÕES ABRIGADAS DE MT

Segundo a NBR 5462:1994, a manutenção preventiva é a “manutenção efetuada em intervalos predeterminados ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falha ou a degradação do funcionamento de um item” (ABNT, 1994, p.7).

De acordo com a NR-12, em seu item 12.11.1:

As máquinas e equipamentos devem ser submetidos a manutenções na forma e periodicidade determinada pelo fabricante, por profissional legalmente habilitado ou por profissional qualificado, conforme as normas técnicas oficiais ou normas técnicas internacionais aplicáveis (MTE, 2024, p.19).

A subestação elétrica é usualmente a principal instalação de qualquer organização, sendo vital para o funcionamento de quaisquer tipos de negócios. Para tanto, a manutenção preventiva da subestação visa evitar as paradas não programadas, aumentar a confiabilidade e ter previsibilidade dos lucros. As principais falhas que ocorrem nas subestações elétricas de MT são:

- a) Centelhamento elétrico, fruto do rompimento da rigidez dielétrica de algum componente da subestação, formando trilhamento elétrico, podendo causar curto-circuito. Em subestações de MT é muito comum a visualização do fenômeno nos isoladores, nas chaves seccionadoras e na carcaça dos TCs, com uma descarga elétrica parcial visível e sonora (chiado);
- b) Falha de contato pelo afrouxamento de parafusos e terminais, causado pelo aquecimento e vibração dos transformadores;
- c) Problemas nos punhos de manobra das chaves seccionadoras, chaves seccionadoras com mecanismo danificado e disjuntores de MT com problemas na abertura e fechamento. Essas falhas geralmente acontecem em subestações mais antigas, com chaves seccionadoras ainda com isoladores de porcelana e disjuntores de MT a óleo;

- d) Falha no isolamento da tampa superior dos transformadores a óleo, permitindo vazamentos e a contaminação por umidade, reduzindo a rigidez dielétrica do mesmo e causando centelhamento elétrico interno ao transformador;
- e) Muita poeira e sujeira acumulada em decorrência de falta de manutenção, podendo acarretar curto-circuito de algum componente da subestação. Além disso, às vezes a subestação é vista como depósito, com guarda de materiais que não deveriam estar adentro.

4.1 Protocolo de segurança para a manutenção

De acordo com a ABRADDEE (Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica), somente no ano de 2024 foram registrados 756 acidentes envolvendo a rede elétrica; destes, 270 foram fatais (ABRADDEE, 2025).

Sob essa perspectiva, na manutenção preventiva de subestações, algumas medidas de prevenção a acidentes devem ser tomadas, conforme prescrições presentes nas normas:

- a) NBR IEC 60903:2024, que trata dos requisitos mínimos e ensaios de luvas isolantes elétricas;
- b) NBR 14039:2021, norma esta de instalações elétricas de média tensão de 1 kV a 36,2 kV, e que em toda sua extensão apresenta recomendações de segurança;
- c) NBR 5410:2004, apresentando recomendações em instalações elétricas de baixa tensão;
- d) NR-01, norma regulamentadora que apresenta as disposições gerais e gerenciamento de riscos ocupacionais;
- e) NR-04, norma regulamentadora de serviços especializados em segurança e em medicina do trabalho, exigindo o preenchimento e assinaturas da permissão do trabalho;

- f) NR-06, norma regulamentadora que trata de equipamentos de proteção individual;
- g) NR-09, apresentando a avaliação e controle das exposições ocupacionais a agentes físicos, químicos e biológicos;
- h) NR-10, norma esta sendo uma das principais utilizadas em segurança em instalações e serviços em eletricidade;
- i) NR-16, norma regulamentadora de atividades e operações perigosas, em seu Anexo IV;
- j) NR-35, norma regulamentadora que apresenta as diretrizes de segurança para trabalho em altura. Utilizada devido as subestações abrigadas possuem pé direito alto e assim, fazendo-se uso de escadas para limpeza superior dos cubículos;
- k) ASTM D 178-01, normatização estadunidense que apresenta o ensaio em estrados isolantes.

Nos planos de manutenção e nas ordens de serviço devem constar essas medidas de prevenção a acidentes, assegurando que sejam rigorosamente cumpridas. Analisando a NR-10 e com a experiência adquirida, nas subestações de MT, as medidas de prevenção a acidentes são, sequencialmente:

- a) Elaboração da autorização de desligamento, constando data e horário da manutenção, assinada pelo responsável pelo empreendimento, conforme o Anexo C, e emitir um comunicado de serviços para todos os envolvidos;
- b) Emissão de ART no CREA da região onde será realizada a manutenção e pagamento de sua respectiva taxa;
- c) Pedido de desligamento programado via sistema da concessionária local; em anexo, enviar a autorização de desligamento e a ART devidamente assinadas, além do comprovante de pagamento da ART e o diagrama unifilar da subestação indicando o ponto em que será instalado o aterramento temporário, após aguardar aprovação;

- d) Mobilização da equipe de manutenção para separação de ferramentas, equipamentos de proteção e dos instrumentos de ensaios;
- e) Na subestação, antes do desligamento da concessionária, retirar totalmente a carga do sistema com o desligamento dos disjuntores gerais dos QGBTs; logo após, desligar o disjuntor geral de média tensão e, por último, abrir as chaves seccionadoras, com a devida vestimenta de proteção, conforme NR-09, ilustrada na Figura 39;
- f) Solicitar a abertura da chave fusível para a equipe da concessionária, e aguardar a abertura, conforme Figura 40, após aguardar o teste de detecção de tensão da concessionária, conforme Figura 41;
- g) Bloquear os disjuntores com cadeados e pendurar placa de aviso de manutenção;
- h) Executar o teste de detecção de tensão na entrada de energia da subestação, como forma de segurança redundante, conforme Figura 42.
- i) Instalar o aterramento temporário na entrada de energia da subestação, como ilustra a Figura 43, com o curto-circuito das 3 fases à terra, garantindo segurança em eventuais descargas atmosféricas.

Segundo a MÉDIA TENSÃO®, as vestimentas podem ser classificadas de acordo com níveis de tensão a seguir:

- a) Risco II: Para áreas desenergizadas ou energizadas até 15 kV (MÉDIA TENSÃO®, 2025);
- b) Risco III: Para áreas energizadas de 15 kV á 25 kV (MÉDIA TENSÃO®, 2025);
- c) Risco IV: Para áreas energizadas acima de 25 kV (MÉDIA TENSÃO®, 2025).

A Figura 39 apresenta uma vestimenta de risco IV, em que o uso de proteção com capuz balaclava é obrigatório, porém, em áreas com classificação de risco II e III, ao invés de capuz balaclava, pode ser utilizado capacete de segurança com protetor facial acoplado para o cumprimento da alínea “e”.

Figura 39 – Vestimenta de proteção contra riscos provenientes de arco elétrico e fogo repentino conforme NR-09



Fonte: A CABINE (2025).

Figura 40 – Abertura das chaves fusíveis no poste pela concessionária de energia



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 41 – Teste de detecção de tensão da concessionária de energia



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 42 – Teste de detecção de tensão realizado pela equipe na entrada de energia



Fonte: Autoria Própria (2024).

Figura 43 – Aterramento temporário na entrada de energia



Fonte: Aatoria Própria (2024).

Após o cumprimento de todos esses passos para desenergização, as grades de proteção dos cubículos podem ser retiradas e a subestação está apta para a manutenção preventiva.

4.2 Análise preliminar de risco (APR), permissão de trabalho (PTR) e anotação de responsabilidade técnica (ART)

A NR-10, por meio de seu item 10.2.1, exige que seja realizada a APR de forma a garantir a segurança e saúde no trabalho anteriormente ao início das atividades, conforme item 10.7.5 da referida norma. O Anexo A apresenta um modelo de APR que deve ser preenchido pelo responsável pelos serviços, assinado por todos, detalhando e relatando aos seus subordinados os potenciais riscos na execução da manutenção (MTE, 2025, p.1).

A NR-04 exige que seja realizada a PTR, de acordo com seu item 4.3. A PTR é elaborada pelo setor de SESMT (Serviço Especializado em Engenharia de Segurança e Medicina do Trabalho). O Anexo B apresenta um modelo de PTR que deve ser preenchido pelo responsável pelos serviços e assinado por todos (MTE, 2025, p.2).

A Lei nº 6496/77 exige a ART para qualquer execução de obra ou serviços de engenharia, bem como para desempenho de cargo ou função para os quais sejam necessárias habilitação legal e conhecimentos técnicos. A ART deve ser emitida anteriormente ao início das atividades no CREA (Conselho Regional de Engenharia e Agronomia) da região onde será realizada a atividade de manutenção. O Anexo D apresenta um modelo de ART registrada com inclusão de manutenção em subestação transformadora de energia (CONFEA, 2025).

4.3 Execução da manutenção: inspeção, serviços e ensaios

No início, o responsável pela execução da manutenção define as atividades exercidas por cada integrante da equipe, de acordo com o plano de manutenção e a ordem de serviço. A manutenção inicia-se pela limpeza completa de toda a subestação, utilizando pincéis, estopas, vassoura e aspirador de pó, deixando-a livre para os ensaios dos componentes. Em paralelo à limpeza, o responsável deve realizar uma inspeção visual da subestação, verificando o estado da alvenaria, piso, pintura e estado de conservação dos componentes.

Também é dever do responsável averiguar se:

- a) Há algum material indevido no interior da subestação, promovendo sua retirada;
- b) Conferir a validade do extintor de incêndio e se está cheio;
- c) Manter a subestação iluminada, arejada e com as portas abertas;
- d) Exigir dos profissionais o uso dos EPI e EPC;
- e) Supervisionar a equipe em todo o tempo de manutenção e controlar esse tempo para evitar eventuais atrasos.

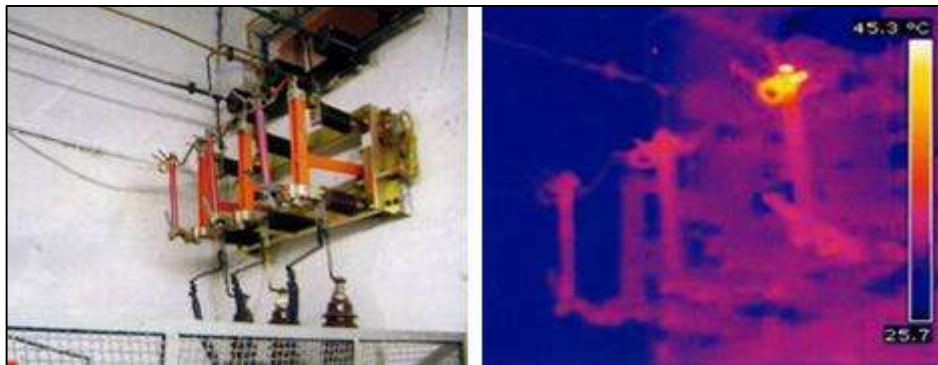
Todos os instrumentos de medição utilizados para os ensaios devem ter certificado de calibração válido, de acordo com a NBR ISO/IEC 17025:2017 e a NBR ISO 9001:2024. O certificado deve conter a identificação do instrumento, muitas vezes dado pelo número de série do fabricante, a faixa de medição, de trabalho e de calibração, a frequência de calibração recomendada pelo fabricante e o erro máximo permissível (ABNT, 2017, p.16).

Os ensaios que requerem medição com os instrumentos megômetro, hipot e micromímetro devem ser realizados com os componentes da subestação desconectados dos barramentos de MT, dos cabos de BT e do aterramento. Após os ensaios, os barramentos de MT e os cabos de BT devem ser novamente conectados aos componentes ensaiados com uso de torquímetro.

4.3.1 Inspeção

Previamente, uma inspeção visual deve ser realizada, a fim de atestar o estado geral da subestação, sendo fotografadas eventuais não conformidades presentes para posterior relatório de manutenção. Além disto, a inspeção termográfica também deve ser realizada anteriormente com a subestação energizada, podendo tanto ser feita em manutenções preditivas como logo anteriormente à manutenção preventiva, a fim de aferir eventuais pontos quentes na instalação. A Figura 44 ilustra um ponto quente detectado em uma conexão de uma chave seccionadora.

Figura 44 – Ponto quente detectado em chave seccionadora



Fonte: INOVARUM® (2017).

Outra inspeção que deve ser realizada previamente é a análise de energia, obtendo parâmetros das grandezas elétricas, a fim de examinar eventuais sobretensões ou subtensões para recomendar mudança de TAP do transformador de potência. Além disto, também pode ser avaliado o banco de capacitores, que, principalmente em instalações mais antigas, pode não estar fornecendo a energia reativa capacitiva suficiente para correção do fator de potência ou estar incompatível com a nova exigência das cargas.

O módulo 8 do PRODIST afirma que o conjunto de leituras para gerar indicadores de qualidade do produto deve compreender 1008 leituras válidas em intervalos consecutivos de 10 em 10 minutos, equivalendo a uma análise de 7 dias (ANEEL, 2020, p.24). Destes 7 dias, é importante desligar o banco de capacitores por 2 ou 3 dias e religar durante o restante do tempo de análise, a fim de analisar outras grandezas como harmônicas e corrente total. A Figura 45 demonstra um equipamento analisador de energia. Também é recomendável o contato com a concessionária de energia para averiguar possíveis manutenções na rede de distribuição, para que a análise de energia não forneça dados equivocados provenientes do chaveamento da rede da concessionária ou manutenções temporárias no alimentador.

Figura 45 – Instrumento analisador de energia



Fonte: ISSO® (2025).

Os analisadores de energia podem ser de classe A, S ou B, tendo-se que verificar a necessidade conforme a norma NBR IEC 61000-4-30 e, também se é necessário um equipamento com a classe IV de proteção, conforme IEC 61140.

4.3.2 Cabos isolados de MT

Os cabos de MT são ensaiados com o instrumento megômetro, ilustrado na Figura 47, para verificação das suas condições de isolamento. Todavia, também podem ser ensaiados com fonte de alta tensão, por meio do instrumento hipot, ilustrado na Figura 48; porém, esse ensaio normalmente é realizado na instalação do cabo, antes de ser energizado. Na manutenção preventiva, cabos que foram instalados há muitos anos ou terminações foram substituídas requerem o ensaio com

fonte de alta tensão, que, conforme a NBR 7287:2023, deve ser realizado com tensão inferior (ABNT, 2023, p.10).

A medição da resistência ôhmica de isolamento consiste em aplicar tensão de 5000 Vcc durante 1 minuto entre o condutor e a blindagem de proteção e, após esse tempo, realizar a leitura de resistência. É considerável resistência mínima de isolamento em $M\Omega$, conforme fórmula:

$$R_{min} = kV + 1 \quad (9)$$

A NBR 17094-3 apresenta os métodos de ensaios em máquinas elétricas girantes, e fornece a Tabela 3 com os limites mínimos aceitáveis de resistência de isolamento. A fórmula (9) apresentada na Tabela 3 é recomendada pelo fabricante de instrumentos MEGGER® para medições em cabos de MT. Exemplificando, um cabo que seja instalado em uma subestação com fornecimento de tensão primária de energia em 13,8 kV terá que apresentar uma resistência de isolamento de no mínimo:

$$R_{min} = 14,8 M\Omega \quad (10)$$

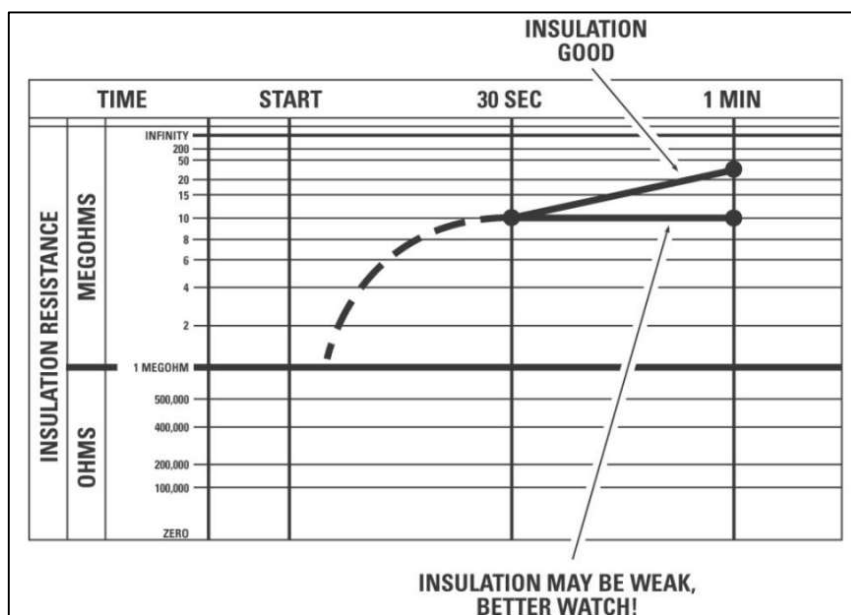
Tabela 3 - Resistência de isolamento mínima recomendada para cabos de MT

Tabela 2 – Resistência de isolamento mínima recomendada	
Resistência de isolamento mínima recomendada $M\Omega$	Tipo de enrolamento
$R_m = kV + 1$	Motores bobinados até 1970, bobinas de campo e outras não descritas a seguir
$R_m = 100$	Enrolamento de armadura em motores c.c. e enrolamentos c.a. fabricados após 1970 (bobina pré-formada)
$R_m = 5$	Enrolamentos randômicos e bobinas pré-formadas com tensão inferior a 1 kV
Legenda R_m é a resistência mínima recomendada, expressa em megaohms ($M\Omega$), com o enrolamento do motor a 40 °C; kV é a tensão de linha nominal do motor, em quilovolts (kV) (eficaz).	

Fonte: ABNT (2018, p.18).

A Figura 46 apresenta um gráfico de um teste de cabo de MT, com um exemplo de curva de um cabo com uma boa isolação, e outro exemplo de curva de um cabo com isolação duvidosa.

Figura 46 – Ensaio de resistência de isolamento de cabos de MT



Fonte: MEGGER® (2017).

Já o ensaio utilizando o Hipot consiste em aplicar alta tensão em corrente contínua, de acordo com a Tabela 4. A Tabela 5 apresenta os percentuais de tensão a serem aplicados nos ensaios por ocasião, de acordo com a NBR 7287:2023 (ABNT, 2023, p.10). O ensaio deve ser executado elevando a tensão em degraus de 5 em 5 kV, até que se chegue à tensão de ensaio. Após, aguardar por 1 minuto para estabilização da corrente de fuga e, posteriormente, registrar de 1 em 1 minuto o valor da corrente de fuga. Com o término do ensaio, plotar os valores em um gráfico corrente de fuga x tempo e avaliar o resultado, conforme as Figuras 49 e 50. A Figura 49 registra um ensaio de um cabo com a isolação em boas condições, já a Figura 50 ilustra um ensaio de um cabo com a isolação deteriorada.

Figura 47 – Instrumento Megômetro



Fonte: INSTRUM® (2025).

Figura 48 – Instrumento Hipot



Fonte: INSTRUM® (2025).

Tabela 4 - Valores de tensão elétrica contínua para o ensaio com o Hipot

Tensão de isolamento U_0/U	kV	0,6/1	1,8/3	3,6/6	6/10	8,7/15	12/20	15/25	20/35
Tensão de ensaio	kV	8,5	15,5	26,5	36	53	72	90	120

NOTA 1 Os valores de tensão elétrica contínua de ensaio correspondem a $2,4 \times (2,5 U_0 + 2,0)$ kV, para os cabos com tensões de isolamento iguais ou inferiores a 3,6/6 kV, e $2,4 \times 2,5 U_0$, para os cabos com tensões de isolamento superiores a 3,6/6 kV.

NOTA 2 Os valores correspondentes às tensões de isolamento superiores a 3,6/6 kV são utilizados como referência para o cálculo das tensões de ensaios durante e após a instalação, conforme 5.6.

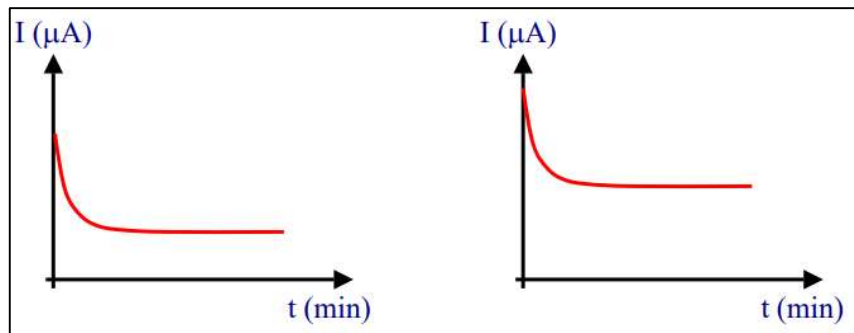
Fonte: ABNT (2023, p.13).

Tabela 5 - Especificações técnicas para ensaio dos cabos de MT com o instrumento Hipot

Ocasião	Tensão (Vcc)	Tempo (min)
Após a conclusão da instalação	80%	15
Durante o período de instalação	75%	5
Após entrar em operação - Período de garantia	65%	5
Fora do período de garantia	Tensão nominal Fase-Fase	5

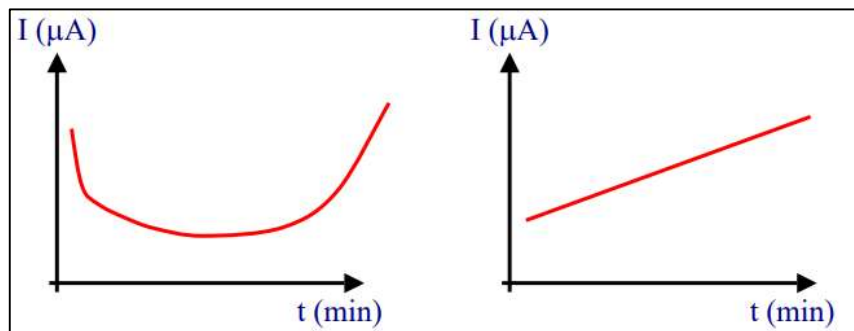
Fonte: Adaptado de ABNT (2023, p.10).

Figura 49 – Cabo com isolamento em boas condições



Fonte: LACTEC® (2003, p.82).

Figura 50 – Cabo com isolamento deteriorada

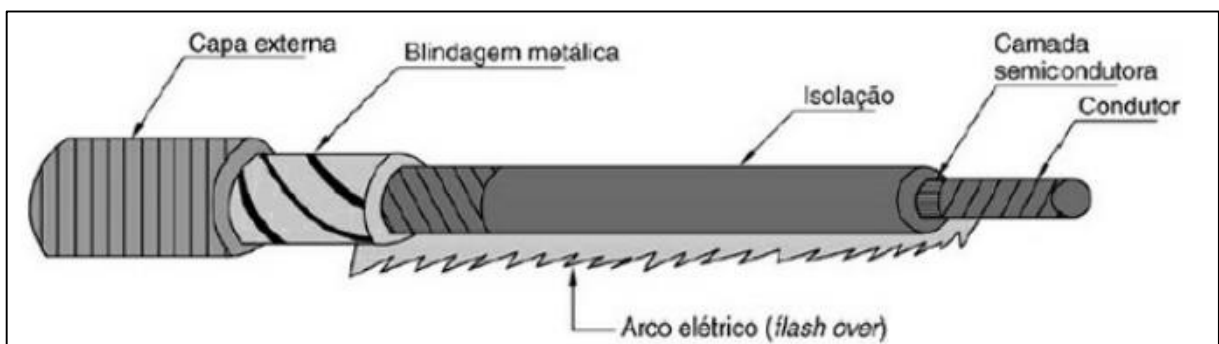


Fonte: LACTEC® (2003, p.82).

4.3.3 Muflas

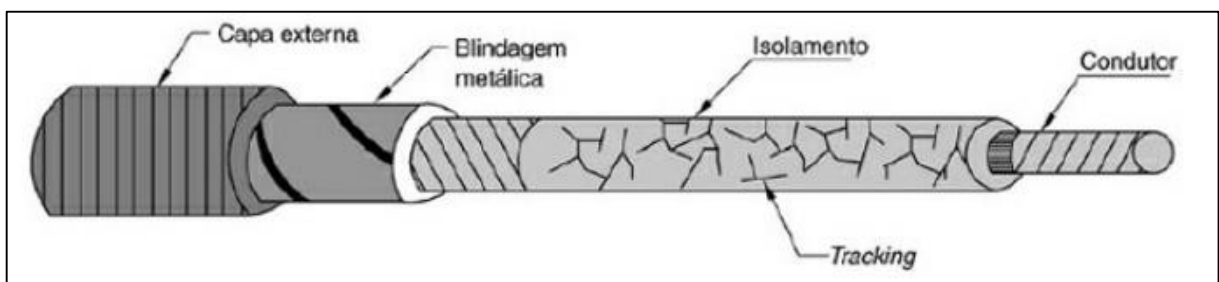
Na inspeção visual, observa-se se as muflas apresentam o efeito *tracking*, também conhecido como efeito de carbonização, que é a degradação elétrica e térmica das muflas, tendo como causas a umidade, sobretensões e descargas parciais. Este efeito é visível a olho nu devido as manchas escuras deixadas pela trilha elétrica, fruto da carbonização. Também deve ser observado se as muflas apresentam o efeito *flash over*, que é um fenômeno elétrico que acontece quando a rigidez dielétrica da superfície das muflas é superada pela tensão aplicada entre o terminal condutor e a proteção, causando um arco elétrico que percorre a parte externa da muflas, queimando-as totalmente. A Figura 51 ilustra o fenômeno *flash over*, enquanto a figura 52 ilustra o fenômeno *tracking*.

Figura 51 – Fenômeno Flash Over



Fonte: MAMEDE FILHO (2013, p.175).

Figura 52 – Fenômeno Tracking

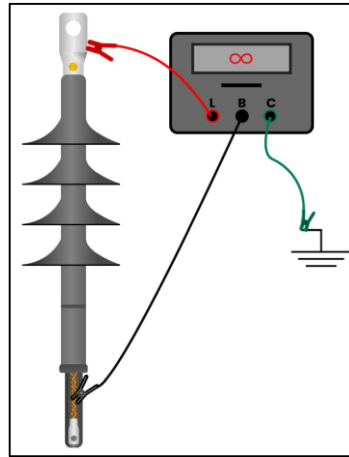


Fonte: MAMEDE FILHO (2013, p.175).

As muflas são ensaiadas com o instrumento megômetro, conforme ilustrado na Figura 53. O ensaio consiste em aplicar tensão elétrica na parte condutora e conectar o retorno na blindagem protetora, a fim de medir a resistência de isolamento entre as partes. A magnitude de resistência de isolamento vai variar de acordo com a classe de tensão da mufla, e tendo como base para aceitação as

mesmas características do ensaio em cabos de MT, conforme a fórmula (9), Tabela 3 e Figura 46.

Figura 53 – Ensaio de resistência de isolamento das muflas com o instrumento megômetro



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

4.3.4 Barramentos de MT

A manutenção nos barramentos de MT consiste em limpeza, reaperto de suas conexões e terminais e aplicação de desengraxante dielétrico, recebendo assim uma proteção anticorrosiva. Padecem de vibração e aquecimento, dilatando-se e sofrendo afrouxamento. O reaperto das conexões e terminais se faz necessário devido ao surgimento de pontos quentes, geralmente detectados com a termografia.

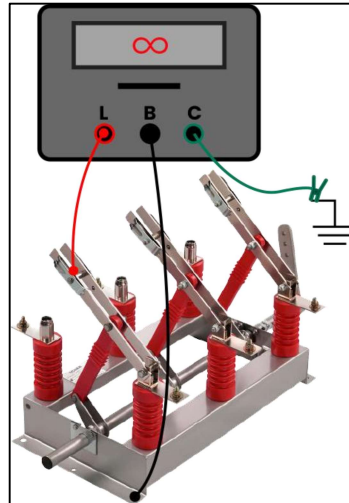
4.3.5 Chaves seccionadoras

As chaves seccionadoras de MT são ensaiadas para medição de sua resistência de isolamento e de sua resistência de contato. Segundo a MESH ENGENHARIA®, não há uma regra específica para valores de referência de resistência de isolamento mínima, além disso, dependem da classe de tensão da chave seccionadora. Entretanto, indica que o nível mínimo de resistência de isolamento deve seguir a regra:

$$1 \text{ kV} \Rightarrow 1 \text{ M}\Omega \quad (11)$$

Ou seja, aplica-se 5 kV com o equipamento megômetro, conectando a alta tensão do equipamento na parte dos contatos, e o retorno na carcaça da chave aberta, conforme ilustra a Figura 54 (MESH ENGENHARIA®, 2025).

Figura 54 – Ensaio de resistência de isolamento das chaves seccionadoras com o instrumento megômetro



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

Para o ensaio de resistência de contatos, utiliza-se o equipamento micromímetro de 100 A, apresentado na Figura 55. Sua injeção de corrente é conectada nos contatos de entrada da chave, combinado com o retorno conectado na saída da chave, conforme ilustra a Figura 56. Não há valores específicos de resistência de contatos máximas em normas, porém, deve-se considerar como valores aceitáveis, segundo a MESH ENGENHARIA®:

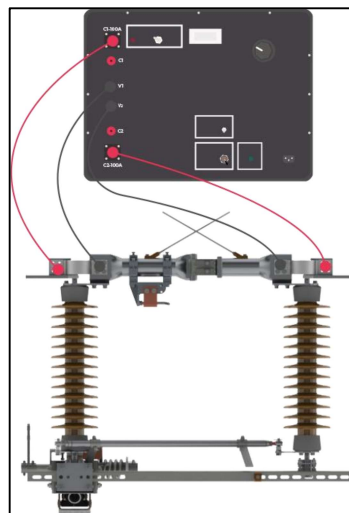
$$0 \leq R \leq 199 \mu\Omega \quad (12)$$

Figura 55 – Instrumento Micro-ohmímetro



Fonte: INSTRUM® (2025).

Figura 56 – Ensaio de resistência de contatos das chaves seccionadoras com o instrumento microhmímetro



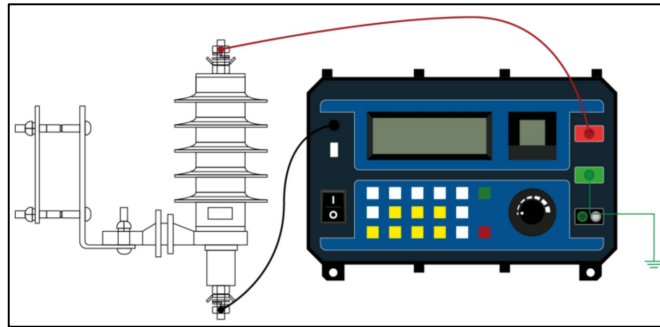
Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

4.3.6 Para-raios

A manutenção dos para-raios de MT é relativamente simples. Segundo a MEGGER®, o ensaio de resistência de isolamento se dá com a aplicação de alta tensão na parte superior, e o retorno conectado a parte inferior, como ilustra a Figura 57. A alta tensão a ser aplicada deve se na faixa de 50% a 120% de sua tensão nominal, pois nesta faixa a resistência de isolamento dos para-raios permanece constante. O teste deve ter duração de 60 segundos e repetido 3 vezes, considerando

a leitura média como resultado, e devem apresentar leituras de resistência de isolamento na faixa de GigaÔhms ($G\Omega$) a TeraÔhms ($T\Omega$). Qualquer para-raios com leitura média de resistência abaixo desta faixa de referência deve ser substituído (MEGGER®).

Figura 57 – Ensaio de resistência de isolamento dos para-raios com o instrumento megômetro



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

4.3.7 Disjuntor de média tensão

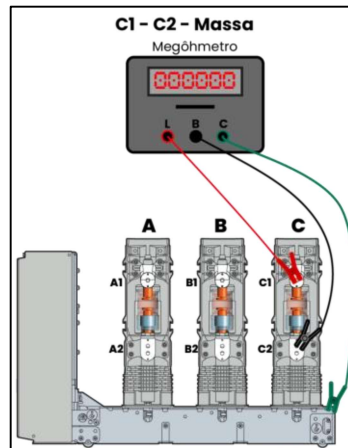
Os disjuntores de média tensão requerem ensaios de resistência de isolamento com o disjuntor aberto, conforme ilustra a Figura 58, para a medição da resistência de isolamento entre os polos dos contatos. De igual modo, requer ensaios de resistência de isolamento entre terminais de fases distintas, como apresenta a Figura 59, desta vez com o disjuntor fechado. Para as medições, o disjuntor deve ser desconectado dos barramentos de MT.

De acordo com a SIEMENS®, os testes de verificação de resistência de isolamento se dão com o instrumento megômetro, com a aplicação de 5 kV na alta tensão. Ainda de acordo com o fabricante, todas as medições de resistência de isolamento no disjuntor de MT devem estar acima de 100 $M\Omega$ (SIEMENS®, 2010, p.15). Já o fabricante WEG® recomenda a aplicação de 1 kV na alta tensão, e considera como aceitável uma resistência de isolamento acima de 500 $M\Omega$ (WEG®, 2021, p.78).

Sob esta perspectiva, temos divergência de valores de referência entre fabricantes, sendo que cada um adota seus critérios de aceitação em fábrica. Com isso, a MESH ENGENHARIA® recomenda um ensaio com aplicação de 5 kV na alta tensão e duração de 60 segundos, e observar se ao longo do ensaio a resistência foi

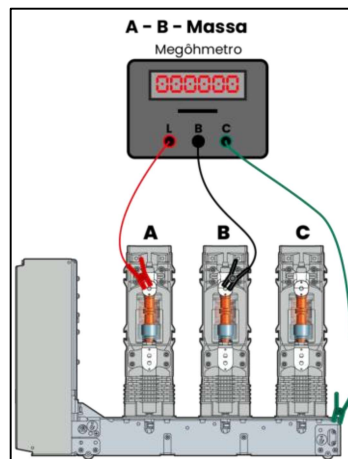
aumentando, nos mesmos moldes da Figura 46. Caso positivo, indica que a isolação está em boas condições, e caso negativo, indica isolação fraca (MESH ENGENHARIA®, 2025).

Figura 58 – Ensaio de resistência de isolamento dos disjuntores de MT com o instrumento megômetro - Disjuntor Aberto



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

Figura 59 – Ensaio de resistência de isolamento dos disjuntores de MT com o instrumento megômetro - Disjuntor Fechado

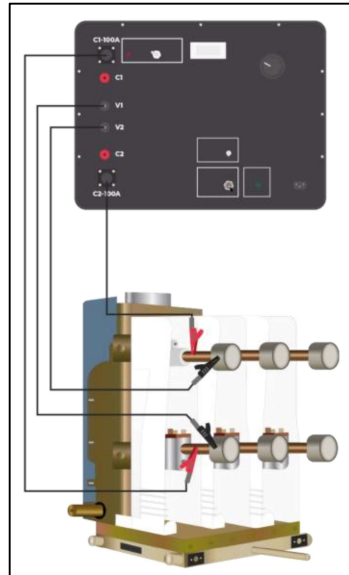


Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

Para o ensaio de resistência de contatos utiliza-se o equipamento micromímetro, e aplica-se 100 A entre os contatos, com o disjuntor fechado, conforme a Figura 60. A referência para a resistência de contato é de $50 \mu\Omega$ para disjuntores novos e de valores próximos a $80 \mu\Omega$ para disjuntores já operados (MESH ENGENHARIA®, 2025). Deve-se observar o número de operações que o disjuntor pode executar para que não haja maiores danos nos contatos em sua vida útil. A WEG® por exemplo, recomenda 10 operações sucessivas para o carregamento da

mola, com intervalo de 5 segundos entre operações, e que depois de operado deve ser respeitado um intervalo de 30 minutos após a primeira operação sucessiva. Ainda, opera no máximo 20 vezes por hora; 100 vezes por dia (WEG®, 2021, p.75).

Figura 60 – Ensaio de resistência de contatos dos disjuntores de MT com o instrumento microhmímetro - Disjuntor fechado



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

4.3.8 Relé de proteção e painel de comando à distância

A manutenção preventiva do painel de comando a distância e do relé de proteção é relativamente simples. A Figura 61 apresenta o relé de proteção instalado no painel de comando. No painel, desconectar o aterramento da carcaça e executar a medição da resistência de isolamento com o instrumento megômetro, aplicando 500 V na carcaça com o retorno conectado ao aterramento. A medição deve estar dentro dos limites estabelecidos pela NBR 5410, conforme a Tabela 22 (ABNT, 2004, p.165).

Já a manutenção do relé de proteção irá variar de fabricante para fabricante. O relé instalado no painel apresentado na Figura 61 é de modelo URP 1439TU do fabricante PEXTRON®, que em seu dispositivo recomenda a verificação do contato de auto-check do relé, garantindo que 90% do relé está em condição normal. Ainda indica que para a calibração completa do relé é recomendável a realização de um ensaio com injeção de corrente e tensão para a verificação de sua

atuação. Diz ainda que para os ensaios é necessário a utilização de equipamentos compatíveis com a classe de precisão do relé (PEXTRON®, 2007, p.51).

O relé possui ainda duas rotinas de teste com acesso através do painel frontal. A primeira rotina verifica toda a sinalização frontal do relé, ou seja, se todos os leds e segmentos do display principal e display de função acendem. Para o teste, basta pressionar as teclas R + ▲. Este é um teste que pode ser executado com o relé em serviço, pois a prioridade é sempre de funcionamento para atuação da proteção (PEXTRON®, 2007, p.51).

A segunda rotina de teste é realizada obrigatoriamente com o relé fora de serviço, pois provoca a atuação dos relés de saída. Essa rotina executa um teste sequencial do funcionamento lógico das principais unidades internas do relé. Para executar a rotina, é necessário pressionar as teclas R + ▼, e manter a tecla ▼ liberando a tecla R. Nesse momento, o relé entra em teste sequencial da sinalização e dos relés de saída. Ao fim do teste, liberar a tecla ▼ e o relé volta para o seu estado operativo (PEXTRON®, 2007, p.51).

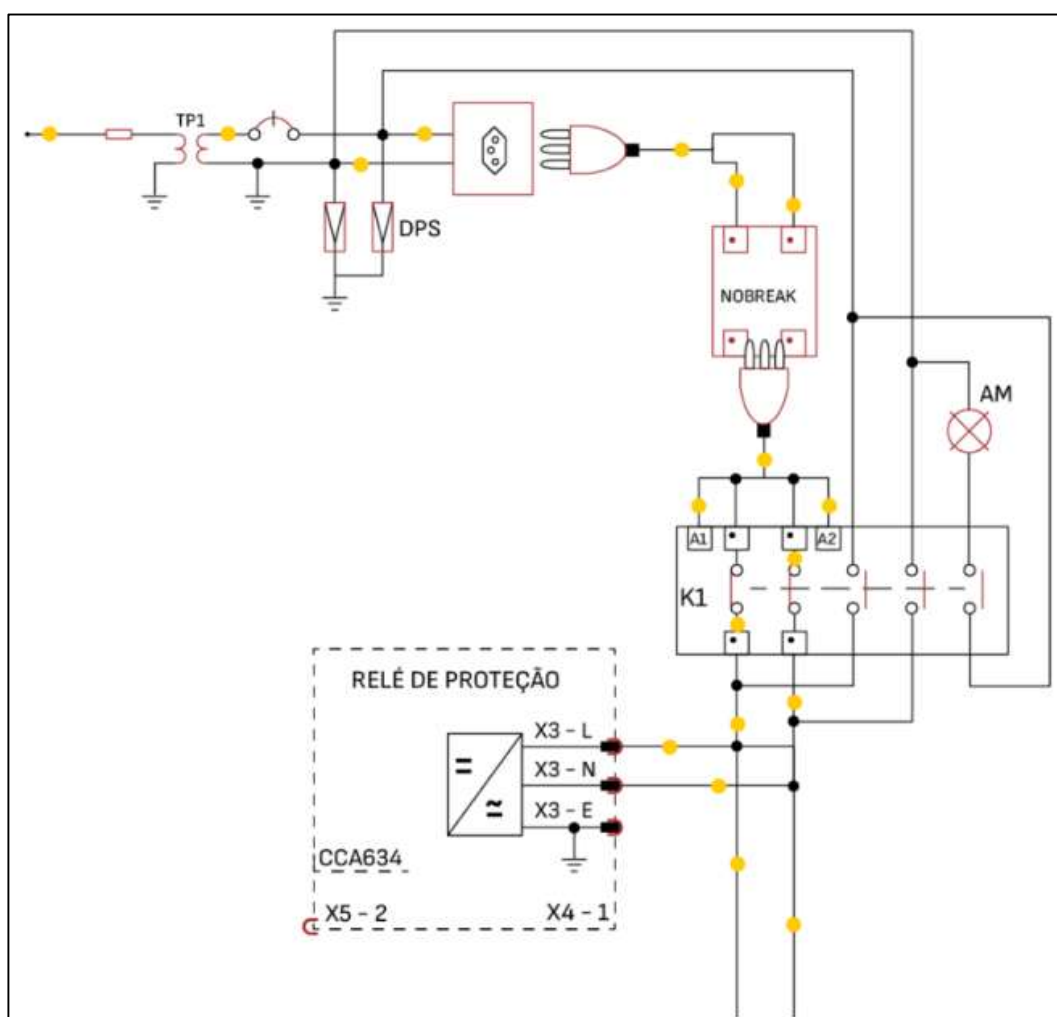
Na subestação, o relé de proteção deve ser alimentado por meio de um *no-break*, conforme definido na NBR 14039:2021. Salientando ainda que, esse deve ter autonomia mínima de duas horas em casos de queda de energia do sistema elétrico. Com isso, na manutenção preventiva, o estado de funcionamento do *no-break* também deve ser monitorado. O correto circuito de instalação do relé é apresentado na Figura 62, com sua alimentação pelo *no-break* passando por um contator que desligará caso o *no-break* apresente falha, e uma sinalização ou uma sirene irá disparar no painel. Mesmo durante a falha do *no-break* o relé continua sendo alimentado pela conexão do circuito pelos contatos normalmente fechados do contator, garantindo a proteção em tempo integral, conforme ilustra a Figura 63.

Figura 61 – Painel de comando à distância com relé de proteção



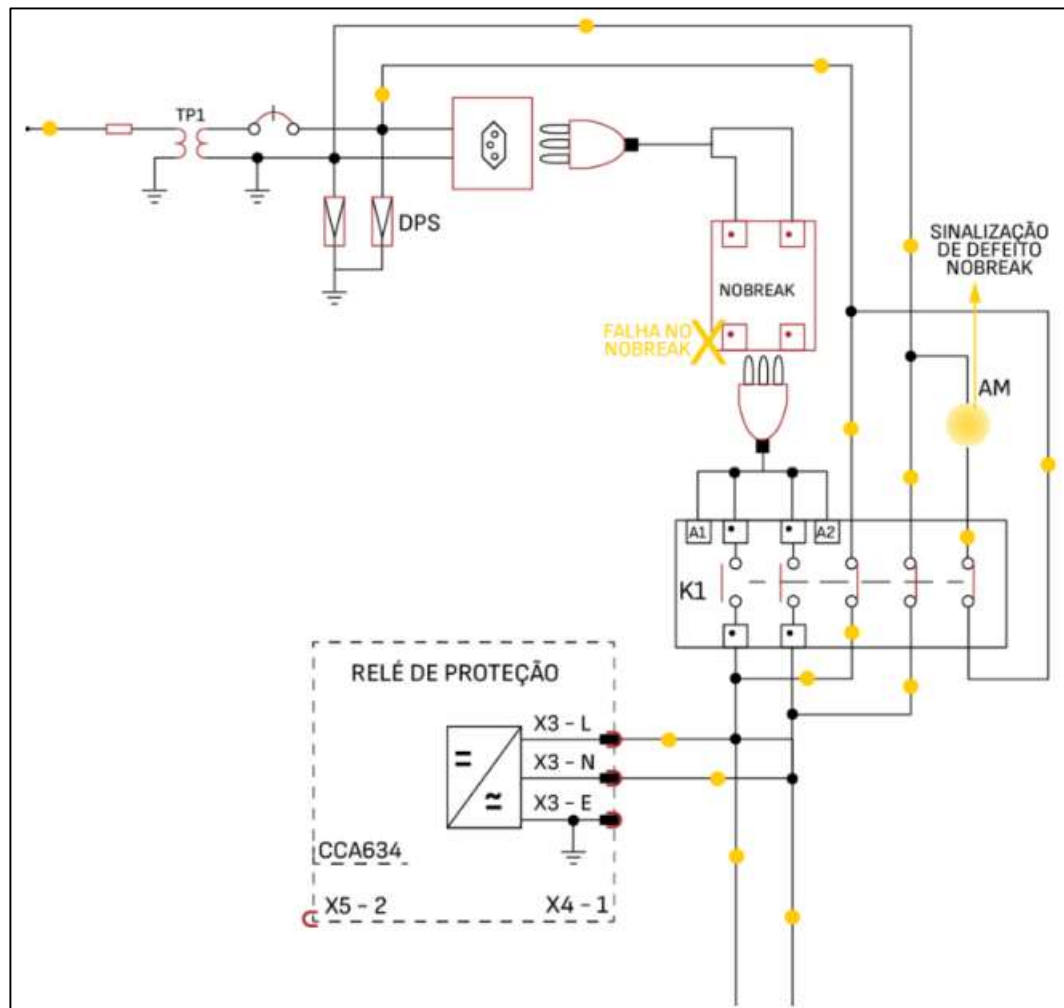
Fonte: MÉDIA TENSÃO® (2025).

Figura 62 – Circuito de instalação do relé de proteção com *no-break* em funcionamento



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

Figura 63 – Circuito de instalação do relé de proteção com *no-break* em falha



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

4.3.9 Transformadores para instrumentos

Os transformadores para instrumentos requerem o ensaio de relação de transformação com o instrumento TTR (*Transformer Turns Ratio*), ilustrado na Figura 64, além dos ensaios de resistência de isolamento e de resistência ôhmica dos enrolamentos. Os esquemas de ligação de cada ensaio estão demonstrados nas Figuras 65, 66 e 67, respectivamente.

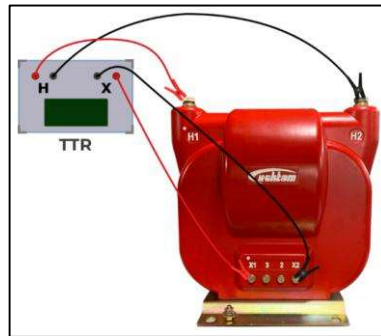
Os TPs e os TCs podem ser tanto de medição quanto de proteção, dependendo de sua classe de exatidão. Os erros máximos admissíveis na relação de transformação dos TPs são apresentados nas Tabelas 6 e 7. Para os TCs, os erros máximos admissíveis são apresentados nas Tabelas 8, 9, 10, 11 e 12.

Figura 64 – Instrumento TTR



Fonte: INSTRUM® (2025).

Figura 65 – Ensaio de relação de transformação com o instrumento TTR



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

Tabela 6 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TPs de medição

Classe	Erro de tensão (relação) ϵ_U $\pm\%$
0,1	0,1
0,2	0,2
0,5	0,5
1,0	1,0
3,0	3,0

Fonte: ABNT (2021, p.6).

Tabela 7 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TPs de proteção

Classe	Erro de tensão (relação) ϵ_U $\pm\%$
3P	3,0
6P	6,0

Fonte: ABNT (2021, p.8).

Tabela 8 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TCs de medição

Classe de exatidão	Erro de relação ± %			
	à corrente (% da nominal)			
	5	20	100	120
0,1	0,4	0,2	0,1	0,1
0,2	0,75	0,35	0,2	0,2
0,5	1,5	0,75	0,5	0,5
1	3,0	1,5	1,0	1,0

Fonte: ABNT (2021, p.16).

Tabela 9 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TCs de medição

Classe de exatidão	Erro de relação ± %				
	à corrente (% da nominal)				
	1	5	20	100	120
0,2 S	0,75	0,35	0,2	0,2	0,2
0,5 S	1,5	0,75	0,5	0,5	0,5

Fonte: ABNT (2021, p.16).

Tabela 10 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TCs de medição

Classe	Erro de relação ± %	
	à corrente (% da nominal)	
	50	120
3	3	3
5	5	5

Fonte: ABNT (2021, p.17).

Tabela 11 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TCs de proteção

Classe de exatidão	Erro de relação à corrente primária nominal
	± %
5P e 5PR	1
10P e 10PR	3

Fonte: ABNT (2021, p.19).

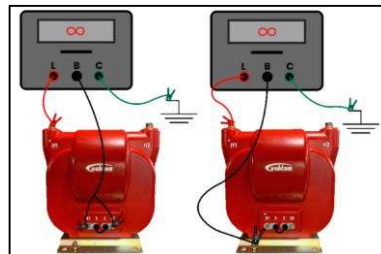
Tabela 12 - Erro máximo admissível de relação de transformação de TCs de proteção

Classe	À cor
	Erro de relação ±%
TPX	0,5
TPY	1,0
TPZ	1,0

Fonte: ABNT (2021, p.19).

Para os ensaios de resistência de isolamento, são realizados 3 ensaios: a medição de cada enrolamento em relação a terra e a medição entre o enrolamento de média tensão e o enrolamento de baixa tensão. O fabricante ABB® recomenda que os transformadores para instrumentos devem ter leituras acima de $1M\Omega$ por kV quando ensaiados a uma temperatura ambiente abaixo de $30^{\circ}C$, afirmando que a resistência diminui drasticamente com temperaturas mais altas (ABB®, 2004, p.17).

Figura 66 – Ensaio de resistência de isolamento com o instrumento megômetro

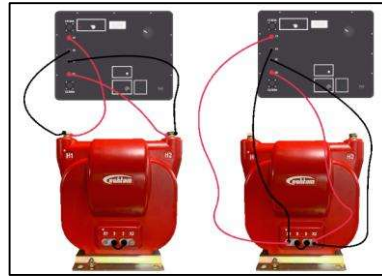


Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

O ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos dos TPs é apresentado na NBR 6855:2021, em seu item 11.5, recomendando o ensaio com o micromímetro, também conhecido por ponte de Kelvin, com o esquema de ligação ilustrado na Figura 67. Como critério de aprovação, a norma não informa valores máximos de resistência, facultando aos fabricantes especificar valores. Ainda informa que caso os valores não sejam especificados, a medição é meramente informativa.

Já ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos dos TCs é apresentado na NBR 6856:2021, em seu item 12.5, com as mesmas configurações e critérios de aprovação dos TCs.

Figura 67 – Ensaio de resistência dos enrolamentos primário e secundário com o instrumento micromímetro



Fonte: MESH ENGENHARIA® (2025).

4.3.10 Transformadores de potência

4.3.10.1 Transformadores a seco

Assim como nos transformadores para instrumentos, os ensaios executados em transformadores de potência a seco são: relação de transformação com o TTR; resistência de isolamento com o megômetro e resistência ôhmica dos enrolamentos com o micromímetro. Para os ensaios, o fabricante WEG® fornece os limites máximos aceitáveis, apresentados na Tabela 13. Anteriormente aos ensaios, os transformadores devem permanecer pelo menos 3 horas desligados em repouso e em temperatura ambiente, conforme recomenda a NBR 5356-1:2025 (ABNT, 2025, p.52).

Tabela 13 - Valores de referência para critério de aceitação de transformadores a seco

Tabela 04 - Valores de referência para critério de aceitação		
ITEM	DESCRIÇÃO	VALORES DE REFERÊNCIA
1	Relação de transformação do transformador;	$\pm 0,5\%*$
2	Resistência ôhmica dos enrolamentos do transformador;	Máximo 5% acima em comparação ao valor da medição de fábrica
3	Resistência do isolamento dos enrolamentos do transformador	AT-M: $\geq 1 \text{ M}\Omega/5\text{KV}$ AT-BT: $\geq 1 \text{ M}\Omega/5\text{KV}$ BT-M: $\geq 1 \text{ M}\Omega/2\text{KV}$
4	Resistência do isolamento de toda a fiação do painel de controle;	$\geq 0,5 \text{ G}\Omega / 500 \text{ Vcc}$
5	Programação dos monitores de temperatura	Conforme Esquema topográfico
6	Efetuar a simulação de atuação do monitor de temperatura do transformador.	Operação dos contatos conforme Diagrama

Fonte: WEG® (2025, p.26).

Para o ensaio de relação de transformação, ilustrado na Figura 68, é admissível um desvio máximo de +/-0,5%, e as conexões para os ensaios da transformação são apresentadas na Tabela 15. Já o ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos, ilustrado na Figura 70, admite um desvio máximo de +5% em comparação com o valor de medição na fábrica, ou seja, é necessário consultar a folha de dados do transformador para a conferência do valor de referência. Por último, o ensaio de resistência de isolamento dos enrolamentos, ilustrado na Figura 69, admitindo como razoáveis resistências acima de 1MΩ entre a MT e a massa, entre a MT e a BT e entre a BT e a massa, porém, nos dois primeiros ensaios com a aplicação de 5 kV como tensão de ensaio, e no último ensaio com a aplicação de 2 kV, com as conexões para os ensaios de resistência de isolamento apresentadas na Tabela 16. Também orienta que a resistência de isolamento do painel de controle deve ser maior ou igual a 0,5GΩ com a aplicação de tensão de ensaio de 500 V em corrente contínua, divergente ao que recomenda a NBR 5410:2004, que apresenta na Tabela 22 resistência de isolamento maior ou igual a 0,5MΩ para painéis de BT. O ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos deve ser referenciado para 75°C, conforme a equação:

$$R_t = R_m \cdot \left(\frac{T+Tr}{T+T_m} \right) \quad (13)$$

Onde:

R_t = resistência a temperatura de referência ;

R_m = resistência medida ;

T = 235°C para enrolamento de cobre (225°C para alumínio), conforme ABNT;

Tr = 75° (temperatura de referência);

T_m = temperatura do teste .

O relé de proteção térmica para transformadores a seco também deve ser parametrizado de acordo com a classe do material isolante de cada transformador. As classes do material isolante dos transformadores são apresentadas na Tabela 14, e a parametrização, neste trabalho, no item 4.3.11.

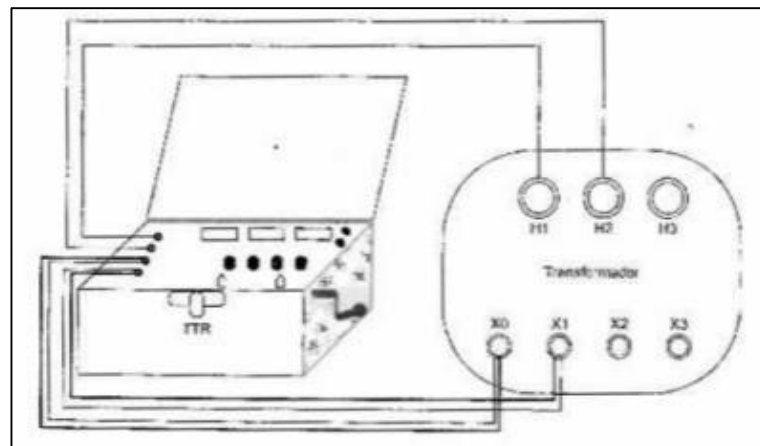
Tabela 14 - Limites de elevação de temperatura dos enrolamentos de transformadores a seco

Temperatura máxima do sistema isolante °C	Máxima temperatura do enrolamento °C	Elevação de temperatura média do enrolamento K °C	Temperatura de referência °C
105 (A)	95	60	80
120 (E)	110	75	95
130 (B)	120	80	100
155 (F)	145	100	120
180 (H)	170	125	145
200	190	135	155
220	210	150	175

NOTA 1 Recomenda-se que as medições sejam realizadas de acordo com a Seção 23.
 NOTA 2 Os valores da segunda coluna correspondem a Tabela 1 da IEC 60076-12:2008.
 NOTA 3 Os valores da terceira coluna correspondem a elevação da temperatura medida em °C.

Fonte: ABNT (2016, p.9).

Figura 68 – Ilustração de conexão para ensaio de relação de transformação com o instrumento TTR



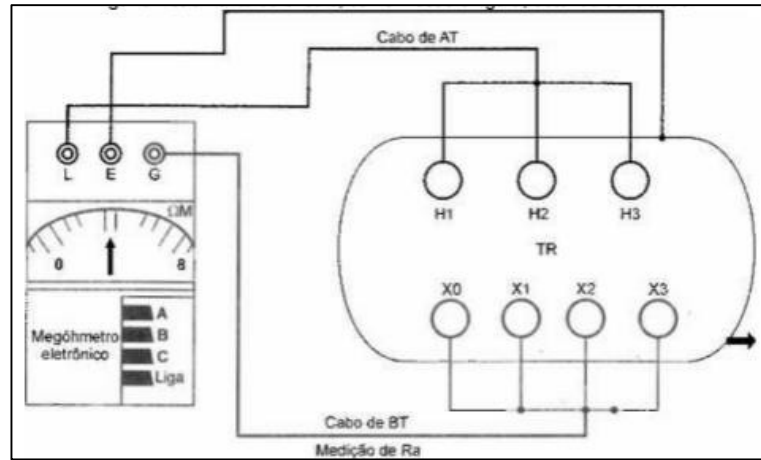
Fonte: Barros e Gedra (2009, p.142).

Tabela 15 - Conexões entre os enrolamentos de BT e MT para medição com o instrumento TTR

ENSAIO	Enrolamento conectado ao cabo	
	BAIXA	ALTA
1	X0 – X1	H1 – H2
2	X0 – X2	H2 – H3
3	X0 – X3	H1 – H3

Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 69 – Ilustração de conexão para ensaio de resistência de isolamento com o instrumento megômetro



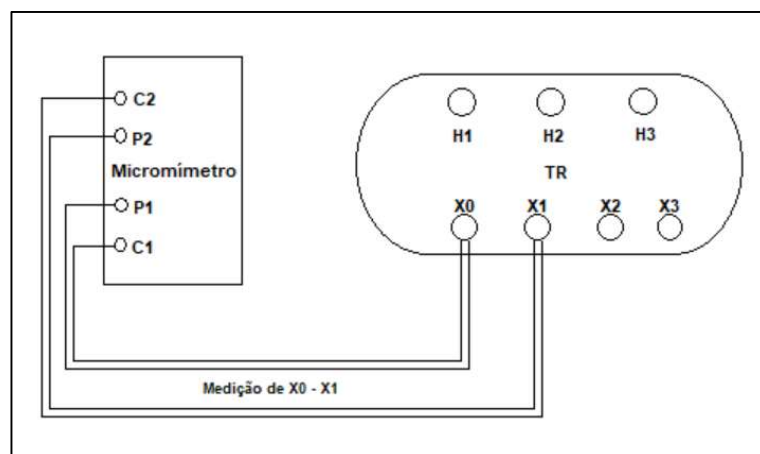
Fonte: Barros e Gedra (2009. p.138).

Tabela 16 - Conexões entre os enrolamentos de BT, MT e carcaça para medição com o instrumento megômetro

ENSAIO	Enrolamento conectado ao cabo			Isolação medida
	LINE	GUARD	EARTH	
1	Alta	Baixa	Carcaça	Ra
2	Alta	Carcaça	Baixa	Rab
3	Baixa	Alta	Carcaça	Rb

Fonte: Barros e Gedra (2009. p.140).

Figura 70 – Ilustração de conexão para ensaio de resistência dos enrolamentos primário e secundário com o instrumento micromímetro



Fonte: Autoria própria (2025).

Tabela 17 - Conexões entre os enrolamentos de BT e MT para medição com o instrumento micromímetro

ENSAIO	Enrolamento conectado ao cabo		Resistência medida
	C1 – P1	C2 – P2	
1	X0	X1	X0 – X1
2	X0	X2	X0 – X2
3	X0	X3	X0 – X3
4	H1	H2	H1 – H2
5	H2	H3	H2 – H3
6	H1	H3	H1 – H3

Fonte: Autoria própria (2025).

4.3.10.2 Transformadores a óleo

Assim como nos transformadores a seco, nos transformadores a óleo realiza-se os mesmos ensaios, porém, ensaios extras podem ser necessários, como a análise do óleo isolante e ensaio de fator de potência. A NBR 5356-1:2025 determina que os transformadores devem ser desenergizados por pelo menos 3 horas anteriores aos ensaios (ABNT, 2025, p.52).

A NBR 5356-1:2025 determina a tolerância para o ensaio de relação de transformação em $\pm 0,5\%$ do valor de cálculo da relação das espiras, com os ensaios realizados conforme as ligações da Figura 68 e a Tabela 15 (ABNT, 2025, p.47). Para o ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos, ilustrado na Figura 70 e com as ligações conforme a Tabela 17, realiza-se as medições e compara-se com os valores de fábrica, conforme a folha de dados de cada transformador. A WEG® recomenda um desvio máximo de +5% em comparação ao valor medido em fábrica, referenciado a 75°C conforme a equação 13. Já para o ensaio de resistência de isolamento, a ABB® recomenda que o valor das medições sejam igual ou superior a 250 MΩ, com as ligações para os ensaios conforme a Tabela 16 e a Figura 69. A norma não trata a resistência de isolamento como critério para aceitação ou rejeição do transformador, sendo um critério recomendado pelos fabricantes. O ensaio de fator de potência

também pode ser realizado em campo, utilizando um equipamento chamado tangente de delta, e os resultados devem ser comparados conforme a Tabela 18.

Tabela 18 - Características do óleo isolante

<i>Transformador</i>	<i>Condições do isolamento</i>		
	<i>Bom</i>	<i>Aceitável</i>	<i>Deve ser investigado</i>
Novo	DF < 0.5%	-	-
Antigo sob serviço	DF < 0.5%	0.5% < DF < 1%	DF > 1%
Todos os valores medidos a 20 °C			

Fonte: Paulino (2014).

O ensaio do óleo isolante é realizado em laboratório, e os resultados devem ser comparados com as Tabelas 19 e 21. Caso os resultados não sejam satisfatórios, o óleo isolante deve passar por procedimentos recomendados na Tabela 20.

Tabela 19 - Características do óleo isolante

Tabela 3 – Características do óleo isolante

Ensaio	Resultados Típicos			Valores - Limites							Método de ensaio	
	Óleo novo	Óleo Usado	Óleo novo	Óleo usado								
				Satisfatório		A recondicionar		A regenerar	Após tratamento			
				Até 230 kV	Acima	Até 230 kV	Acima		Até 230 kV	Acima		
Rigidez dielétrica (kV)	50 65 - 70	>40 - - >58	>40 >60 >32 >64	>30 >60 >24 >48	>35 >70 >27 >54	25 - 30 50 - 60 20 - 24 40 - 40	25 - 35 50 - 70 20 - 27 40 - 54	- - - -	>33 >66 >25 >50	>38 >76 >30 >60	ASTM D-877 NBR - 6869 ASTM D-1816 (004") ASTM D-1816 (008")	
Conteúdo de água (ppm)	10	15	<10	<25	<15	25 - 40	15 - 40	>40	<20	<15	Método Karl Fischer - ASTM D-1533 e PMB - 818	
Acidez (mgKOH/g de óleo)	0,03	0,1 - 0,2	0,05	<0,3	<0,1	-	-	>0,4	<0,1	-	ASTM D-974 MB - 101 ASTM D-664 MB - 494	
Tensão interfacial (N/m)	0,045	0,02 - 0,03	>0,04	>0,025	-	0,02 - 0,025	-	>0,020	>0,03	-	ASTM D-971 NBR 6234 ASTM D-2285	
Cor	0,5	1 - 1,5	<1,0	<3	-	3,0 - 4,0	-	>4	<2	-	ASTM D-1500 MB-351	
Fator de potência (%)	0,01 - 0,07 0,1	0,1 - 0,3 - - -	<0,05 <0,05 <0,3 -	0,5 - - -	-	0,5 - 1,5 - - -	-	>1,5 - - -	<0,1 - - -	-	20°C ASTM D-974 25°C ASTM D-974 100°C ASTM D-974 90°C VDE-370	

Nota: As colunas "óleo novo" referem-se a óleo novo tratado para colocação em transformadores.

Fonte: WEG® (2025, p.20).

Tabela 20 - Recomendações em caso de problemas no óleo isolante

ANEXO B – Recomendações em caso de problema no óleo isolante						
Tg a 90°C (%) ou FP a 100°C (%) (Fator de perdas dielétricos a 90 ou 100° C)	Rigidez	Teor de água	Acidez	TIF>20 mN/m a 25°	Recomendações	
Atende	Atende	Atende	Atende	Atende	Nenhuma	
			Atende	Não atende	Regeneração ou troca de óleo	
	Não atende	Atende	Atende	Não atende	–	Regeneração ou troca do óleo e limpeza da parte ativa
				Atende	Atende	Filetagem do óleo
		Atende	Não atende	Regeneração ou troca de óleo		
		Não atende	–	Regeneração ou troca de óleo		
		Não atende	Não atende	Atende	Atende	Secagem da parte ativa e de óleo
				Atende	Não atende	Secagem da parte ativa e regeneração ou troca de óleo
Não atende	–	–	–	–	Secagem da parte ativa e regeneração ou troca de óleo	
Não atende	–	–	–	–	Regeneração ou troca de óleo	

Notas:
a) Regeneração ou troca do óleo (o que for mais econômico);
b) Regeneração = tratamento com terra Fuller = tratamento químico com meio básico (por exemplo, metassilicatos) e/ou tratamento com meio absorvente sólido (por exemplo, argilas, bauxita ou carvão ativado).
O óleo assim tratado deve ser aditivado com 0,3% em massa de DBPC (dibutil terciário paracresol).

Fonte: WEG® (2025, p.25).

Tabela 21 - Valores de referência para análise cromatográfica do óleo isolante

ANÁLISE CROMATOGRÁFICA	MÉTODO	VALORES REFERÊNCIA
Hidrogênio - H ₂	NBR-7070	200 ppm
Oxigênio - O ₂	NBR-7070	20000 ppm
Nitrogênio - N ₂	NBR-7070	80000 ppm
Metano - CH ₄	NBR-7070	100 ppm
Monóxido de Carbono - CO	NBR-7070	500 ppm
Dióxido de Carbono - CO ₂	NBR-7070	5000 ppm
Etileno - C ₂ H ₄	NBR-7070	60 ppm
Etano - C ₂ H ₆	NBR-7070	60 ppm
Acetileno - C ₂ H ₂	NBR-7070	0 ppm
Total de Gases Combustíveis		
Total de Gases		

Fonte: Filtroil® (2018).

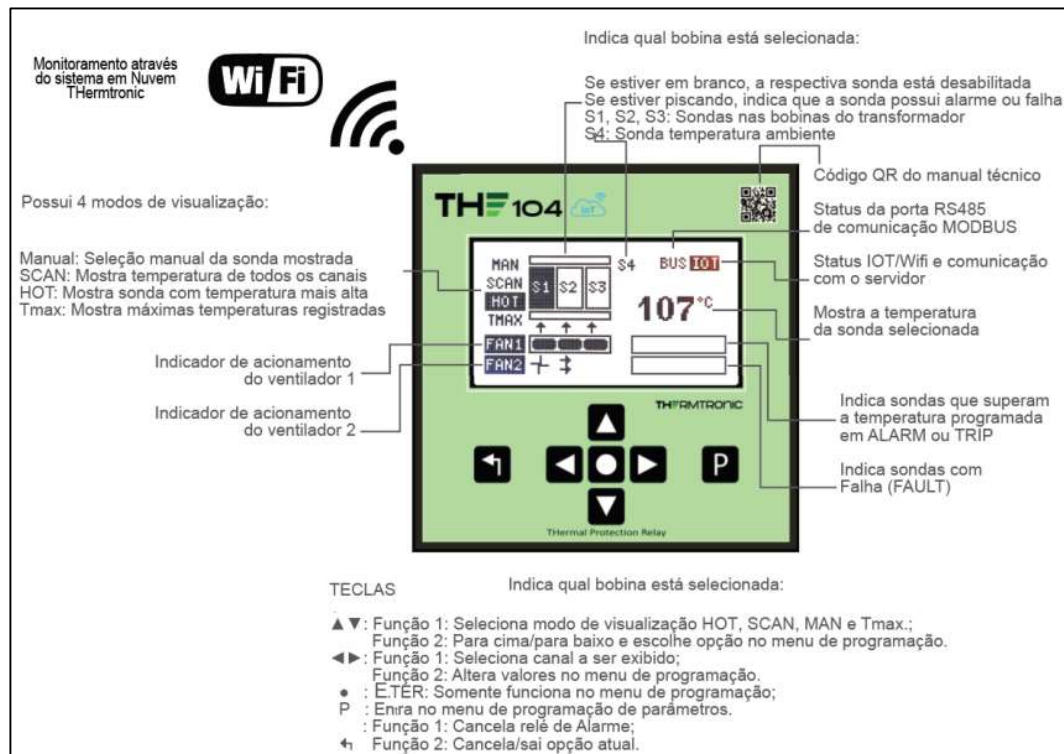
4.3.11 Relé térmico para transformadores a seco

A manutenção preventiva do relé térmico para transformadores a seco consiste em simplesmente inspecionar seu funcionamento, das sondas de temperatura PT100 e a sua parametrização, de acordo com as normas vigentes e as instruções do fabricante do transformador a seco. As funções e o display dos relés de proteção térmica para transformadores a seco variam de fabricante para fabricante. A parametrização do relé térmico para transformadores a seco deve ser inspecionada com a simulação de atuação de suas saídas, para garantir o correto funcionamento do relé. A Figura 71 exemplifica as funções e o display do relé de proteção térmica do fabricante THERMTRONIC® (THERMTRONIC®, p.3).

Este relé de proteção térmica em específico possui duas saídas de ventilação, o que é ideal para controle da temperatura ambiente e temperatura de operação do transformador em um mesmo relé, além das saídas de alarme e de trip. A WEG® recomenda a instalação dos transformadores de potência em subestações com temperatura inferior a 40°C, ou seja, a ventilação forçada da subestação deve ligar a uma temperatura próxima a 40°C e desligar a uma temperatura de 25°C, com uma margem de 15°C entre ligar e desligar, para evitar um liga e desliga frequente. (WEG®, p.14).

Já para a ventilação forçada para transformadores a seco, apresentada na Figura 24, utiliza-se critérios práticos de campo e os limites de temperatura apresentados na Tabela 14 para definir sua temperatura de acionamento, assim como para definir as temperaturas de alarme e trip. Exemplificando, um transformador a seco classe F (155°C) tem sua ventilação forçada ligada na temperatura de referência, que neste caso é de 120°C, e seu desligamento se dá com uma diferença de 15°C, ou seja, na temperatura de 105°C, justamente para evitar um liga e desliga frequente, assim como na ventilação forçada da subestação. A temperatura de alarme geralmente é ajustada para 10°C acima da temperatura da ventilação, ou seja, neste caso o ajuste correto é de 130°C. Por fim, a temperatura de trip é ajustada para 20° acima da temperatura da ventilação, que neste caso é de 140°C, 5°C abaixo da temperatura máxima do enrolamento. O trip, quando acionado, dispara um sinal para a abertura do disjuntor geral do QGBT, aliviando a carga do transformador e assim evitando seu sobreaquecimento.

Figura 71 – Funções e display do relé térmico para transformadores a seco THERMTRONIC®



Fonte: THERMTRONIC®.

4.3.12 Ventilação forçada para transformadores a seco

A ventilação forçada para transformadores a seco não exige muito serviço de manutenção preventiva. Basicamente, verifica-se seu estado de conservação e funcionamento, avaliando possíveis vibrações e ruídos anormais. Após, executa-se o reaperto de parafusos, limpeza com pincel e estopa e, por fim, pulverização com desengraxante dielétrico.

4.3.13 Ventilação forçada da subestação

A manutenção da ventilação forçada da subestação é executada com a verificação de seu funcionamento, limpeza e, se necessário, reaperto de parafusos. A limpeza deve ser feita com pano umedecido com água. Após essa primeira etapa, também pode ser pulverizado com desengraxante dielétrico.

4.3.14 Quadro Geral de Baixa Tensão

Segundo a NBR 5410:2004, a inspeção visual deve preceder os ensaios e deve acontecer com a instalação desenergizada. Com isso, primeiramente deve-se verificar o estado dos componentes do QGBT, atestando que não apresentam danos aparentes que comprometam o funcionamento e a segurança, além de verificar a integridade do QGBT, inspecionando eventuais degradações, como ferrugem. O QGBT obrigatoriamente deve conter chave para fechamento, adesivo de advertência na parte externa da porta, policarbonato de proteção das partes vivas e diagrama unifilar atualizado em um porta-diagrama no interior de sua porta (ABNT, 2004, p.163).

No QGBT, deve ser executado o reaperto das conexões, limpeza com pincel, aspirador de pó e estopa, pulverização com desengraxante dielétrico e ensaio de resistência de isolamento entre os barramentos de força e entre os barramentos de força e a carcaça. A Figura 72 ilustra o ensaio e a Tabela 22 apresenta os limites de resistência de isolamento conforme os níveis de baixa tensão.

Figura 72 – Ensaio de resistência de isolamento entre os barramentos de força com o instrumento megômetro



Fonte: WMTECH® (2024).

Tabela 22 - Valores mínimos de resistência de isolamento

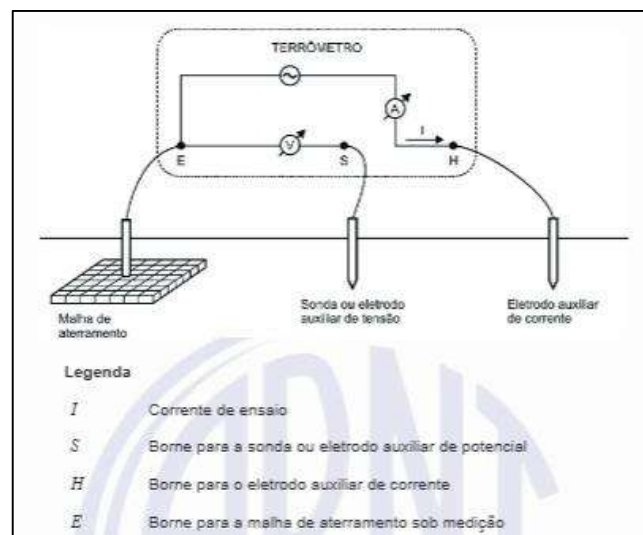
Tabela 60 — Valores mínimos de resistência de isolamento		
Tensão nominal do circuito V	Tensão de ensaio (V em corrente contínua)	Resistência de isolamento MΩ
SELV e extra-baixa tensão funcional, quando o circuito for alimentado por um transformador de segurança (5.1.2.5.3.2) e atender aos requisitos de 5.1.2.5.4	250	≥ 0,25
Até 500 V, inclusive, com exceção do caso acima	500	≥ 0,5
Acima de 500 V	1 000	≥ 1,0

Fonte: ABNT (2004, p.165).

4.3.15 Aterramento

A NBR 15749:2009 apresenta a medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento. No interior de uma subestação abrigada, encontramos o BEP, que é o ponto central de conexão de todos os condutores de proteção de uma edificação. É no BEP que é realizada a medição de resistência de aterramento, seguindo o método da queda de potencial descrito no item 6.1 da referida norma, utilizando o equipamento terrômetro, a fim de atestar a magnitude da resistência de terra (ABNT, 2009, p.5). A Figura 73 ilustra o método da queda de potencial, e a Figura 74 ilustra o equipamento terrômetro.

Figura 73 – Método da queda de potencial



Fonte: ABNT (2009, p.6).

Figura 74 – Equipamento terrômetro

Fonte: MEGABRAS® (2008).

4.3.16 EPIs e EPCs

De acordo com a NR-10, é obrigatório haver luvas isolantes, ilustradas na Figura 74, e estrados isolantes, ilustrados na Figura 76, para a realização de manobras nas subestações de MT. Segundo a ORION S.A., a periodicidade dos ensaios segue conforme a Tabela 23. A NBR 16295:2014 apresenta a Tabela 24, com as tensões de ensaios por classe de tensão das luvas e máxima corrente de fuga admissível. A Figura 75 apresenta um par de luvas sendo submetido a ensaio, sendo as luvas submersas em um tanque de água até o limite em que também têm de ser cheias com água em seu interior. A tensão de ensaio é aplicada em um eletrodo em seu interior, e o eletrodo de retorno fica submerso externamente. O período de ensaio é de 1 minuto após o equipamento atingir a tensão de ensaio especificada. O ensaio é bem-sucedido quando não houver sinais de centelhamento; a corrente de fuga não exceder os limites da norma; e se nenhum sinal de deterioração for visível na superfície (ABNT, 2014, p.8).

Semelhante às luvas isolantes, os estrados isolantes também passam por ensaios periódicos. A ASTM D178-01 apresenta a Tabela 25 com as tensões de ensaio por classe de tensão dos estrados isolantes. A Figura 77 apresenta um estrado isolante submetido a ensaio, colocado sobre uma placa metálica isolada da terra de tamanho maior que o estrado, e uma placa metálica menor colocada na parte superior. Aplica-se tensão de ensaio na placa superior e o retorno na placa inferior, com duração de 1 minuto após o equipamento atingir a tensão de ensaio especificada. Assim como o ensaio das luvas isolantes, o ensaio é considerado bem-sucedido

quando não existe sinais de centelhamento, a corrente de fuga não excede os limites convencionados e não há indícios de deterioração.

Tabela 23 - Periodicidade de ensaios de EPI e EPC

Periodicidade de reensaio	Condição
6 meses	Produtos em uso
12 meses	Produtos em estoque
Imediato	Sob suspeita de qualquer dano ao produto

Fonte: ORION S.A.® (2025.)

Figura 75 – Luvas isolantes



Fonte: ORION S.A.® (2025).

Tabela 24 - Especificações técnicas para o ensaio das luvas isolantes

Tabela 4 – Ensaio de prova e ensaio de rigidez dielétrica										
Classe de luvas ^d	Ensaio de CA						Ensaio de CC			
	Tensão máxima de uso kVrms	Tensão de prova kVrms	corrente máxima de fuga ^{b, c}				Tensão de rigidez dielétrica kVrms	Tensão máxima de uso Média kV	Tensão de prova Média kV	Tensão de rigidez dielétrica Média kV
			Comprimento da luva							
			mm							
		280	360	410	≥ 460					
00	0,5	2,5	10	12	N/a ^a	N/a	5	0,75	4	8
0	1	5	10	12	14	16	10	1,5	10	20
1	7,5	10	N/a	14	16	18	20	11,25	20	40
2	17	20	N/a	16	18	20	30	25,5	30	60
3	26,5	30	N/a	18	20	22	40	39,75	40	70
4	36	40	N/a	N/a	22	24	50	54	60	90

^a N/a = Não aplicável.

^b As luvas que durante os ensaios mostrarem valores de corrente de fuga igual ou menor que os valores indicados na Tabela 4 terão, durante o uso normal, valores de corrente de fuga reais muito mais baixos que o limite inicial de fibrilação ventricular. Isto é porque a região de contato com a água durante estes ensaios é muito maior que a região de contato da mão dentro da luva e a região de contato da luva com as partes elétricas de linha viva do equipamento manuseado durante o uso normal. Além disso, a tensão do ensaio de prova é mais alta que a tensão de uso máxima recomendada.

^c Para os ensaios de tipo e de amostragem que necessitam de condicionamento para absorção de umidade, a corrente de fuga fornecida pela Tabela 5 deve ser acrescida em 2mA.

^d Consultar o Anexo D para a seleção da classe das luvas.

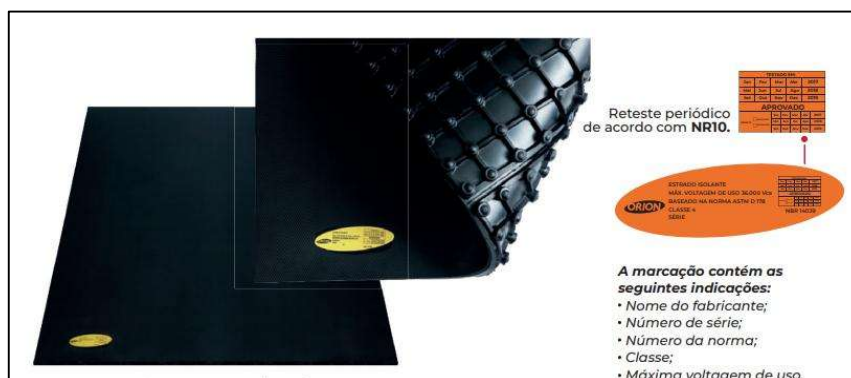
Fonte: ABNT (2014, p.8).

Figura 76 – Ensaio de luvas isolantes com o instrumento Hypot



Fonte: HI POfest® (2025).

Figura 77 – Estrados isolantes



Fonte: ORION S.A.® (2025).

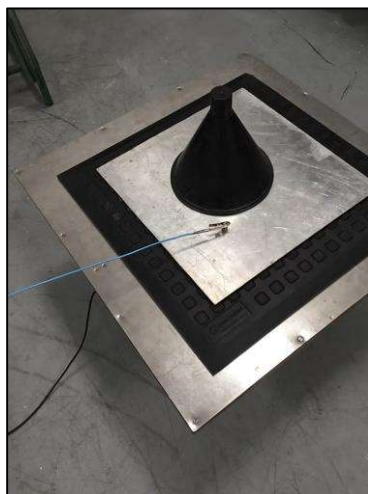
Tabela 25 - Especificações técnicas para ensaio dos estrados isolantes

Class of Insulating Matting	Nominal Maximum		
	Use Voltage ^A Phase-Phase ac rms, max	AC Proof-Test Voltage, rms V	DC Proof-Test Voltage, avg, V
0	1 000	5 000	20 000
1	7 500	10 000	40 000
2	17 000	20 000	50 000
3	26 500	30 000	60 000
4	36 000	40 000	70 000

^AExcept for Class 0 equipment, the maximum use voltage is based on the following formula:
Maximum use voltage (maximum nominal design voltage) 0.95 ac proof-test voltage – 2000

Fonte: ASTM International (2025, p.2).

Figura 78 – Ensaio de estrados isolantes com o instrumento Hypot



Fonte: HI PTest® (2025).

4.3.17 Repelente eletrônico para roedores

A manutenção do repelente eletrônico para roedores consiste na verificação de seu LED de funcionamento e limpeza com pano seco.

4.3.18 Iluminação de emergência

Segundo a NBR 10898:2023, a iluminação de emergência deve ter uma autonomia mínima de duas horas, então, na manutenção preventiva da subestação, deve-se realizar o teste de autonomia (ABNT, 2023, p.5).

Além disso, o fabricante SEGURIMAX® recomenda que, a cada 90 dias, seja realizado um ciclo de descarga completa e nova carga, preservando assim a vida útil da luminária (SEGURIMAX, 2025).

Por fim, deve-se realizar a limpeza completa das luminárias de emergência da subestação utilizando pano seco.

4.3.19 Boas práticas na manutenção

A aplicação de desengraxante dielétrico em todo o conjunto de média tensão é vista como uma boa prática de engenharia para o aumento do MTBF. O

produto desengraxa, lubrifica, repele umidade e impermeabiliza, além de promover proteção anticorrosiva para os contatos elétricos, evitando o uso de estufas para repelir a umidade da subestação. Isso mitiga as chances de falhas e aumenta a periodicidade entre manutenções preventivas.

Antes da aplicação do produto, é necessária a desmontagem das conexões, limpeza de todo o conjunto utilizando pincel, pano seco e aspirador de pó. Após esta etapa, aplica-se o produto por pulverização em todo o conjunto, formando uma camada protetora. Por último, aguarda-se por cerca de 15 minutos a secagem do produto antes da remontagem das conexões (WURTH®, 2025).

Este fabricante em específico garante uma rigidez dielétrica de 40 kV, sendo o líquido incolor e insolúvel em água, podendo inclusive ser aplicado em QGBT e painéis energizados. A Figura 79 ilustra o desengraxante dielétrico de fabricação da empresa WURTH®, e a Figura 80, de autoria própria, mostra um operador aplicando o produto em um transformador a seco carenado.

Figura 79 – Desengraxante dielétrico



Fonte: WURTH® (2025).

Figura 80 – Aplicação de desengraxante dielétrico por pulverização



Fonte: Autoria Própria (2024).

4.3.20 Reenergização da subestação

De acordo com a NR-10, com a finalização da manutenção preventiva, as ferramentas, utensílios e equipamentos devem ser retirados do interior da subestação, e as grades de proteção dos cubículos devem ser novamente postas, com seus respectivos aterramentos conectados. As atividades a serem realizadas, sequencialmente, são:

- a) A retirada de todos os trabalhadores não envolvidos no processo de reenergização da zona de trabalho;
- b) Remoção do aterramento temporário da entrada de energia da subestação, ilustrado na Figura 43;
- c) Desbloquear os disjuntores e retirar as placas de aviso de manutenção;
- d) Fechar as chaves seccionadoras, solicitar e aguardar a concessionária para o fechamento das chaves fusíveis;
- e) Após a concessionária fechar as chaves fusíveis, religar o disjuntor de MT e, após, religar os disjuntores gerais dos QGBTs.

Após esta etapa, finaliza-se a manutenção preventiva da subestação de MT com a emissão de relatório e laudos, que deverão ser arquivados para comparação com relatórios e laudos anteriores e posteriores, a fim de investigar degradação parcial em algum componente da subestação.

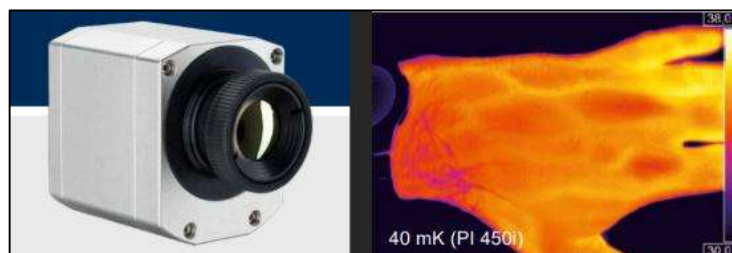
4.4 Manutenção Prescritiva

O conceito de manutenção prescritiva surgiu com a indústria 4.0, devido à crescente evolução dos processos produtivos, e cada vez mais a busca por alta lucratividade dos negócios. Com isso buscou-se técnicas de manutenção mais desenvolvidas para evitar paradas não programadas. Para tanto, a indústria 4.0 revolucionou transformando a manutenção preditiva em prescritiva desenvolvendo recursos como sensores tecnológicos e mais precisos, internet das coisas (IoT), big data, cloud server, machine learning, inteligência artificial e os sistemas supervisórios.

A manutenção prescritiva se destaca pelo fato de manter a disponibilidade máxima dos ativos, proporcionando a previsão de possíveis falhas que podem afetar os processos produtivos. Com o aprendizado de máquina, a manutenção prescritiva é baseada nos dados gerados pelos equipamentos ao longo do tempo a por meio de sensores. Ao armazenar esses dados, o sistema entende quando surgem anormalidades no funcionamento das máquinas, e com isso auxilia na tomada de decisão, como o próprio nome diz, ela prescreve.

Para exemplificar a sensorização em uma SE de MT, a Figura 71 ilustra o relé de proteção térmica para transformadores a seco, em um modelo com conexão ao sistema IoT. De mesmo modo, as Figuras 81 e 82 ilustram uma câmera termográfica e um analisador de energia permanente, respectivamente, que também conectam com o sistema IoT e são possíveis de serem monitorados por meio de sistemas supervisórios.

Figura 81 – Câmera termográfica de monitoramento remoto



Fonte: OPTRIS® (2025).

Figura 82 – Analisador de energia permanente



Fonte: ISSO® (2025).

5 COMENTÁRIOS FINAIS

O trabalho foi idealizado para servir como um manual de instruções em manutenção de subestações de MT até 36,2 kV, apresentando detalhes de cada componente. Durante a investigação do estudo foram encontradas muitas dificuldades com relação as normativas que regem os ensaios, sendo que às vezes mais de uma norma trata do mesmo assunto. Nessa perspectiva, a pesquisa na literatura tradicional com autores renomados foi de suma importância para a finalização deste trabalho.

Essa dissertação abordou desde a fundamentação teórica, os componentes de uma subestação de MT, demonstrando indicadores de manutenção para a confecção da periodicidade do plano de manutenção, explanou medidas preventivas para os profissionais que atuam na linha de frente e elucidou um apanhado de manutenção preventiva nos componentes de uma subestação de MT, passando por outros tipos de manutenções para exemplificar o que existe no mercado atual e o que pode se tornar as manutenções em um futuro próximo.

Mesmo já trabalhando na área de manutenção de subestações, o aprendizado é de grande valia, pois a execução dos serviços exige embasamento teórico, que por muitas vezes profissionais habilitados não detém o conhecimento específico para a execução dos trabalhos. Uma das surpresas foram os testes de isolamento no QGBT por exemplo, teste este que nunca havia realizado em não tinha conhecimento de sua realização.

Como sugestão para trabalhos futuros, propõe-se a investigação de um plano de manutenção preventiva para subestações de extra alta tensão, haja vista que esses sistemas são mais complexos e requerem um estudo mais aprofundado para tanto.

REFERÊNCIAS

ABB. **Instrument Transformers** - Technical Information and Application Guide. Pinetops, 2004.

ABRADEE. **Se Ligue! - Campanha Nacional Faz Alerta Para Acidentes Com a Rede Elétrica**. Disponível em: <https://abradee.org.br/se-ligue-campanha-nacional-faz-alerta-para-acidentes-com-a-rede-eletrica/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **D 178**: Standard specification for rubber insulating matting. 1 ed. Pennsylvania: ASTM, 2001.

ANEEL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Procedimentos de Distribuição de Energia Elétrica no Sistema Elétrico Nacional – PRODIST**: Módulo 8 – Qualidade da Energia Elétrica. Brasília: ANEEL, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT**: Sobre a normalização. Disponível em: <https://abnt.org.br/normalizacao/sobre-a-normalizacao/>. Acesso em: 19 nov. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 14039**: Instalações elétricas de média tensão, de 1,0 kV a 36,2 kV. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 96 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5462**: Confiabilidade e manutenibilidade. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 1994. 37 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5410**: Instalações elétricas de baixa tensão. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. 209 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15749**: Medição de resistência de aterramento e de potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2009. 49 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16295**: Luvas de material isolante (IEC 60903:2002, MOD). 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 67 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 5356-11**: Transformadores de potência. Parte 11: Transformadores do tipo seco — Especificação. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2016. 47 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/IEC 17025**: Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 32 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 17094-3**: Máquinas elétricas girantes. Parte 3: Motores de indução trifásicos — Métodos de ensaio. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2018. 121 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 61869-2**: Transformadores para instrumento. Parte 2: Requisitos adicionais para transformadores de corrente. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 68 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 61869-3**: Transformadores para instrumento. Parte 3: Requisitos adicionais para transformadores de potencial indutivos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 26 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6855**: Transformador de potencial indutivo com isolamento sólida para tensão máxima igual ou inferior a 52 kV: Especificação e ensaios. 4 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 63 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 6856**: Transformador de corrente com isolamento sólida para tensão máxima igual ou inferior a 52 kV: Especificação e ensaios. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2021. 80 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR IEC 61000-4-30**: Compatibilidade electromagnética (EMC) Parte 4-30: Técnicas de ensaio e medição — Métodos de medição de qualidade de energia. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 71 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 10898**: Sistema de iluminação de emergência. 3 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 39 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 7287**: Cabos de potência com isolamento extrudada de polietileno reticulado (XLPE) para tensões de 1 kV a 35 kV — Requisitos de desempenho. 4 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023. 33 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/IEC 60903**: Trabalho sob tensão elétrica — Luvas isolantes elétricas. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 57 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 9001**: Sistemas de gestão da qualidade — Requisitos. 1 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 30 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 14224**: Indústrias de petróleo — Coleta e intercâmbio de dados de confiabilidade e manutenção para equipamentos. 2 ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2024. 287 p.

BELLEZA, Kevin C. **PROCEDIMENTOS E TESTES DE MANUTENÇÃO ELÉTRICA EM SUBESTAÇÕES ABRIGADAS DE 13,8 KV**. 120f. 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Amazonas, 2021. Disponível em: https://riu.ufam.edu.br/bitstream/prefix/5902/6/TCC_KevinCardenas.pdf. Acesso em: 18 jun. 2025.

BRANCO FILHO, Gil. **A organização, o planejamento e o controle da manutenção**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2008.

BRASIL. **Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977**. Institui a "Anotação de Responsabilidade Técnica" na prestação de serviços de engenharia, de arquitetura e agronomia; autoriza a criação, pelo Conselho Federal de Engenharia, Arquitetura e Agronomia - CONFEA, de uma Mútua de Assistência Profissional; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6496.htm. Acesso em: 06 ago. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-01**: Disposições gerais e gerenciamento de risco ocupacionais. 25 mar. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-01-atualizada-2024-i-1.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-04**: Serviços especializados em segurança e em medicina do trabalho. 3 ago. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-04-atualizada-2023.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-06**: Equipamento de proteção individual. 16 jan. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-06-atualizada-2025-ii.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-09**: Avaliação e controle das exposições ocupacionais á agentes físicos, químicos e biológicos. 07 out. 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-09-atualizada-2021.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 10**: Segurança em instalações e serviços em eletricidade. 30 jul. 2019. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-10.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 12**: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. 21 mar. 2024. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-12-atualizada-2025.pdf>. Acesso em: 1 set. 2025.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 16**: Atividades e operações perigosas. 22 ago. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/normas-regulamentadora/normas-regulamentadoras-vigentes/nr-16-atualizada-2025.pdf>.

Acesso em: 1 set. 2025

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 35**: Trabalho em altura. 28 dez. 2025. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/NR35atualizada2023.pdf>.

Acesso em: 1 set. 2025

CELESC. Centrais Elétricas de Santa Catarina. **N-321-0002**: Fornecimento de Energia Elétrica em Tensão Secundária de Distribuição. 10 jul. 2019. Disponível em: <https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/padrao-entrada/N3210001-Fornecimento-Energia-Eletrica-Tensao-Secundaria.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

CELESC. Centrais Elétricas de Santa Catarina. **I-332-0020**: Aterramento temporário para redes de baixa e média tensão. 28 jun. 2024. Disponível em:

<https://www.celesc.com.br/arquivos/normas-tecnicas/especificacao-tecnica/I3320020-ATERRAMENTO-TEMPORARIO.pdf>. Acesso em: 29 dez. 2025.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **ND-5.3**: Fornecimento de Energia Elétrica em Média Tensão: Rede de Distribuição Aérea ou Subterrânea. 06 set.

2023. Disponível em: https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2023/09/nd5_3_000001p.pdf. Acesso em: 19 jun. 2025.

CEMIG. Companhia Energética de Minas Gerais. **ND-4.15**: Proteção de Sobrecorrentes do Sistema de Distribuição de Média Tensão da Cemig. 06 nov.

2017. Disponível em: https://www.cemig.com.br/wp-content/uploads/2022/03/nd_4_15_000001p.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

COMANDO. **A energia sob controle**: Catálogo 2025. Disponível em: <https://comandopaineis.com.br/3d-flip-book/catalogo/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

COMERCIAL FIRE. **Produtos para a prevenção e combate a incêndios**: Do abrigo à capa para extintores. Disponível em:

<https://www.comercialfire.com.br/pdf/catalogo-comercial-fire-completo.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

CONFEA. **Anotação de Responsabilidade Técnica - ART**. Disponível em:

<https://www.confear.org.br/servicos-prestados/anotacao-de-responsabilidade-tecnica-art>. Acesso em: 04 set. 2025.

ELETROTRAFO. **Terminação/Mufla Contrátil A Frio QT-LII 12/20kV 800/1000mm² Cód. 7626 – 3M**. Disponível em: <https://www.eletrafo.com.br/terminacao-mufla-ponteira-a-t-contratil-a-frio-qt-iii-7626-ate-12-20kv-800-1000mm2-3m-f-l-02190062/p?srsId=AfmBOoqwkTy8KzeVu2nbXDEYjOJS5OxY2soevqQAq9SiWilGdfmkp4XD>.

Acesso em: 20 nov. 2025.

FECOMERCIO.SP. **Prejuízos com a falta de energia em São Paulo estão perto de somar R\$ 2 bilhões.** Disponível em: <https://www.fecomercio.com.br/noticia/prejuizos-com-falta-de-energia-em-sao-paulo-estao-perto-de-somar-r-2-bilhoes>. Acesso em: 10 maio 2025.

FIERGS. **Indústria Inteligente: O futuro das manutenções: Manutenção Prescritiva.** Porto Alegre: FIERGS, 7 de mai. 2020. Disponível em: <https://www.fiergs.org.br/industria-inteligente/artigo-o-futuro-das-manutencoes-manutencao-prescritiva>. Acesso em: 20 nov. 2025.

GAMBOA, Luis R. A. **Ensaio Elétricos em Equipamentos de Subestações e Usinas.** Apostila do Curso de Ensaio Elétricos em Equipamentos de Subestações e Usinas, Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento, LACTEC, 2003.

GURSKI, Carlos Alberto. **Curso de formação de operadores de refinaria: noções de confiabilidade e manutenção industrial.** Curitiba: PETROBRAS: UnicenP, 2002. 24 p.

HI POTEST. **Trabalhos selecionados.** Disponível em: <https://www.hi-potest.com.br/galeria?lightbox=dataltm-j2nd40o35>. Acesso em: 04 set. 2025.

HI POTEST. **Trabalhos selecionados.** Disponível em: <https://www.hi-potest.com.br/galeria?lightbox=dataltm-j2nd40o3>. Acesso em: 04 set. 2025.

INOVARUM. **Inspeção e Laudo em subestações de energia elétrica.** Disponível em: <https://inovarum.net/2017/10/20/inspecao-e-laudos-em-subestacoes-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 08 set. 2025.

INSTRUM. **Megôhmetro Digital 15KV Modelo: DMG 15Ki** Marca: INSTRUM. Disponível em: <https://inovarum.net/2017/10/20/inspecao-e-laudos-em-subestacoes-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 10 set. 2025.

INSTRUM. **HIPOT 120 KV 5 mA DC INSTRUM PARA TESTE EM CABOS CLASSE 34.5 KV.** Disponível em: <https://inovarum.net/2017/10/20/inspecao-e-laudos-em-subestacoes-de-energia-eletrica/>. Acesso em: 10 set. 2025.

INSTRUM. **Micro-Ohmímetro Digital 100A Modelo: MICROHM-100** Marca: INSTRUM. Disponível em: <https://www.instrumbrasil.com.br/eletrica/micro-ohmimetro/micro-ohmimetro-100-a-instrum-microhm-100.phtml>. Acesso em: 10 set. 2025.

INSTRUM. **Medidor de relação de transformadores TTR 2000i.** Disponível em: <https://www.instrumbrasil.com.br/eletrica/ttr/medidor-de-relacao-de-transformacao-instrum-ttr-2000-i.phtml>. Acesso em: 10 set. 2025.

ISSO. **Analizador de energia ISSO BLACK BOX MP6000A.** Disponível em: <https://isso.digital/produto/275/1#gallery-1>. Acesso em: 08 set. 2025.

ISSO. **Analizador de energia ISSO - BLUE BOX F5 2000AB.** Disponível em: <https://isso.digital/produto/309/1#gallery-1>. Acesso em: 08 set. 2025.

MAMEDE FILHO, João. **Manual de equipamentos elétricos**. 4. ed. Rio de Janeiro: LCT – Livros Técnicos e Científicos Editora, 2013.

MÉDIA TENSÃO. **Epi's NR-10**. Disponível em: <https://www.mediatensao.com.br/produtos/cat/epis-nr10/page/4/>. Acesso em: 1 set. 2025.

MÉDIA TENSÃO. **Painel de Proteção Indireta Conforme NBR 14039**. Disponível em: <https://www.mediatensao.com.br/produto/painel-de-protecao-indireta-conforme-nbr-14039/>. Acesso em: 1 set. 2025.

MÉDIA TENSÃO. **Vergalhão de Cobre 3/8" 1/2" e 5/8"**. Disponível em: <https://www.mediatensao.com.br/wp-content/uploads/2024/09/16666.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

MEGABRAS. **Terrômetro Digital MTD2000e**. Disponível em: <https://www.megabras.com/pt-br/produtos/terrometro/terrometro-digital-MTD2000e.php>. Acesso em: 22 set. 2025.

MEGGER. **Insulation resistance testing of surge/lightning arresters**. Disponível em: [https://www.tunasdielektrika.com/v2/Pdfs/megger/application_note/IRT%20of%20Surge%20Arresters%20-%20App%20Note%20-\(FINAL\).pdf](https://www.tunasdielektrika.com/v2/Pdfs/megger/application_note/IRT%20of%20Surge%20Arresters%20-%20App%20Note%20-(FINAL).pdf). Acesso em: 29 set. 2025.

MEGGER. **A Stitch In Time - The Complete Guide to Electrical Insulation Testing**. Norristown, 2017.

MESH ENGENHARIA. **Terminações de Cabos de Média Tensão**. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/04/14/terminacoes-de-cabo-de-media-tensao/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MESH ENGENHARIA. **Ensaio em Chaves Seccionadoras**. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/03/03/ensaio-em-chaves-seccionadoras/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MESH ENGENHARIA. **Ensaio de Para-Raios**. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/03/29/ensaio-de-para-raios/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MESH ENGENHARIA. **Ensaio de Resistência de Contato em Disjuntores**. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/03/02/ensaio-de-resistencia-de-contato-em-disjuntores/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MESH ENGENHARIA. **Ensaio de Resistência de Isolamento**. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/02/23/ensaio-de-resistencia-de-isolamento/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MESH ENGENHARIA. **Ensaio em Transformadores de Potencial**. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/02/14/ensaios-em-transformadores-de-potencial/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MESH ENGENHARIA. **Equipamentos utilizados em Mant de SE de MT**. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/09/27/equipamentos-utilizados-em-mant-de-se-de-mt/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MESH ENGENHARIA. **Manutenção em Transformadores a seco**. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/03/23/manutencao-em-transformadores-a-seco/>. Acesso em: 15 ago. 2025.

MESH ENGENHARIA. **Emendas de Cabo de Média Tensão**. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/06/23/emendas-de-cabo-de-media-tensao/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

MESH ENGENHARIA. **Fusível HH**. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/04/20/fusivel-hh/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

MESH ENGENHARIA. **Miscelânea em Subestação**. Disponível em: <https://meshengenharia.com/2023/03/15/miscelania-em-subestacao/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

MOBLEY, R. Keith. **Maintenance Engineering Handbook**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

ODATA. **Downtime em data center: o que é e porque acontece**. Disponível em: <https://odatacolocation.com/blog/downtime-em-data-center-o-que-e-e-por-que-acontece/>. Acesso em: 19 jun. 2025.

OPTRIS. **Operator's Manual - Optris® PI 400i/ 450i/ 450i G7/ 640i/ 640i G7/ 05M/ 08M/ 1M: Infrared camera**. Indianápolis, 2007.

ORION. **Isolantes de Borracha**. Disponível em: <https://orionsa.com.br/wp-content/uploads/2023/09/Catalogo-Isolantes-de-Borracha-FR-721-025-00.pdf>. Acesso em: 22 set. 2025.

PAULINO, Marcelo E. de C. **O SETOR ELÉTRICO: Avaliação do isolamento em transformadores de potência: Ensaio de perdas e capacitância**. São Paulo, São Paulo, ed 103, p. 164, ago. 2014.

PEXTRON. **Manual de Operação - URP 1439TU VERSÃO - 1.03: 27 / 27-0 / 47 / 50 / 50N / 51 / 51N-GS / 59 / 79 / 81 / 86**. Berlin, 2024.

QGBT FINALIZADO – ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO. 1 vídeo (2:24s). Espírito Santo: Weslei, 15 dez. 2023. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=qdPP25tWXsQ>. Acesso em: 22 set. 2025.

RUMO. **Análise Preliminar de Risco – APR**. Disponível em: <https://rumolog.com/wp-content/uploads/2023/10/05-APR-Analise-Preliminar-de-Risco.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2025.

RUMO. **Análise Preliminar de Risco – APR.** Disponível em: <https://rumolog.com/wp-content/uploads/2021/09/PERMISSAO-DE-TRABALHO.pdf>. Acesso em: 13 ago. 2025.

SEGURIMAX. **Bloco Autônomo de Emergência 1200, 2200, 3000 Lúmens - Compact.** Gaspar, 2025.

SENNER. **Isoladores.** Disponível em: <https://senner.me/isoladores/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

SENNER. **Chaves Seccionadoras.** Disponível em: <https://senner.me/chaves-seccionadoras/>. Acesso em: 20 nov. 2025.

SCHLICKMAN, Sérgio. **Treinamento técnico - Manutenção: ABB-BL-0099.** Blumenau, 2015.

SIEMENS. **3AF 01 – Disjuntor a Vácuo Externo 36 kV.** Disponível em: <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:bea30eda-b6b4-4f16-95a5-5c12a139837e/20181126-Operating-Instructions-Manual-3AF-Outdoor-Vacuum-Switchgear-36-kV-PT.pdf>. Acesso em: 22 set. 2025.

TAMURA. **Transformadores de Corrente e Transformadores de Potencial.** Massaranduba, 2025.

THERMTRONIC. **TH440-1800: Sistema de Ventilação Forçada.** Blumenau, 2025.

THERMTRONIC. **Manual de uso: Controlador de Temperatura e Proteção com Monitoramento Remoto.** Disponível em: <https://cdn.omie.com.br/attach/d34785f2b893aa4992c4ecf1780e166d/Manual%2B-%2BTH104IoT%2BV6.0%2B-%2BFT%2BP-C-02%2B04%2B%2528port.%2529%2B-%2BV0.pdf?AWSAccessKeyId=AKIA4INFFOTWTGEJRBL5&Expires=1764294190&Signature=SExnJfXvUM3UcZe%2Fu1qIhzMAGeE%3D>. Acesso em: 20 nov. 2025.

TRACTIAN. **8 Indicadores de manutenção que são indispensáveis (MTBF, MTTR, etc).** Disponível em: <https://traction.com/blog/indicadores-de-manutencao>. Acesso em: 12 ago. 2025.

VENTISOL. **MANUAL DO CONSUMIDOR: EXAUSTOR AXIAL COMERCIAL.** Disponível em: <https://drive.google.com/drive/folders/1RCbGwnApGKAxe0-Q17VZW4o5r--MGKB0>. Acesso em: 20 nov. 2025.

VIANA, Herbert Ricardo Garcia. **Planejamento e controle da manutenção.** 2. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

WEG. **Manual de Instalação, Operação e Manutenção - Disjuntores a Vácuo.** Jaraguá do Sul, 2021.

WEG. **Manual de Instalação, Operação e Manutenção - Transformador a Seco.** Disponível em:

https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h32/h6d/manual_transformador_seco_10000647758_portugues.pdf. Acesso em: 24 set. 2025.

WURTH. **Desengraxante Dielétrico**. Disponível em: https://s3.sa-east-1.amazonaws.com/bdsp.canaldapeca.com.br/Wurth/13102020/PDFS_L4/0893013006.pdf#detalhes. Acesso em: 22 set. 2025.

ZEBU. ERMU 1-5: Repelente Ultra-Sônico contra Ratos, Camundongos e Morcegos. Lajeado, 2025.

6 ANEXOS

ANEXO A - ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO

rumo		ANÁLISE PRELIMINAR DE RISCO - APR																																	
Unidade: _____	Setor: _____	Local: _____	Solicitante do serviço: _____																																
atividade: _____																																			
Classificação das Fontes Potencias de Riscos																																			
1. Isolamento / Sinalização de áreas.	2. Controle de riscos de incêndio / explosão	3. Controle de Fontes de Energia	4. Ferramentas Manuais, Elétricas e Pneumáticas.																																
5. Produtos Químicos diversos	6. Máquinas e Equipamentos	7. Carga Suspensa	8. S / Housekeeping																																
9. Geração de resíduos e riscos de contaminação do meio ambiente	10. Trabalho com escadas e Andáimes	11. Trabalhos com diferença de nível																																	
EQUIPAMENTOS DE PROTEÇÃO OBRIGATORIOS																																			
<input type="checkbox"/> Máscaras Filtro/Autônoma/Atm/Solda <input type="checkbox"/> Óculos de Segurança <input type="checkbox"/> Sapatos de Segurança <input type="checkbox"/> Protetor Auricular <input type="checkbox"/> Outros: _____		<input type="checkbox"/> Luvas Couro <input type="checkbox"/> Luvas Nítrica para contato químico <input type="checkbox"/> Mbcacão/Capa/Avental contato químico <input type="checkbox"/> Capacetes com Jugular <input type="checkbox"/> Outros: _____																																	
<input type="checkbox"/> Protetor Facial <input type="checkbox"/> Cintó de Segurança com 2 Talabartes <input type="checkbox"/> Cordas/Cabos em aço 3/8" <input type="checkbox"/> Mascará/Óculos maçoarço <input type="checkbox"/> Outros: _____		<input type="checkbox"/> Respiradores para vapores químicos <input type="checkbox"/> Respiradores para particulados <input type="checkbox"/> Pemeira <input type="checkbox"/> Roupa ATPV para contaib energia elétrica <input type="checkbox"/> Outros: _____																																	
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>1. Isolamento / Sinalização de área.</p> <p>1- A Área a ser isolada foi definida pelo responsável da Área?</p> <p>2- O isolamento está adequado?</p> <p>3- Nas interferências de tráfego entre máquinas e pessoas os envolvidos foram avisados?</p> <p>4- Outros? _____</p>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>1. Isolamento / Sinalização de área.</p> <p>AÇÃO 1- Antes de iniciar as atividades a área a deve ser definida e isolada.</p> <p>AÇÃO 2- O isolamento deve ser instalado de forma a ser difícil a sua transposição</p> <p>AÇÃO 3- Todos os envolvidos devem ser informados, afim evitar interferências entre trabalhos.</p> <p>AÇÃO 4- Outros? _____</p>
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>2. Controle de riscos e incêndio e explosão (Solda, Maçoarço, Lixadeira)</p> <p>1- Os funcionários utilizam luqueta de proteção para acendimento do maçoarço?</p> <p>2- O conjunto oia oxigênio e maçoarço está em boas condições (Cabos, mangueiras, válvulas de segurança, alicate jacaré)?</p> <p>3- As mangueiras dos conjuntos de oxigênio possui válvulas de retrocesso de chama (reguladora pressão e caneta)?</p> <p>4- Os leitos de cabos elétricos, equipamentos, máquinas estão protegidos?</p> <p>5- A frente de trabalho possui extintor de incêndio próximo?</p> <p>6- O local foi isolado para impedir a passagem de pessoas estranhas ao serviço?</p> <p>7- Foi instalado proteção tipo tapume contra radiação e projeção de particulados?</p> <p>8- O soldador está Utilizando EPTS (Mascara de Solda, Blusão, Luva, Pemeiras de Raspa)?</p> <p>9- O Ajustante utiliza os EPTS (Óculos de Segurança, Avental, Luva, Pemeiras de Raspa)?</p> <p>10- Foi retirado todo material combustível envolto do local da solda, lixamento ou corte?</p> <p>11- Foi retirado materiais inflamáveis/combustíveis (Solventes, Borracha, Pó)</p> <p>12- O Operador de Lixadeira está com protetor facial, avental, mangote, pemeira e luva de respai?</p> <p>13- Foi avisado a presença de gás inflamáveis no ambiente (canalotas, poços, tubulações, tanques) Qual o limite de explosividade detectado? (_____)</p> <p>14- Outros? _____</p>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>2. Controle de riscos e incêndio e explosão (Solda, Maçoarço, Lixadeira)</p> <p>AÇÃO 1- Os maçoarços devem ser acesos apenas por acendedores de fricção.</p> <p>AÇÃO 2- As atividades somente devem ser iniciadas se o conjunto e seus acessórios estiverem estiverem em boas condições.</p> <p>AÇÃO 3- Instalar no conjunto de oxigênio as válvulas de retrocesso de chama (reguladora pressão e caneta)?</p> <p>AÇÃO 4- Proteger os leitos dos cabos elétricos, equipamentos, máquinas.</p> <p>AÇÃO 5- Providência extintor de incêndio antes do início das atividades.</p> <p>AÇÃO 6- Isolar o local do trabalho</p> <p>AÇÃO 7- Instalar proteção tipo tapume contra radiação e projeção de particulados.</p> <p>AÇÃO 8- Antes de iniciar as atividades o soldador deve estar com todosos EPTS.</p> <p>AÇÃO 9- Antes do início das atividades o Ajustante deve estar com todos os EPTS.</p> <p>AÇÃO 10- Todo material combustível deve ser retirado antes de iniciar as atividades.</p> <p>AÇÃO 11- Foi retirado materiais inflamáveis/combustíveis (Solventes, Borracha, Pó)</p> <p>AÇÃO 12- Antes de iniciar as atividades de lixamento o operador deve estar com os EPTS.</p> <p>AÇÃO 13- Se houver a possibilidade de acumulo de gás no ambiente, medir a inflamabilidade. Qual o limite de explosividade detectado? (_____)</p> <p>AÇÃO 14- Outros? _____</p>
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>3. Controle de Fontes de Energia.</p> <p>1- Todas as fontes de energia foram identificadas (elétrica, pressão, térmica, química, mecânica)</p> <p>2- Todas as fontes de energia foram desligadas, bloqueadas ou ahivadas?</p> <p>3- Todas as fontes de energia foram etiquetadas, bloqueadas, e travadas?</p> <p>4- Os funcionários estão com os bloqueios nos suportes de travamento de energia?</p> <p>5- O sistema está livre de qualquer tipo energia residual (elétrica, térmica, química, mecânica ou pressão hidráulica ou pneumática)?</p> <p>6- Os funcionários estão ciente que deverão retirar os bloqueios após o termino do serviço?</p> <p>7- Outros? _____</p>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>3. Controle de Fontes de Energia.</p> <p>AÇÃO 1- Todas as fontes devem ser identificadas afim de conhecimento e controle.</p> <p>AÇÃO 2- Todas as fontes de energia devem ser desligadas, bloqueadas ou ahivadas.</p> <p>AÇÃO 3- Antes do início das atividades sinalizar e bloquear as fontes de energia.</p> <p>AÇÃO 4- Todos os recursos para sinalização e bloqueio deve estar disponível.</p> <p>AÇÃO 5- Antes de iniciar as atividades o sistema devem estar com energia "Zero". (realizar teste de eficácia de energia zero antes do início das atividades).</p> <p>AÇÃO 6- Todos os envolvidos devem ser comunicados sobre a atuação das energias.</p> <p>AÇÃO 7- Outros? _____</p>
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>4. Ferramentas (Manuais, Elétricas, Pneumáticas, outros)</p> <p>1- As ferramentas elétricas estão em boas condições de conservação?</p> <p>2- Os cabos elétricos estão sem emendas?</p> <p>3- As estenôses estão em boas condições, e as tomadas estão em caixa e possui tomadas?</p> <p>4- As proteções dos equipamentos estão em boas condições?</p> <p>5- Outros? _____</p>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>4. Ferramentas (Manuais, Elétricas, Pneumáticas, outros)</p> <p>AÇÃO 1- Somente iniciar as atividades se as ferramentas estiverem em boas condições.</p> <p>AÇÃO 2- Os cabos não pode ter emendas, substituir a ferramenta.</p> <p>AÇÃO 3- As estenôses estão em boas condições, e as tomadas estão em caixa e possui tomadas?</p> <p>AÇÃO 4- Somente iniciar as atividades se os equipamentos possuir proteções?</p> <p>AÇÃO 5- Outros? _____</p>
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>5. Produtos Químicos (Pinturas, Impres, cont. de pragas, campina química)</p> <p>1- Em caso de contato com substâncias, existe lava-olhos nas proximidades?</p> <p>2- Os produtos químicos ou agrotóxicos tem (FISPQ) ?</p> <p>3- As pessoas foram orientadas sobre os riscos, e estão protegidas corretamente? (para manuseio e aplicação dos produtos conforme lista de EPT's da FISPQ).</p> <p>4- Os produtos químicos tem os rótulos na embalagem e possui orientação sobre informações sobre seus riscos?</p> <p>5- Existe ventilação para gases/vapores com riscos à saúde e perigo de incêndio e explosão?</p> <p>6- Outros? _____</p>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>5. Produtos Químicos (Pinturas, Impres, cont. de pragas, campina química)</p> <p>AÇÃO 1- Colocar uma medida de reação a emergência para contato com substâncias químicas?</p> <p>AÇÃO 2- Providenciar FISPQ para conhecimento das medidas de controle antes do início das atividades.</p> <p>AÇÃO 3- Todas os envolvidos na atividade devem ser orientados e protegidos. (Ex: EPI) para manuseio e aplicação dos produtos conforme lista de EPT's indicados na FISPQ.</p> <p>AÇÃO 4- Os produtos químicos devem ter identificação na embalagem, sobre informações do produto e sobre seus riscos.</p> <p>AÇÃO 5- Medir a quantidade emitida de gases e verificar a necessidade de ventilação da área.</p> <p>AÇÃO 6- Outros? _____</p>
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>6. Máquinas e equipamentos</p> <p>1- As partes móveis estão devidamente protegidas?</p> <p>2- A máquina é operada por pessoa treinada e autorizada?</p> <p>3- A máquina possui dispositivo de parada de emergência?</p> <p>4- Foram analisados e protegidos todos os pontos de riscos de golpe, corte, prensamento, deslocamento, agarramento da máquina/equipamento?</p>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>6. Máquinas e equipamentos</p> <p>AÇÃO 1- Todas as partes móveis e rotativas devem estar devidamente protegidas.</p> <p>AÇÃO 2- As máquinas e equipamentos somente podem ser operadas por pessoas habilitadas.</p> <p>AÇÃO 3- A máquina deve possuir dispositivo de parada de emergência.</p> <p>AÇÃO 4- Onde exista a possibilidade de contato com partes rotativas/móveis devem ser protegidas com presilhas, amarras, "mascacos" mordentes e outros.</p>
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>7. Carga Suspensa</p> <p>1- O Operador do equipamento de guindar está autorizado e habilitado?</p> <p>2- Há medidas de controle para evitar que pessoas entrem embaixo da cargas suspensas?</p> <p>3- O isolamento cobre todo o raio de giro da movimentação?</p> <p>4- A carga está protegida de movimentos involuntários?</p> <p>5- O equipamento e carga são compatíveis, suporta o peso a ser içado?</p>	<table border="1" style="width:100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <th style="text-align: center;">S</th> <th style="text-align: center;">N</th> <th style="text-align: center;">NA</th> <th style="text-align: center;">O</th> <th style="text-align: center;">P</th> <th style="text-align: center;">E</th> <th style="text-align: center;">C</th> <th style="text-align: center;">A</th> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> <td style="text-align: center;">[]</td> </tr> </table>	S	N	NA	O	P	E	C	A	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	<p>7. Carga Suspensa</p> <p>AÇÃO 1- O Operador deve portar carteira inha de operação d e equipamen b e estar habilitado.</p> <p>AÇÃO 2- É proibido posiciona-se embaixo de cargas.</p> <p>AÇÃO 3- Área de movimentação de carga deve ser isolada no seu raio de giro e sinalizada.</p> <p>AÇÃO 4- É proibido pessoas próximas da carga a ser movimentada.</p> <p>AÇÃO 5- A capacidade do equipamento e da carga deve ser compatível.</p>
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												
S	N	NA	O	P	E	C	A																												
[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]	[]																												

ANEXO B - PERMISSÃO DE TRABALHO

rumo

PERMISSÃO DE TRABALHO

<input type="checkbox"/> TRABALHO A QUENTE	<input type="checkbox"/> TRABALHO EM ALTURA	<input type="checkbox"/> IÇAMENTO DE CARGA	<input type="checkbox"/> ELETRICIDADE	<input type="checkbox"/> ESCAVAÇÕES	<input type="checkbox"/> ESPAÇO CONFINADO	<input type="checkbox"/> TRABALHO A FRIO
--	---	--	---------------------------------------	-------------------------------------	---	--

Potencial de Gravidade: A () B () C () Data: ____/____/____ Hora: ____/____/____

Mão de Obra: Interna () Externa () Nome da Empresa: _____

Local do Trabalho: _____ Equipamento envolvido: _____

Descrição do Trabalho: _____

Riscos Potenciais

<input type="checkbox"/> Explosão / Incêndio	<input type="checkbox"/> Queimaduras	<input type="checkbox"/> Animais peçonhentos	<input type="checkbox"/> Excesso de particulados	<input type="checkbox"/> Queda material/ objetos
<input type="checkbox"/> Acúmulo de Eletricidade	<input type="checkbox"/> Produtos químicos/ Corrosivos/ Tóxicos	<input type="checkbox"/> Condições climáticas desfavoráveis	<input type="checkbox"/> Atropelamento/ Abalo	<input type="checkbox"/> Influência Externa de Terceiros
<input type="checkbox"/> Pressamento de membros / Cortes	<input type="checkbox"/> Ergonomia	<input type="checkbox"/> Tubulação e cabos enterrados	<input type="checkbox"/> Projecção de materiais/ fagulhas	<input type="checkbox"/> Cantos vivos /Arestas perfuro cortante
<input type="checkbox"/> Choque elétrico/ Magnéticos	<input type="checkbox"/> Trabalhos elétricos em áreas classificadas	<input type="checkbox"/> Cortado Acidental em partes Energizadas	<input type="checkbox"/> Piso escorregadio / Umidade	<input type="checkbox"/> Ruído no local
<input type="checkbox"/> Desmoronamento / Soterramento	<input type="checkbox"/> Possibilidade de rupturas em cabos de Aço	<input type="checkbox"/> Queda de diferente nível (escada, plataforma, andaimes)	Outros: _____	

Equipamentos Utilizados

Máquina de Solda Maçarico Equip. elétrico Plataforma elevatória Andaimés / Escadas Ferramentas manuais Outros: _____

Precauções Obrigatórias Para Qualquer Natureza de Serviço (Preencha com S (sim) ou NA (Não Aplicado))

S NA	S NA
<input type="checkbox"/> O local de trabalho está limpo, organizado e sinalizado?	<input type="checkbox"/> O ambiente está protegido contra vazamentos de óleos lubrificantes?
<input type="checkbox"/> A equipe envolvida conhece o sistema de emergência do local da atividade?	<input type="checkbox"/> Os trabalhadores da área estão cientes da atividade que será desenvolvida?
<input type="checkbox"/> As rotas de fuga estão sinalizadas e desobstruídas?	<input type="checkbox"/> O local da atividade está com iluminação adequada?
<input type="checkbox"/> Todos os equipamentos estão inspecionados e liberados para utilização?	<input type="checkbox"/> O local foi isolado e sinalizado para limitar / impedir o acesso de pessoas e veículos ao local?

Precauções para TRABALHO A QUENTE

S NA	S NA
<input type="checkbox"/> Materiais ou gases combustíveis estão ausentes ou controlados, no ambiente?	<input type="checkbox"/> Foi realizado o check-list dos equipamentos de trabalho a quente?
<input type="checkbox"/> Os cilindros de oxigênio e acetileno possuem válvula corta chama?	<input type="checkbox"/> No local há pessoas habilitadas/capacitadas para utilizar os equip. de combate a incêndio?
<input type="checkbox"/> A máquina de solda está com os cabos de aterramento em perfeitas condições?	<input type="checkbox"/> O cenário de prevenção e combate a incêndio foi montado de forma adequada (hidrantes/extintores/manta anti-chama/bomba/limpeza do local/ resfriado e molhado)?
<input type="checkbox"/> O local foi avaliado por bombeiro civil ou brigadista antes da atividade?	<input type="checkbox"/> O local está limpo, isolado e sinalizado para realizar a atividade?
<input type="checkbox"/> O perigo de condução de calor para outras áreas está controlado?	<input type="checkbox"/> 60 minutos após o término, verificar o trabalho
<input type="checkbox"/> Os EPIS para trabalhos a quente estão adequados?	<input type="checkbox"/> Outros: _____

Precauções para TRABALHO EM ALTURA

S NA	S NA
<input type="checkbox"/> As condições atmosféricas são favoráveis (ausência de chuvas, ventos fortes)?	<input type="checkbox"/> Foi fixado pranchões ou passarela em trabalhos no telhado?
<input type="checkbox"/> As escadas utilizadas estão em boas condições de segurança?	<input type="checkbox"/> Os pontos de ancoragem / linha vida foram aprovados pela segurança do trabalho?
<input type="checkbox"/> Os executantes estão em boas condições físicas e psicológicas?	<input type="checkbox"/> Os andaimes, plataformas, escadas estão afastados da rede elétrica?
<input type="checkbox"/> Foram verificadas condições, estabilidade e travamento de andaimes, plataforma e escadas? O mesmo está em piso resistente e plano em perfeitas condições?	<input type="checkbox"/> Os equipamentos de prevenção de queda, estão em perfeitas condições? (Cintos Segurança Paraqueidista / Trava Quedas/Cabo Guia/Ponto de ancoragem, etc).
<input type="checkbox"/> Os executantes estão capacitados e autorizados para realizar a atividade?	<input type="checkbox"/> Foi realizado check list e aprovado para utilização da plataforma elevatória?
<input type="checkbox"/> Os andaimes foram inspecionados e aprovados pela segurança do trabalho?	<input type="checkbox"/> Outros: _____

Precauções para IÇAMENTO DE CARGA

S NA	S NA
<input type="checkbox"/> Foi realizado isolamento e sinalização no perímetro do içamento da carga?	<input type="checkbox"/> Foi realizado o plano de rigging e ART para o içamento de carga com guindaste?
<input type="checkbox"/> Durante o içamento NÃO existe nenhum trabalho sobreposto?	<input type="checkbox"/> O operador possui habilidades e conhecimentos necessários para realizar o içamento?
<input type="checkbox"/> As condições atmosféricas são favoráveis (ausência de chuvas, ventos fortes)?	<input type="checkbox"/> O operador possui a carteira em identificação?
<input type="checkbox"/> O piso está adequado para patologia do guindaste ou munck?	<input type="checkbox"/> No momento do içamento existe comunicação adequada entre o sinalizador e operador?
<input type="checkbox"/> Foi aplicado o check-list dos equipamentos a serem utilizados no içamento?	<input type="checkbox"/> Foi inspecionado e aprovado todos os equipamentos e acessórios de içamentos?
<input type="checkbox"/> Foi instalado cordão guia ou dispositivo para auxiliar na movimentação?	

Precauções para TRABALHO COM ELETRICIDADE

S NA	S NA
<input type="checkbox"/> As fontes de energia estão desligadas?	<input type="checkbox"/> Foi realizada APR para atividade que envolva SEP?
<input type="checkbox"/> As fontes de energia estão bloqueadas com cadeado?	<input type="checkbox"/> Os trabalhos com eletricidade estão sendo realizados sempre com dois eletricitistas?
<input type="checkbox"/> Foi realizado teste de ausência de tensão?	<input type="checkbox"/> O local da atividade está seco e sem umidade?
<input type="checkbox"/> O equipamento está sinalizado com o cartão do responsável?	<input type="checkbox"/> Materiais metálicos estão afastados de redes energizadas?
<input type="checkbox"/> Todos os equipamentos e estruturas ao redor estão aterradas?	<input type="checkbox"/> As portas da subestação permanecem abertas durante atividade no seu interior?
<input type="checkbox"/> Os eletricitistas estão utilizando roupas obrigatórias para realizarem as atividades em partes elétricas?	<input type="checkbox"/> O sistema está livre de qualquer tipo de energia residual (mecânica, química, térmica, hidráulica, pneumática, elétrica) aplicando os bloqueios

Nº do Bloqueio: _____

Precauções para ESCAVAÇÕES

S NA	S NA
<input type="checkbox"/> Foi verificado ausência de eletrodutos e/ou dutos subterrâneos?	<input type="checkbox"/> Existem duas ou mais pessoas envolvidas na atividade?
<input type="checkbox"/> O local de escavação possui escoramento? (1,25m e taludes)	<input type="checkbox"/> O acesso às escavações garante que não ocorram quedas?
<input type="checkbox"/> A escavação permite saída e o resgate rápido de pessoas?	<input type="checkbox"/> O risco de torções, escorregões, batida contra e quedas estão controlados?
<input type="checkbox"/> Os materiais retirados da escavação estão sendo depositados a uma distância superior a metade da profundidade?	<input type="checkbox"/> As escadas de acesso estão adequadas de acordo com a norma vigente?

Precauções para ESPAÇO CONFINADO (Anexar formulário específico)

S NA	S NA
<input type="checkbox"/> Foi realizada a análise do ambiente utilizando medidor de gases (O2, H2S, CO e EXP)?	<input type="checkbox"/> Foram inspecionados e aprovados todos os equipamentos para realização da atividade no espaço confinado?
<input type="checkbox"/> Foi verificado o preenchimento da PET para trabalhos em espaço confinado, contendo também o controle de entrada e saída dos colaboradores envolvidos?	<input type="checkbox"/> Foram inspecionados e aprovados todos os equipamentos para realização da atividade no espaço confinado?
<input type="checkbox"/> Os equipamentos de resgate estão disponíveis em caso de emergência?	<input type="checkbox"/> A comunicação esta garantida entre executante / Vigia / Supervisor?
<input type="checkbox"/> A temperatura do ambiente é adequada?	<input type="checkbox"/> Foi utilizada ventilação externa, assegurando a qualidade do ar respirável?
<input type="checkbox"/> O Bombeiro ou brigadista está ciente da realização deste trabalho?	<input type="checkbox"/> A iluminação está adequada?

Número da PET ()

Precauções para TRABALHO A FRIO

S NA	S NA
<input type="checkbox"/> As ferramentas foram inspecionadas?	<input type="checkbox"/> Os equipamentos estão com as proteções?
<input type="checkbox"/> As ferramentas estão em bom estado?	<input type="checkbox"/> Os equipamentos e elétricos estão adequados?
<input type="checkbox"/> O risco de lesões na mãos está controlado?	<input type="checkbox"/> O executante possui habilidade e conhecimento para realizar o serviço?
<input type="checkbox"/> Os equipamentos possuem dispositivo de parada de emergência?	<input type="checkbox"/> Foi realizado o alívio de pressão de equipamentos e mangueiras de ar comprimido?

Questionário de Saúde Ocupacional

SM () - NA () Foi preenchido o questionário de Saúde Ocupacional dos envolvidos na tarefa? (Altura e Espaço Confinado)

Rev07

ANEXO B - CONTINUAÇÃO DA PERMISSÃO DE TRABALHO



PERMISSÃO DE TRABALHO

Equipamento de Proteção Obrigatória

<input type="checkbox"/> Capote com jugular	<input type="checkbox"/> Luvas de isolamento / alta tensão	<input type="checkbox"/> Bastão de Manobra/ Estrado de Borracha	<input type="checkbox"/> Ferramentas isolantes / anti-faíscantes
<input type="checkbox"/> Protetor Auricular (plug / concha)	<input type="checkbox"/> Luva anti-vibração () Avental / Temporário	<input type="checkbox"/> Aterramento Elétrica	<input type="checkbox"/> Ordem, Limpeza, Arrumação
<input type="checkbox"/> Óculos de Segurança (Impacto/ Incolor/ Ampla Visão)	<input type="checkbox"/> Mangote / Perneira em raspa	<input type="checkbox"/> Medição	<input type="checkbox"/> Equipamento Autônomo de ar respirável
<input type="checkbox"/> Máscara de proteção respiratória apropriada	<input type="checkbox"/> Perneira de couro	<input type="checkbox"/> Impedimento Elétrico ()	<input type="checkbox"/> Explosímetro
<input type="checkbox"/> Máscara de Solda	<input type="checkbox"/> Bota de Segurança	<input type="checkbox"/> Proteção contra faíscas (Blombio / Tapumes/ Manta Anti-chama	<input type="checkbox"/> Iluminação Adequada (lanterna à prova de explosão)
<input type="checkbox"/> Protetor Facial	<input type="checkbox"/> Macacão proteção química	<input type="checkbox"/> Equipamento de combate a incêndio	<input type="checkbox"/> EPis para Trabalho a Quente
<input type="checkbox"/> Luva Nitrílica	<input type="checkbox"/> Uniforme proteção elétrica	<input type="checkbox"/> Sinalização de Segurança na Área/ isolamento de Área	<input type="checkbox"/> outros: _____
<input type="checkbox"/> Luva Vaqueta / Raspa	<input type="checkbox"/> Cintão de Segurança tipo paraquedista com talabarte duplo	<input type="checkbox"/> Dispositivo Trava Queda/ Linhas de vida	<input type="checkbox"/> outros: _____
<input type="checkbox"/> Luva de proteção térmica	<input type="checkbox"/> Cinturão para posicionamento em poste	<input type="checkbox"/> Instalação de Invólucros / Corta Falta	<input type="checkbox"/> outros: _____

Recomendações adicionais de segurança:

Precauções / Equipamento de proteções especiais:

Os colaboradores abaixo receberam treinamento e estão autorizados a executar as atividades

Nome:	Ass:	Nome:	Ass:
Nome:	Ass:	Nome:	Ass:
Nome:	Ass:	Nome:	Ass:
Nome:	Ass:	Nome:	Ass:
Nome:	Ass:	Nome:	Ass:
Nome:	Ass:	Nome:	Ass:
Nome:	Ass:	Nome:	Ass:
Nome:	Ass:	Nome:	Ass:

Assinatura dos Responsáveis pela Liberação

Dono da área/setor (Rumo): _____ Ass: _____ Empresa: _____
 Responsável pela execução do serviço: _____ Ass: _____ Hora: _____
 Responsável pela execução do serviço realizou teste de eficácia do bloqueio? () SIM () NÃO () NA – CS (RUMO) ou Nome Prestadora: _____
 Segurança do Trabalho (Quando necessário): _____ Ass: _____ Hora: _____
 Bombeiro (assinatura para trabalho a Quente ou Confinado): _____ Ass: _____ Hora: _____
 Engenheiro do Site/ Engenheiro de Segurança (PG - A): _____ Ass: _____ Hora: _____

Renovação ou Inclusão de novos colaboradores

Caso tenha necessidade de renovar a permissão de trabalho, o novo dono de área deverá anotar seu nome e assinatura no campo recomendações adicionais a segurança. Nome: _____ Ass: _____ Data: ____/____/____ Hora: ____:____:____
 Caso tenha a necessidade de **incluir novos colaboradores**, o responsável da PT deve orientar todos os colaboradores novamente, alertando sobre os riscos e controles necessários para a atividade. Em hipótese alguma o colaborador deve iniciar a atividade sem receber as informações do trabalho, sujeito a penalização caso isso aconteça.

Nome:	Ass:	Nome:	Ass:
Nome:	Ass:	Nome:	Ass:
Nome:	Ass:	Nome:	Ass:

Encerramento da PT – Avaliação do local no final do serviço ou final da validade da PT

Trabalho concluído? () Sim () Não - Local do serviço devidamente organizado? () Sim () Não - Nenhuma PT pode ser encerrada com uma resposta "Não"
 Todas as ferramentas utilizadas foram recolhidas? () sim () Não Nenhuma PT pode ser encerrada com uma resposta "Não"
 Nome do verificador RUMO: _____ Ass: _____ Data: ____/____/____ Hora: ____:____:____
 Observação: se houver qualquer interrupção no trabalho por motivos de incidentes com ou sem lesão, ou qualquer situação de emergência, deverá ser emitida uma nova PT.
 Obs: _____

Potencial	Mecânica Atividades	Elétrica/Automação/Tecnologia Operacional Atividades	Civil/Montagem de estruturas/Via permanente Atividades
A	Atividade crítica (movimentação com dois guindastes simultâneo ou içamento superior a 90% da carga, atividade em barramento energizado), realizar reunião previa para análise de risco da atividade com os setores envolvidos. <i>Necessário autorização do Engenheiro ou Coordenador responsável do trabalho e Engenheiro ou Coordenador de Segurança.</i>		
B	Trabalho a quente (Não Rotineiro) Içamento de carga com guindaste Atividades em espaço confinado (Brigadista ou bombeiro) <i>* Montagem e Desmontagem de Estruturas em Pontes (Atividade Ferrovia).</i> <i>Necessita da liberação do técnico de segurança ou do bombeiro (Bombeiro Atividade a quente e espaço confinado).</i>	Trabalho a quente (Não Rotineiro) Içamento de carga com guindaste Atividades em espaço confinado (Brigadista ou bombeiro)	Trabalho a quente (Não Rotineiro) Içamento de carga com guindaste Atividades em espaço confinado (Brigadista ou bombeiro)
C	Trabalho em altura ou PTA Ajuste dos raspadores Retirada e Instalações de esteira Manutenção no piso (grade) Troca de servos nos motores do shiploader Troca de canecas nos elevadores Substituição de roletes com impedimento Manutenção/substituição de raspador c/ impedimento Manutenção em Guarda corpo (instalar, reparo, retirada)	Trabalho em altura ou PTA Manutenção ou reparos em CDM Montagem de eletrocabo/infraestrutura Passagem de fiação elétrica desenergizada Substituir mangueira de ar comprimido Atividade próxima a sistema energizado Manutenção em bomba elétrica Manutenção em luminárias Manutenção em câmeras de monitoramento Içamento de cabos e aterramentos Manutenção equip. eletro eletronicos	Trabalho em altura com PTA Montagem de estrutura metálica ou tubulação Manutenção no telhado dos armazéns Escavação do solo Demolição Manutenção de calhas e telhas Trabalho com demolição Corte de piso com máquina Atividades com pátulas Trabalhos em Pontes (subs. Dormente e Trilhos) Fixação (grampo, tala, entre outros)
	<i>Necessita do responsável da área e responsável pela execução (Supervisor, Líder, Engenheiro, Coordenador, entre outro capacitado, sendo OBRIGATORIAMENTE ser colaborador RUMO).</i>		

Distribuição: 1º via Campo e 2º Segurança do Trabalho

Rev07

ANEXO C - AUTORIZAÇÃO DE DESLIGAMENTO

AUTORIZAÇÃO
DESLIGAMENTO DE ENERGIA

O INSTITUTO FEDERAL DE SANTA CATARINA, CNPJ: 11.402.887/0002-41, localizada na AVENIDA MAURO RAMOS, nº 950, CENTRO, FLORIANÓPOLIS/SC, neste ato representado pelo Sr. Diretor Rogério de Souza Versage, AUTORIZA que a concessionária de energia local CELESC, junto a empresa SUBESTAÇÃO LTDA, realize o desligamento geral de energia da unidade consumidora no dia:

12/12/2025 das 13:30h às 18:00h.

UC: XXXXXXX

MOTIVO DO DESLIGAMENTO:

Execução de manutenção preventiva periódica da subestação transformadora.

Responsabilidade técnica pela execução:

SUBESTAÇÃO LTDA
CNPJ: xx.xxx.xxx/0001-xx
Eng. Eletricista Fulano de Tal
CPF: xxx.xxx.xxx-01
CREA/SC XXXXXX-X

Florianópolis, 01 de dezembro de 2025

Rogério de Souza Versage

ANEXO D - ANOTAÇÃO DE RESPONSABILIDADE TÉCNICA

Anotação de Responsabilidade Técnica - ART		CREA-SC	ART OBRA OU SERVIÇO	
Lei nº 6.496, de 7 de dezembro de 1977			25 202	-8
Conselho Regional de Engenharia e Agronomia de Santa Catarina			Inicial Individual	
1. Responsável Técnico				
Título Profissional: Engenheiro Eletricista			RNF:	SC
Empresa Contratada:			Registro:	SC
2. Dados do Contrato				
Contratante:			CPF/CNPJ:	
Endereço:		Bairro:	UF:	
Complemento:		UF:	CEP:	
Cidade:				
Valor Contrato:	Celebrado em:	Vinculado à ART:	Ação Institucional:	Tipo de Contratante:
3. Dados Obra/Serviço				
Propriedade:			CPF/CNPJ:	
Endereço:		Bairro:	UF:	
Complemento:		UF:	CEP:	
Cidade:				
Data de Início:	Previsão de Término:	Coordenadas Geográficas:		Código:
Finalidade:				
4. Atividade Técnica				
Mantenção	Inspeção	Ensaio	Laudo	
Subestação abrigada de energia elétrica		Dimensão do Trabalho:	9.450,00	Quilômetro(s) Ampere
Mantenção	Ensaio	Inspeção	9.450,00	Quilômetro(s) Ampere
Subestação de transformação de energia elétrica		Dimensão do Trabalho:	9.450,00	Quilômetro(s) Ampere
Mantenção	Laudo			
Instalação elétrica média/alta tensão para fins residenciais/comerciais		Dimensão do Trabalho:	9.450,00	Quilômetro(s) Ampere
Inspeção	Laudo			
Ramal de entrada de energia elétrica em alta tensão		Dimensão do Trabalho:	9,00	Ramal(s)
Mantenção	Inspeção	Laudo		
Instalação elétrica em baixa tensão para fins residenciais/comerciais		Dimensão do Trabalho:	9.450,00	Quilômetro(s) Ampere
Fixação				
Medição elétrica		Dimensão do Trabalho:	7,00	Unidade(s)
Ensaio	Laudo			
Aterramento de instalação elétrica		Dimensão do Trabalho:	7,00	Número de Sistemas
5. Observações				
6. Declarações				
Acessibilidade: Declaro, sob as penas da Lei, que no(s) atividade(s) registrada(s) nesta ART não se exige a observância das regras de acessibilidade previstas nas normas técnicas de acessibilidade da ABNT, na legislação específica e no Decreto Federal n. 5.296, de 2 de dezembro de 2004.				
7. Entidade de Classe			9. Assinaturas	
NENHUMA			Declaro serem verdadeiras as informações acima.	
8. Informações				
A ART é válida somente após o pagamento da taxa.				
Situação do pagamento da taxa da ART em		TAXA DA ART A PAGAR		
Valor ART:	Data Vencimento:	Registro em:		
Valor Pagor:	Data Pagamento:	Nosso Número:		
A autenticidade deste documento pode ser verificada no site www.crea-sc.org.br/art				
A quem dá via reservada da ART será de responsabilidade do profissional e do contratante, com o objetivo de documentar o vínculo contratual.				
Esta ART está sujeita a verificações conforme disposto na Súmula 473 do STF, na Lei 9.784/99 e na Resolução 1.925/09 do CONFEA.				
www.crea-sc.org.br		oficcom@crea-sc.org.br		Contratante:
Fone: (48) 3331-7000		Fax: (48) 3331-2157		

ANEXO E – ORDEM DE MANUTENÇÃO

ORDEM DE MANUTENÇÃO	Nº DA ORDEM:
DATA DA MANUTENÇÃO: NA 1 TAG: EQUIPAMENTO: TIPO DE MANUTENÇÃO: CENTRO DE CUSTO: EQUIPE RESPONSÁVEL:	PÁGI-
DESCRIÇÃO DAS TAREFAS:	
TAREFA 10	
EPI's UTILIZADOS:	
ESPECIALIDADES:	HOMEM HORAS (HH)
DESCRIÇÃO DA TAREFA:	

