



Procedimentos Técnicos e Normativos no Comissionamento de Subestações Elétricas: Estudo de Caso em uma Microempresa do Setor de Prestação de Serviços em Instalações e Manutenções Elétricas Industriais

Technical and Regulatory Procedures for the Commissioning of Electrical Substations: A Case Study in a Microenterprise in the Industrial Electrical Installations and Maintenance Sector

Ana Flávia Rota Esteves

Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

Valdecy Cardoso dos Santos

Orientador Docente Curso de Engenharia Elétrica da Universidade de Araraquara- UNIARA. Araraquara-SP.

Resumo: O crescimento da demanda por energia elétrica e a necessidade de instalações seguras e eficientes tornam o processo de comissionamento de subestações um elemento essencial para a confiabilidade do sistema elétrico. Este trabalho apresenta uma análise dos procedimentos técnicos e normativos aplicados ao comissionamento de subestações elétricas, por meio de um estudo realizado em uma microempresa prestadora de serviços em instalações e manutenções industriais. Foram descritas as principais etapas de inspeção, medições e ensaios em equipamentos como transformadores, disjuntores, relés de proteção, cabos e seccionadoras, com base em normas nacionais e internacionais (ABNT, IEC, NBR e NR). Os resultados evidenciaram a importância da aplicação rigorosa de boas práticas e da manutenção preventiva periódica para assegurar eficiência, segurança e conformidade legal. Conclui-se que o comissionamento, aliado à capacitação técnica e à padronização de processos contribui significativamente para a redução de falhas, aumento da confiabilidade e prolongamento da vida útil das instalações elétricas industriais.

Palavras-chave: comissionamento; manutenção preventiva; normas técnicas; subestações elétricas.

Abstract: The growing demand for electricity and the need for safe and efficient electrical installations make the substation commissioning process essential for the reliability of the power system. This paper presents an analysis of the technical and regulatory procedures applied to the commissioning of electrical substations, based on a study carried out in a small company providing industrial installation and maintenance services. The main steps of inspection, measurement, and testing of equipment such as transformers, circuit breakers, protective relays, cables, and disconnectors were described, in accordance with national and international standards (ABNT, IEC, NBR, and NR). The results highlighted the importance of the rigorous application of best practices and periodic preventive maintenance to ensure efficiency, safety, and legal compliance. It is concluded that commissioning, combined with technical training and process standardization, contributes significantly to reducing failures, increasing reliability, and extending the service life of industrial electrical installations.

Keywords: commissioning; preventive maintenance; technical standards; electrical substations.

INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos e o crescimento industrial vêm transformando a sociedade de forma intensa, impulsionando a demanda de energia elétrica. Segundo Gomes (2012) o setor elétrico desempenha um papel fundamental na economia e na infraestrutura de todos os países, a necessidade de garantir o fornecimento eficiente de energia elétrica levou a expansão do sistema elétrico de potência, que é constituído de três diferentes segmentos: geração, transmissão e distribuição, para que a energia produzida na geração alcance o consumidor final, que está conectado ao sistema de distribuição, é fundamental a presença de subestações em cada etapa do processo, elas desempenham o papel de ajustar os níveis de tensão, seja elevando-os para longas distâncias ou reduzindo-os para o uso seguro nas redes de distribuição.

O número de subestações aumenta para acompanhar o crescimento da demanda por energia e assegurar a qualidade do fornecimento. O Brasil, em 2023, iniciou dois grandes projetos de expansão no segmento. Segundo a Agência Estadual de Notícias do Governo do Paraná, a Companhia Paranaense de Energia (Copel) realizou investimentos de R\$ 558 milhões e a Companhia Energética de Minas Gerais (Cemig) noticiou os investimentos de R\$ 81 milhões para construções de novas subestações em Minas Gerais. Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a matriz elétrica brasileira registrou um aumento de 10.853,35 megawatts (MW), com a instalação de 301 novas usinas, que corresponde a maior expansão desde 1997.

As subestações elétricas possuem um papel essencial na distribuição e transformação da energia elétrica. Entretanto, para que uma subestação opere de maneira segura e eficiente, é indispensável um processo rigoroso de comissionamento. Segundo Silva (2020), o comissionamento de subestações consiste em um conjunto de procedimentos técnicos e testes realizados para garantir que todos os equipamentos e sistemas estejam em conformidade com as especificações de projeto, normas vigentes e requisitos de segurança, essa etapa é crucial para prevenir falhas operacionais, reduzir riscos de acidentes e aumentar a confiabilidade da instalação. No entanto, esse processo apresenta desafios, como a necessidade de seguir rigorosos protocolos de segurança, a identificação de possíveis falhas em equipamentos e a adequação aos padrões normativos e as diretrizes da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL).

Diante desse contexto, surge o problema de pesquisa: quais são os principais desafios e as melhores práticas no comissionamento de subestações elétricas para garantir segurança, eficiência e conformidade com as normas técnicas? Encontrar essa resposta é essencial para assegurar que cada etapa desse processo seja conduzida de maneira criteriosa, resultando em instalações confiáveis e prontas

para operar com máxima eficiência. Parte-se da hipótese de que a adoção de procedimentos técnicos padronizados, alinhados às normas vigentes, aliada ao uso de boas práticas operacionais, contribui significativamente para a redução de falhas, aumento da segurança e melhoria da eficiência no comissionamento de subestações elétricas.

Este trabalho tem como objetivo geral analisar o relatório de comissionamento realizado por uma microempresa do setor de prestação de serviços em instalações e manutenções elétricas industriais localizada no interior do estado de São Paulo. Para alcançar esse propósito, os seguintes objetivos específicos foram estabelecidos:

1. Descrever as principais etapas do comissionamento de subestações elétricas.
2. Estudar as normas técnicas e regulamentações aplicáveis ao processo.

Segundo Mendonça (2023), a crescente necessidade de garantir a confiabilidade e segurança no fornecimento de energia elétrica, juntamente com a expansão das redes de transmissão, torna o processo de comissionamento de subestações cada vez mais relevante, um comissionamento bem executado é fundamental para prevenir falhas operacionais e aumentar a confiabilidade das instalações, o que, por sua vez, evita custos elevados e riscos à segurança. A realização deste estudo se justifica pela importância de aprofundar o conhecimento sobre as melhores práticas e os desafios que envolvem o comissionamento, além de identificar as medidas necessárias para atender às normas e garantir a eficiência do sistema elétrico.

Além disso, é fundamental que o comissionamento siga rigorosamente as normas técnicas aplicáveis, tais como: ABNT NBR 14039:2005 – Instalações elétricas em média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV, ABNT NBR 5419:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas, ABNT NBR 15751:2009 – Transformadores de distribuição, NR-10:2004 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade, IEC 60255:2010 – Requisitos de relés de proteção e IEC 60076:2018 – Transformadores de potência, para assegurar que os processos sejam executados de forma segura e eficaz. A finalidade deste trabalho é oferecer um guia útil para auxiliar na redução de falhas, no cumprimento das normas e no aprimoramento da eficiência das instalações, garantindo um sistema elétrico mais seguro.

Foi utilizada pesquisa qualitativa, método indutivo, com diferentes abordagens específicas a fim de construir uma compreensão mais ampla sobre os desafios e boas práticas no comissionamento de subestações. Foi realizada uma pesquisa bibliográfica com estudo de artigos, livros, dados da Agência Governamental e as normas aplicáveis. Foi realizado um estudo em uma ME prestadora de serviços no setor de instalações e manutenções elétricas industriais, localizada no interior do estado de São Paulo onde foi avaliado o processo de comissionamento de subestações, com foco nas etapas de inspeção, medições e ensaios em equipamentos como transformadores, disjuntores, relés de proteção, cabos e seccionadoras, a análise buscou identificar a aderência às normas técnicas vigentes, bem como evidenciar práticas que contribuem para a segurança operacional e a confiabilidade do sistema elétrico.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesta seção foram apresentados os conceitos fundamentais sobre subestações elétricas, classificação quanto ao nível de tensão, utilização e tipo construtivo, e os principais componentes que as constituem, com o intuito de fornecer embasamento teórico para o entendimento do processo de comissionamento.

Subestações Elétricas

Uma subestação é um conjunto de equipamentos interligados que desempenham um papel fundamental no sistema elétrico. Sua principal função é controlar o fluxo de potência, ajustar os níveis de tensão e, quando necessário, modificar a natureza da corrente elétrica. Além disso, a subestação garante a proteção do sistema, evitando sobrecargas e falhas. Ela atua como um ponto estratégico de controle e distribuição dentro da rede de transmissão, permitindo o direcionamento eficiente da energia elétrica. Também é responsável por transformar a tensão para diferentes níveis, facilitando o fornecimento adequado aos consumidores industriais e assegurando um suprimento estável e seguro de eletricidade (Muzy, 2012).

As subestações de energia elétrica são formadas por um conjunto de equipamentos, cada um com uma função específica para garantir a transformação, o controle, a proteção e a distribuição da energia. Entre os principais componentes dessas instalações, destacam-se:

1. Disjuntor
2. Transformador de potência
3. Transformador de corrente (TC)
4. Transformador de potencial (TP)
5. Chave Seccionadora
6. Cabos isolados
7. Para raios
8. Relé de Proteção
9. Aterramento

Os disjuntores são dispositivos essenciais para a interrupção da corrente elétrica em um circuito, atuando de forma rápida quando ocorrem falhas, como curtos-circuitos. Além de proteger o sistema, eles também podem desligar circuitos que estejam operando com carga total ou sem carga, além de restabelecer a energia tanto em condições normais quanto em situações de falha na rede. Os disjuntores mais utilizados em subestações são: a óleo, vácuo e a gás (Sampaio, 2020).

Disjuntor a óleo: utiliza o óleo mineral como meio de extinção do arco elétrico. Durante a interrupção da corrente, o arco gera uma rápida vaporização do óleo, formando uma bolha de gás que auxilia na extinção. Embora eficiente, requer manutenções frequentes, devido à degradação do óleo, e apresenta riscos ambientais em caso de vazamentos (Sampaio, 2020).

Disjuntor a vácuo: emprega um compartimento selado a vácuo onde ocorre a interrupção do arco. Apresenta alta durabilidade, baixa necessidade de manutenção e excelente desempenho em sistemas de média tensão. É muito utilizado em ambientes industriais devido à sua confiabilidade e segurança operacional (Mendonça, 2023).

Disjuntor a gás (SF_6): utiliza hexafluoreto de enxofre (SF_6) como meio isolante e de extinção do arco. Esse tipo é ideal para aplicações em subestações compactas e de alta tensão, devido à alta capacidade de isolamento dielétrico do gás. No entanto, o SF_6 é um gás de efeito estufa, exigindo monitoramento rigoroso para evitar impactos ambientais (ABNT, 2016).

O transformador de corrente (TC) é um equipamento projetado para reproduzir, em seu circuito secundário, a corrente que circula no enrolamento primário, mantendo sua relação vetorial e proporção definida. Também conhecidos como transformadores de instrumentos, os TC's são amplamente utilizados em sistemas de alta tensão, onde as correntes são geralmente baixas. Sua principal função é fornecer correntes reduzidas e isoladas do circuito primário, permitindo o uso seguro por dispositivos de medição, controle e proteção (Silva, 2020).

O transformador de potencial (TP) é um equipamento essencial para a medição de tensão elétrica, projetado para reduzir os níveis de tensão do circuito a valores compatíveis com a capacidade dos instrumentos de medição. Sua principal função é possibilitar a medição de tensões elevadas de forma segura e eficiente. No circuito primário, o TP recebe a tensão a ser medida, enquanto no secundário reproduz essa tensão de maneira reduzida e proporcional à original. Dessa forma, os dispositivos de medição podem ser conectados com segurança e menor custo, garantindo precisão na análise do sistema elétrico (Silva, 2020).

O transformador é um equipamento elétrico estático que transfere potência entre dois ou mais circuitos por indução eletromagnética, sem alterar a frequência, modificando apenas a tensão e a corrente. Ele é composto por um núcleo, enrolamentos primários e secundários, além de acessórios que variam conforme sua potência. O núcleo, feito de chapas de aço-silício laminado, cria o fluxo magnético necessário para o funcionamento do transformador. Os enrolamentos, geralmente de cobre, são isolados para evitar curtos e garantir a segurança. O isolamento é essencial em várias partes do transformador, como entre as camadas dos enrolamentos, entre as fases e entre os enrolamentos e a estrutura. Para garantir a rigidez dielétrica e suportar temperaturas elevadas, são usados materiais isolantes específicos. Os fluidos dielétricos líquidos são comumente empregados, pois além de isolantes, também atuam como refrigerantes, dissipando o calor gerado pelas perdas nas partes ativas do transformador (Silva, 2020).

O para raio é um dispositivo de segurança utilizado em subestações elétricas e outras instalações vulneráveis a raios. Sua principal função é conduzir a corrente da descarga atmosférica para o solo de forma segura, prevenindo danos aos equipamentos e evitando acidentes. Esses equipamentos são essenciais para garantir o funcionamento seguro e eficiente das subestações, assegurando a qualidade e confiabilidade do fornecimento de energia elétrica aos consumidores (Mendonça, 2023).

A chave seccionadora tripolar é um dispositivo utilizado para conectar e desconectar circuitos elétricos, garantindo o isolamento seguro da rede em condições normais de operação. Com seus contatos fechados, ela permite a condução da corrente nominal, incluindo situações de curto-circuito, sem risco de superaquecimento, até que o disjuntor realize a abertura do circuito. Essencialmente, seu funcionamento se assemelha ao de um condutor que se move quando acionado, estabelecendo ou interrompendo a conexão entre os contatos fixo e móvel. Comum em sistemas de média tensão, seu acionamento é geralmente manual, feito por meio de uma alavanca ou bastão (Silva, 2020).

Cabos isolados são aqueles que possuem uma camada de material isolante ao redor do condutor, evitando o contato elétrico com o ambiente ao seu redor. Geralmente, são fabricados em cobre, devido à sua excelente condutividade e à facilidade de conexão com terminais de equipamentos, que também costumam ser de cobre. Os materiais de isolamento utilizados nesses cabos devem apresentar alta resistividade elétrica e elevada rigidez dielétrica, especialmente em aplicações com tensões superiores a 1kV (Silva, 2020).

Os relés de proteção são dispositivos essenciais para monitorar e proteger o sistema elétrico contra sobrecargas, curtos-circuitos, falhas de isolamento e outras irregularidades. Com alta sensibilidade e rápida resposta, esses equipamentos detectam anomalias no sistema elétrico com eficiência, permitindo a atuação imediata dos disjuntores e reduzindo possíveis danos à rede (Mendonça, 2023).

O aterramento elétrico é uma medida essencial para garantir a segurança e o bom funcionamento das instalações elétricas, atendendo às normas técnicas. De acordo com a ABNT, aterrar significa equalizar o potencial entre equipamentos e a terra, evitando diferenças de tensão. Isso é feito conectando dispositivos diretamente ao solo ou a uma massa equivalente. Em subestações de energia, o aterramento é realizado em forma de malha para minimizar gradientes de potencial causados pela circulação de corrente no solo (Silva, 2020).

Classificação quanto ao nível de tensão

De acordo com a ABNT NBR 14039:2005, o nível de tensão de uma instalação elétrica em média tensão deve ser definido com base em critérios técnicos que assegurem a eficiência, a segurança e a viabilidade econômica do sistema. Entre os principais fatores que influenciam essa escolha, destacam-se a potência da carga, a corrente de operação, a distância até a fonte de suprimento, e a corrente de curto-circuito esperada no ponto de acoplamento.

Para uma estimativa inicial do nível de tensão necessário, pode-se utilizar a seguinte fórmula:

$$V = \frac{P}{\sqrt{3} \cdot I}$$

Onde:

V = Tensão de operação do sistema (em volts),

P = Potência ativa da carga (em watts),

I = Corrente de operação (em amperes).

Essa fórmula é derivada da equação de potência trifásica, e é útil para determinar a tensão mínima necessária para limitar a corrente de operação dentro de parâmetros aceitáveis, evitando perdas excessivas, queda de tensão significativa e sobrecarga dos componentes do sistema.

Entretanto, esse cálculo simplificado deve ser complementado com análises de:

- Queda de tensão admissível, conforme recomendação de até 5% em regime permanente (NBR 14039, item 6.4);
- Capacidade de condução dos condutores, considerando resistências elétricas e condições de instalação;
- Coordenação com dispositivos de proteção, incluindo a capacidade de interrupção dos disjuntores;
- Corrente de curto-circuito máxima esperada, que define a robustez necessária dos equipamentos.

Com base nesses critérios, a NBR 14039 estabelece que instalações de média tensão operam entre 1,0 kV e 36,2 kV, e sua adoção se justifica, principalmente, quando:

- A potência instalada for superior a 300 kVA;
- A distância até o ponto de suprimento for superior a 100 metros;
- Houver necessidade de alta confiabilidade e seletividade na proteção.

Assim, a correta definição do nível de tensão contribui significativamente para a segurança, estabilidade e durabilidade da instalação elétrica.

As tensões são classificadas em quatro níveis conforme tabela 1 abaixo.

Tabela 1 – Classificação das subestações quanto ao nível de tensão

Nível de Tensão	Tensão em kV	Aplicação
Nível I	2,3 kV - 25 kV	Indústrias de pequeno e médio portes
Nível II	34,5 kV - 46 kV	Empreendimentos industriais de grande porte na função de subestações secundárias atendendo a determinados tipos específicos de carga
Nível III	69 kV - 145 kV	Companhias distribuidoras de energia elétrica do Brasil
Nível IV	230 kV - 440 kV	Rede Básica do Sistema Interligado Nacional (SIN).

Fonte: o autor, 2025.

Classificação quanto a utilização

As subestações podem ser construídas para exercer funções diferentes, sendo elas:

Subestação elevadora: As subestações estão estrategicamente posicionadas na saída das usinas geradoras, onde desempenham um papel essencial na transmissão de energia elétrica. Sua principal função é elevar a tensão para níveis adequados de transmissão e subtransmissão, o que permite reduzir a corrente elétrica. Isso, por sua vez, contribui para a diminuição da espessura dos condutores e minimiza as perdas ao longo do percurso. Esse aumento na tensão é uma prática comum no setor elétrico, pois facilita o transporte da energia por longas distâncias, melhora a eficiência do sistema e favorece o isolamento dos condutores, garantindo maior segurança e estabilidade na distribuição da eletricidade (Muzy, 2012).

Subestação abaixadora: Esse tipo de subestação tem a função de reduzir a tensão proveniente da geração de energia, distribuindo a potência para redes de distribuição, tanto aéreas quanto subterrâneas. Dessa forma, ela alimenta outras subestações que operam em níveis de tensão mais baixos, garantindo a distribuição eficiente da eletricidade. Geralmente, essas subestações são instaladas nas áreas periféricas dos centros urbanos. Essa localização estratégica evita a necessidade de construir linhas de transmissão de alta tensão dentro das cidades, reduzindo impactos na população e permitindo um melhor aproveitamento do espaço urbano (Mamed, 2021).

Subestação de distribuição: A energia elétrica é direcionada diretamente para os consumidores a partir dessa subestação. Ela recebe a eletricidade das linhas de subtransmissão e a transfere para as redes de distribuição, geralmente reduzindo a tensão para um nível adequado ao consumo final. Esse processo garante que a energia chegue de forma segura e eficiente às residências, comércios e indústrias (Mamed, 2021).

Subestação de manobra: As subestações seccionadoras estão estrategicamente posicionadas ao longo dos sistemas de distribuição primária e operam no mesmo nível de tensão elétrica. Sua principal função é possibilitar a ramificação da rede elétrica em uma determinada região, permitindo maior flexibilidade no fornecimento de energia. Com essas subestações, a concessionária pode conectar ou desconectar diferentes circuitos conforme a necessidade, além de viabilizar o desligamento de trechos específicos da rede para manutenções preventivas ou reparos emergenciais, garantindo mais segurança e eficiência no sistema elétrico (Sampaio, 2020).

Subestação conversora: Esse tipo de subestação faz parte, geralmente, de sistemas que operam em corrente contínua e pode desempenhar a função de retificação, convertendo corrente alternada em contínua, ou de inversão, transformando corrente contínua em alternada. Seu papel é essencial para garantir a compatibilidade e o funcionamento adequado da rede elétrica conforme a demanda do sistema (Mamed, 2021).

Subestação industrial: Esse tipo de subestação recebe energia por meio de um ou mais alimentadores da rede de distribuição pública ou através de linhas de subtransmissão ou transmissão. Sua função principal é reduzir a tensão elétrica para níveis adequados ao consumo industrial, garantindo que a energia chegue de forma segura e eficiente aos equipamentos e processos produtivos (Mamed, 2021).

Classificação quanto ao tipo construtivo

Subestação abrigada: Esse tipo de subestação é construído em áreas fechadas ou cobertas, podendo estar localizado dentro de prédios, em câmaras subterrâneas ou em estruturas específicas para esse fim. É amplamente utilizado no setor industrial devido ao seu baixo custo de manutenção. No entanto, sua instalação exige um espaço relativamente maior para acomodar os equipamentos de forma adequada (Sampaio, 2020).

Subestação externa: Essas subestações são instaladas em áreas abertas e amplas, ficando expostas às condições climáticas, como chuva, vento e poluição. Por esse motivo, utilizam equipamentos projetados para resistir a esses fatores, que podem acelerar o desgaste dos materiais. Como consequência, demandam manutenções mais frequentes para garantir o bom funcionamento e a eficiência do sistema de isolamento (Muzy, 2012).

Subestação blindada: As subestações blindadas são compostas por equipamentos de potência instalados dentro de cubículos metálicos, que oferecem proteção contra agentes externos. Dependendo do nível de proteção do invólucro, podem ser instaladas tanto em ambientes fechados quanto ao ar livre. Esse tipo de subestação é ideal para locais com espaço limitado ou para suprir cargas de alta demanda diretamente no ponto de consumo. Quando instaladas a céu aberto, é essencial que possuam um grau adequado de proteção contra poeira, objetos sólidos e a entrada de água. Geralmente, essas subestações operam em sistemas de média tensão, com níveis de até 34,5 kV (Mamed, 2021).

ANÁLISE TÉCNICA DAS MEDIÇÕES PREVENTIVAS

Esta seção apresenta um estudo das medições preventivas realizadas na subestação de média tensão de uma empresa do setor industrial situada no interior do estado de São Paulo, especializada na fabricação de máquinas e equipamentos agrícolas. O serviço foi executado pela microempresa do setor de prestação de serviços em instalações e manutenções elétricas industriais do interior do estado de São Paulo. As atividades foram desenvolvidas com base em normas técnicas nacionais e internacionais, tais como:

- NBR 14039:2005 – Instalações elétricas em média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV;
- NBR 5419:2015 – Proteção contra descargas atmosféricas;
- NBR 15751:2009 – Transformadores de distribuição; NR-10:2004 – Segurança em instalações e serviços em eletricidade;
- IEC 60255:2010 – Requisitos de relés de proteção;
- IEC 60076:2018 – Transformadores de potência.

Antes da execução das medições e testes, um processo de comissionamento deve seguir uma sequência de etapas fundamentais. Inicialmente, é realizada uma

inspeção visual em todos os equipamentos da subestação para identificar condições inadequadas de montagem, conexões soltas, corrosão, falhas de isolamento, ou falta de aterramento. Em seguida, procede-se às medições elétricas, com testes de resistência de isolamentos, relação de transformação, resistência de contato e funcionamento dos dispositivos de proteção. Cada resultado é comparado com os padrões das normas aplicáveis, garantindo que os equipamentos estão prontos para operação segura.

Foram utilizados equipamentos de medição de alta precisão:

- Maleta tetrafásica UTS500: equipamento utilizado para testes em relés de proteção, simulando falhas e medindo os tempos de atuação;
- Alicates amperímetro: instrumento portátil que permite medir correntes elétricas sem interromper o circuito;
- TTR (Transformer Turns Ratio): equipamento que mede a relação de transformação entre o primário e o secundário de transformadores;
- Megômetro: utilizado para medir a resistência de isolamento entre enrolamentos ou entre partes vivas e massa. É essencial para detectar falhas de isolamento;
- Microhmímetro: mede baixas resistências elétricas em conexões, contatos e condutores, verificando a integridade e continuidade elétrica;
- Câmera termográfica: identifica pontos de aquecimento anormal nos equipamentos, prevenindo falhas por sobrecarga ou mau contato.

Foi utilizada a maleta tetrafásica UTS500 para simular correntes de falha e medir o tempo de atuação do relé Pextron URP6000, um relé multifuncional microprocessado, desenvolvido para aplicações em sistemas de média e baixa tensão, e pode ser utilizado em transformadores, motores, bancos de capacitores e barras de distribuição, possui funções ANSI padrão como 27, 59, 50, 51, 51N, 49, 46, 50BF, 74TC. A UTS500 permite avaliar se o relé está configurado corretamente para atuar em caso de sobrecorrentes. Os testes mostraram que o dispositivo está apto a operar, porém foram detectadas divergências entre os parâmetros utilizados nos testes e os do estudo de proteção, impossibilitando parte dos ensaios, especialmente a corrente de neutro. Também foi observado que as funções ANSI 27 (subtensão) e 59 (sobretensão), essenciais para a proteção do sistema, estavam desabilitadas. Recomendou-se revisão completa no estudo de curto-circuito, proteção e seletividade, em conformidade com a IEC 60255 e NBR 14039.

Foi utilizado o TTR para aferição da relação de transformação do transformador de 500kVA, garantindo a conformidade com as características nominais do equipamento. Também foi empregado o megômetro de 15 kV para medir a resistência de isolamento entre enrolamentos e massa. Todos os resultados estavam dentro dos padrões exigidos pela NBR 15751 e IEC 60076. O tap foi ajustado para 11.400 V. Os eletrodutos com passagem de cabos estavam desprotegidos, sendo corrigidos com espuma expansiva. Além dos ensaios de relação de transformação (TTR) e resistência ôhmica de isolamento com megômetro de 15 kV, foi realizada análise laboratorial do óleo isolante, abrangendo aspectos cromatográficos, físico-químicos e presença de PCBs:

- **Análise Cromatográfica de Gases Dissolvidos (DGA):** A análise seguiu os critérios da ABNT NBR 7070 e indicou condições normais de operação. Não foram detectados etano (C_2H_6), acetileno (C_2H_2) ou metano (CH_4), e o total de gases dissolvidos foi de 92.502 ppm, com apenas 109 ppm de gases combustíveis, confirmando a ausência de processos internos de falha térmica ou dielétrica.
- **Análise Físico-Química:** De acordo com a NBR 10576:2017, os parâmetros analisados demonstraram boa condição do óleo:
 - Densidade: 0,8450 g/cm³;
 - Rigidez dielétrica: 72,3 kV (acima do mínimo de 40 kV);
 - Índice de neutralização: 0,010 mgKOH/g;
 - Fator de potência a 100 °C: 0,220% (abaixo do limite de 0,25%);
 - Teor de água: 13,7 ppm, considerado aceitável para operação
- **Análise de Teor de Bifenilas Policloradas (PCB):** Conforme a ABNT NBR 13882:2021, o óleo apresentou teor inferior a 2,0 mg/kg, classificando-o como isento de PCB. Isso atende integralmente às exigências ambientais e de segurança quanto à presença dessas substâncias.

Esses resultados confirmam que o transformador de 500 kVA encontra-se em excelente condição operacional, tanto do ponto de vista elétrico quanto químico, não havendo indícios de degradação avançada ou necessidade de intervenção imediata.

Foi utilizado o megômetro para aferir os valores de resistência de isolamento dos cabos. A inspeção visual foi realizada para identificar oxidações, falhas de conexões e reapertos necessários. Reforçou-se a aplicação da NBR 14039:2005 para cabos em média tensão.

A medição de resistência ôhmica de contato da chave seccionadora foi realizada com o microhmímetro, verificando a continuidade e a qualidade do contato entre as partes condutoras. O megômetro de 15 kV foi utilizado para testar a isolação entre fases e massa. Também foi feita inspeção visual e ajustes nos contatos. As medições estavam de acordo com os limites estabelecidos pela NBR 14039:2005.

Utilizou-se megômetro para ensaios de isolamento elétrico entre as fases e a carcaça do disjuntor e microhmímetro para aferição da resistência de contato nas três fases, garantindo a eficiência de condução elétrica. A inspeção geral indicou bom estado de limpeza, contatos e componentes elétricos, conforme diretrizes da IEC 62271:2010.

Foram realizados ensaios de resistência de isolamento dos TCs e TPs com megômetro de 15 kV. Este ensaio é importante para verificar se os transformadores de corrente (TCs) e de potencial (TPs) possuem isolação adequada. Os valores estavam acima do mínimo exigido pela NBR 6856:2021. Foi registrada a ausência da placa de identificação dos TP's.

Foi realizada uma inspeção visual no transformador de 300 kVA. Durante essa inspeção, constatou-se que os cabos estavam com a isolação comprometida,

permitindo a entrada de água, além de eletrodutos deteriorados pela ação do tempo e estrutura de madeira do estaleiro apresentando pontos de corrosão. Como ações corretivas, recomendou-se a substituição dos eletrodutos por modelos galvanizados conforme a norma NBR 5598 e a substituição do estaleiro por uma estrutura metálica galvanizada ou poste específico para instalação do transformador. Para complementar os ensaios realizados em campo, foi conduzida a análise laboratorial do óleo isolante desse equipamento, a fim de avaliar as condições internas e a presença de gases indicativos de falhas dielétricas. As análises, abrangeram os seguintes aspectos:

- **Análise Cromatográfica de Gases Dissolvidos (DGA):** De acordo com a norma ABNT NBR 7070, os resultados demonstraram concentração de gases dentro dos padrões aceitáveis. Não foram detectados níveis críticos de gases combustíveis como acetileno (C_2H_2) ou metano (CH_4). O total de gases dissolvidos foi de 91.679 ppm, sendo 138 ppm de gases combustíveis, indicando condições normais de operação.
- **Análise Físico-Química:** Conforme os critérios da ABNT NBR 10576:2017, o óleo apresentou rigidez dielétrica de 75,7 kV, superior ao mínimo exigido de 40 kV. O índice de neutralização foi de 0,012 mgKOH/g, bem abaixo do limite de 0,2 mgKOH/g, e o fator de potência a 100 °C foi de 1,236%, dentro da faixa aceitável. O teor de água foi medido em 10,3 ppm, indicando boa condição de secagem do fluido.
- **Análise de Teor de Bifenilas Policloradas (PCB):** Realizada conforme a ABNT NBR 13882:2021, a análise indicou um teor de 34,2 mg/kg, classificando o fluido como “Não PCB”, ou seja, dentro dos limites permitidos para operação e descarte controlado.

Dessa forma, os resultados laboratoriais corroboram com a avaliação visual e elétrica realizada em campo, atestando que o transformador de 300 kVA encontra-se em condições satisfatórias de operação, desde que as correções estruturais recomendadas sejam implementadas.

Utilizou-se câmera termográfica com emissividade ajustada (0,95), e distância de medição de até 14 metros. Essa ferramenta detecta pontos de aquecimento que podem indicar sobrecargas, falhas de isolamento ou conexões frouxas. As temperaturas estiveram dentro dos padrões operacionais aceitáveis, indicando ausência de pontos críticos de aquecimento. Esse procedimento está em conformidade com as diretrizes da NR 10:2004 e NR5410:2004.

RESULTADOS

Esta seção apresenta os registros fotográficos obtidos durante a manutenção preventiva na subestação analisada. São analisados os resultados encontrados pela equipe técnica responsável e com os padrões exigidos pelas normas.

Equipamentos Utilizados

- Maleta EXS Tetrafásica UTS500;
- Câmera termográfica;
- Megômetro;
- TTR;
- Microhmímetro.

Imagem 1 – Equipamentos Utilizados.



Fonte: o autor, 2025.

Relé de Proteção

Imagem 2 – Maleta EXS Tetrafásica UTS500.



Fonte: o autor, 2025.

Tabela 2 – Parâmetros de Teste para Relé URP6000.

Parâmetros de Teste:			
Tolerância Atual	5,000%	Tempo Pré-padrão	0,500 s
Tolerância Abs Atual	0,050A	Saída uma vez	Falso
Tolerância Rel Tempo	5,000%	OC Direcional	Habilitar
Tempo Tolerância Abs	0,078 s	V. Falha L-N	30,000 V
Tempo máx de falha	200,00 s	Ângulo Atual	-60,000°
Intervalo Tempo	2,000 s	Bin. Inpult	1;
Lógica	OU		

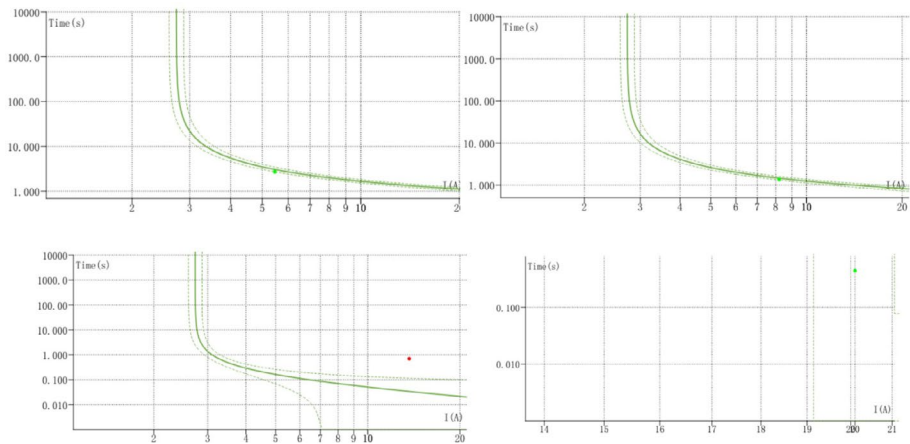
Função	Curva	Pick-up	Marcação de Tempo
50	Instantânea	20A	0,00s
51	MI	2,73A	0,800

Tipo de Falha	ABS	Função	T. Nominal	T. Mínimo	T. Máximo	Trip Time	DI	Resultado
1 A-B-C	5,460A	51	3,043s	2,696s	3,431s	2,696s	1	Aprovado
2 A-B-C	8,200A	51	1,458s	1,317s	1,601s	1,358s	1	Aprovado
3 A-B-C	13,660A	51	0,034s	0,000s	0,114s	0,691s	1	Reprovado
4 A-B-C	20,000A	50	NaN	0,000s	INF	0,444s	1	Aprovado

Fonte: o autor, 2025.

Para testar o relé multifuncional Pextron URP6000, utilizou-se a maleta tetrafásica UTS500, conectando-se os cabos de corrente (I1, I2, I3) nos terminais correspondentes do relé. Os testes simularam correntes de falha trifásica com ângulo de injeção programado e tempo de atuação cronometrado. A corrente de controle foi fornecida pela própria maleta. Foram aplicados valores conforme as curvas ANSI 50 e 51. Os valores estão sendo mostrados nas curvas de teste abaixo:

Imagem 3 – Gráficos de Teste Função ANSI 50 e 51.



Fonte: o autor, 2025.

Os resultados mostraram que o relé atuou corretamente em 3 dos 4 testes. No entanto, funções ANSI 27 e 59 estavam desativadas, não sendo possível realizar os testes de tensão. Recomendou-se reprogramação do estudo de seletividade e ativação das proteções faltantes.

Transformador de 500 KVA

Imagem 4 – Ensaios com Megômetro e TTR no Transformador.



Fonte: o autor, 2025

Tabela 3 – Resultados dos Ensaios de Resistência Ôhmica de Isolação.

Resistência Ôhmica de Isolação	
Temperatura ambiente:	21°C
Umidade relativa do ar:	58%
Resistência de isolamento mínima:	30,0 MΩ
Conexões	Valores Obtidos 1 Minuto
Alta - Baixa	1.800.000 MΩ
Alta - Massa	> 2.000.000 M Ω
Baixa - Alta	200.000 M Ω
Baixa - Massa	> 2.000.000 M Ω
Tensão de Ensaio: 10KV	
Descrição: A (Alta) - B (Baixa) - M (Massa)	

Fonte: o autor, 2025.

Tabela 4 – Resultados dos Ensaios de Relação de Transformação.

Relação de Transformação		
TAP	Conexão nas Bobinas	Relação Medida
TAP 5	H1-H2/X1-X2	34,690
	H2-H3/X2-X3	34,698
	H3-H1/X3-X1	17,347

Fonte: o autor, 2025.

Para o ensaio da relação de transformação, utilizou-se o equipamento TTR. Os cabos de medição foram conectados aos terminais de alta (H1, H2, H3) e baixa tensão (X1, X2, X3) do transformador, com alimentação CA fornecida pelo próprio instrumento. A tensão típica de ensaio é de 80 VCA. A diferença entre a razão nominal e a medida não deve ultrapassar 0,5%.

Para a resistência de isolamento, foi utilizado megômetro com tensão de ensaio de 10 kV. As medições foram feitas entre os enrolamentos e entre enrolamentos e massa. Todos os valores estavam muito acima do mínimo exigido de 30 MΩ, indicando ótima condição dielétrica.

Cabos de Alimentação E Saída

Imagem 5 - Ensaio com Megômetro nos Cabos de Saída.



Fonte: o autor, 2025.

Tabela 5 – Resultados dos Ensaio de Resistência Ôhmica de Isolação

Resistência Ôhmica de Isolação	
Temperatura ambiente:	21°C
Umidade relativa do ar:	58%
Resistência de isolamento mínima:	30,0 MΩ

Resistência Ôhmica de Isolação	
Tensão de ensaio:	10KV
Tempo de ensaio:	1 minuto

Conexões	Valores Obtidos
Reserva	1.200.000 M Ω
Fase A	1.200.000 M Ω
Fase B	480 M Ω
Fase C	540.000 M Ω

Fonte: o autor, 2025.

Os ensaios de isolamento dos cabos de média tensão foram realizados com megômetro com tensão de 10 kV por 1 minuto. Os cabos foram desconectados nos dois extremos, e as pontas foram testadas fase-fase, fase-terra e reserva-fase. As conexões do megômetro foram feitas diretamente nos terminais dos cabos. O valor mínimo de aceitação é de 30 M Ω , conforme NBR 14039.

As fases A e reserva apresentaram ótimos valores (>1.000.000 M Ω), porém a fase B mostrou resistência de 480 M Ω — ainda aceitável, mas com necessidade de monitoramento.

Chave Seccionadora

Imagem 6 – Ensaio com o Megômetro e Microhmímetro na Chave Seccionadora.



Fonte: o autor, 2025.

Tabela 6 – Resultados dos Ensaio de Resistência Ôhmica de Isolação: Chave Aberta e Fechada.

Resistência Ôhmica de Isolação	
Temperatura ambiente:	21°C
Umidade relativa do ar:	58%
Resistência de isolamento mínima:	30,0 M Ω

Conexões	Valores Obtidos	Condição da seccionadora no momento do ensaio
Fase A	500 MΩ	Chave aberta
Fase B	400 MΩ	
Fase C	600 MΩ	

Tempo de Ensaio:	1 minuto
Tensão:	10KV

Resistência Ôhmica de Isolação	
Temperatura ambiente:	21°C
Umidade relativa do ar:	58%
Resistência de isolamento mínima:	30,0 MΩ

Conexões	Valores Obtidos	Condição da seccionadora no momento do ensaio
Fase A	500 MΩ	Chave fechada
Fase B	400 MΩ	
Fase C	600 MΩ	

Tempo de Ensaio:	1 minuto
Tensão:	10KV

Fonte: o autor, 2025.

Tabela 7 – Resultados dos Ensaio de Resistência Ôhmica de Contato.

Resistência Ôhmica de Contato	
Resistência Máxima:	450 μΩ
Corrente de Ensaio:	100A
Fases	Valores Obtidos
A	73 μΩ
B	50 μΩ
C	55 μΩ

Fonte: o autor, 2025.

O microhmímetro foi utilizado para medir a resistência de contato com a chave fechada, injetando 100 A nos terminais e aferindo a queda de tensão. Já para o teste de isolamento, foi utilizado megômetro com tensão de 10 kV, com a chave nas posições aberta e fechada, medindo entre fase-fase e fase-massa.

Os cabos foram conectados diretamente nas lâminas e contatos da chave. A resistência de contato máxima aceitável é 450 μΩ. As medições ficaram entre 50 e 73 μΩ. A isolação foi satisfatória, com valores superiores a 500 MΩ.

Disjuntor

Tabela 8 – Resultados dos Ensaios de Resistência Ôhmica de Isolação: Disjuntor Aberto e Fechado.

Resistência Ôhmica de Isolação		
Temperatura ambiente:	21°C	
Umidade relativa do ar:	58%	
Resistência de isolamento mínima:	30,0 MΩ	

Conexões	Valores Obtidos	Condição do disjuntor no momento do ensaio
Fase A - massa	1.400.000 MΩ	Disjuntor aberto
Fase B - massa	1.600.000 MΩ	
Fase C - massa	1.500.000 MΩ	

Tempo de Ensaio:	1 minuto
Tensão:	10KV

Resistência Ôhmica de Isolação		
Temperatura ambiente:	21°C	
Umidade relativa do ar:	58%	
Resistência de isolamento mínima:	30,0 MΩ	

Conexões	Valores Obtidos	Condição do disjuntor no momento do ensaio
Fase A - massa	1.400.000 MΩ	Disjuntor Fechado
Fase B - massa	1.600.000 MΩ	
Fase C - massa	1.500.000 MΩ	

Tempo de Ensaio:	1 minuto
Tensão:	10KV

Fonte: o autor, 2025.

Tabela 8 – Resultados dos Ensaios de Resistência Ôhmica de Contato.

Resistência Ôhmica de Contato	
Resistência Máxima:	250 μΩ
Corrente de Ensaio:	100A
Fases	Valores Obtidos
A	30 μΩ
B	33 μΩ
C	37 μΩ

Fonte: o autor, 2025.

O ensaio de resistência de contato foi realizado com microhmímetro, aplicando corrente de 100 A entre os terminais de entrada e saída de cada fase. Para a isolamento, o megômetro foi conectado entre cada fase e a carcaça do disjuntor, utilizando tensão de 10 kV por 1 minuto.

Os valores de resistência de contato ficaram entre 30 e 37 $\mu\Omega$, dentro do limite de 250 $\mu\Omega$ (IEC 62271). A resistência de isolamento foi excelente ($>1.400.000$ M Ω), tanto com o disjuntor aberto quanto fechado.

4.6 TC's E TP's

Tabela 9 – Resultado dos Ensaios de Resistência Ôhmica de Isolação dos TC's.

Resistência Ôhmica de Isolação	
Temperatura ambiente:	21°C
Umidade relativa do ar:	58%
Resistência de isolamento mínima:	100,0 M Ω
Tensão de Ensaio:	10KV

Conexões	Valores Obtidos
Fase A - massa	300 M Ω
Fase B - massa	600 M Ω
Fase C - massa	200 M Ω

Fonte: o autor, 2025.

Tabela 10 – Resultados dos Ensaios de Resistência Ôhmica de Isolação dos TP's.

Resistência Ôhmica de Isolação	
Temperatura ambiente:	21°C
Umidade relativa do ar:	58%
Resistência de isolamento mínima:	30,0 M Ω
Tensão de Ensaio:	10KV

Conexões	Valores Obtidos
Fase A - massa	400 M Ω
Fase B - massa	500 M Ω
Fase C - massa	400 M Ω

Fonte: o autor, 2025.

Os ensaios foram realizados com megômetro ajustado para 10 kV. Os cabos de teste foram conectados entre o secundário dos transformadores e a carcaça metálica. A NBR 6856 recomenda resistência mínima de 30 M Ω (preferencialmente >100 M Ω para TP).

Os TCs e TP's apresentaram valores entre 200 MΩ e 600 MΩ, sendo considerados satisfatórios. A ausência de placa nos TP's foi registrada como não conformidade.

Transformador 300kVA

Imagem 7 – Transformador de 300kVA.



Fonte: o autor, 2025.

Imagem 8 – Resultado da Análise de Óleo.

Código Interno:	4225142251									EMPRESA CERTIFICADA ISO 9001:2015
Data Coleta da Amostra:	22/06/2024									
Data Recebimento da Amostra:	24/06/2024									
Temperatura da Amostra (°C):	-									
Temp. Termômetro do Óleo (°C):	-									
Temp. Ambiente (°C):	25,00									
Umidade Relativa do Ar (%):	42,00									
Ponto de Amostragem:	-									
Operando:	Sim									
Sistema de Preservação:	Selado									
Análise	Unid.	Método	Histórico de Ensaios							ABNT NBR 8371:2022
Teor de PCB	mg/kg	NBR 13882	34,2							50,0 Máx.
Análises	Unid.	Método Ensaio	Históricos dos Ensaios							ABNT NBR 10576:2017
Aspecto Visual	-	VISUAL	Limpido							NÃO ESPECIFICADO
Cor	-	ABNT NBR 14483	1,0							NÃO ESPECIFICADO
Densidade a 20/4 °C	g/cm³	ABNT NBR 7148	0,8650							NÃO ESPECIFICADO
Tensão Interfacial	mN/m	ABNT NBR 6224	29,7							20,0 Mín.
Teor de Água - Medido	ppm	ABNT NBR 10710	10,3							40,0 Máx.
Teor de Água Corrigido a 20°C	ppm	ABNT NBR 10710	-							-
Índice de Neutralização	mgKOH/Vg	ABNT NBR 14248	0,012							0,200 Máx.
Rigidez Dielétrica (Disco)	kV	ABNT NBR 6869	75,7							40,0 Mín.
Fator de Potência a 90 °C	%	ABNT NBR 12133	-							15,000 % Máx.
Fator de Potência a 100 °C	%	ABNT NBR 12133	1,236							20,000 % Máx.
-	-	-	-							-
-	-	-	-							-
-	-	-	-							-

Gases dissolvidos (ppm)	Histórico dos Ensaios						Taxa de Crescimento (% ao Mês)
H2 (hidrogênio)	6						
O2 (oxigênio)	19504						
N2 (nitrogênio)	70638						
CO (monóxido de carbono)	125						
CH4 (metano)	ND						
CO2 (dióxido de carbono)	1399						
C2H4 (etileno)	4						
C2H6 (etano)	3						
C2H2 (acetileno)	ND						
Total de Gases	91679						
Total de Gases Combustíveis	138						

Fonte: o autor, 2025.

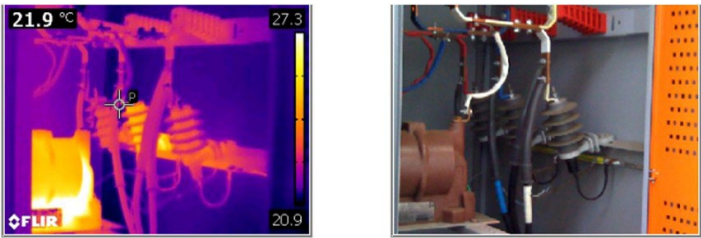
Para avaliação da condição interna do equipamento, realizou-se a coleta e análise do óleo isolante, como foi feita no transformador de 500kVA.

A coleta foi realizada conforme os procedimentos da ABNT NBR 10576:2017. O ponto de coleta deve estar localizado na parte inferior do transformador, no registro de drenagem. Antes da coleta, é necessário escoar os primeiros 2 a 3 litros de óleo para eliminar resíduos acumulados no fundo do tanque. A amostra deve ser coletada em frascos de vidro âmbar ou plástico especial (polietileno de alta densidade), devidamente limpos, secos e vedados, evitando qualquer contaminação externa. As amostras são identificadas, lacradas e enviadas ao laboratório em temperatura ambiente.

Os resultados das análises demonstraram boa condição interna do equipamento.

Termografia

Imagem 9 – Imagem Captada na Câmera Termográfica.



Fonte: o autor, 2025.

Tabela 11 – Parâmetros Utilizados na Câmera e Temperatura do Ponto.

Medições	
Ponto	21,9° C

Parâmetros	
Temperatura refletida	21,9°C
Temperatura atmosférica	19°C
Emissividade	0,95
Distância	4m
Humidade relativa	79%
Bússola	Oeste

Fonte: o autor, 2025.

A análise termográfica foi realizada em 19 pontos, o ponto de exemplo acima é do cubículo de medição. A câmera termográfica foi ajustada com emissividade 0,95 e utilizada a uma distância de 4 metros. Foram verificados todos os terminais e conexões visíveis sob carga. A imagem térmica foi comparada com a temperatura ambiente e de referência.

A ausência de pontos de aquecimento acima de 10 °C em relação ao entorno indicou que não há sobrecargas ou mau contato aparente. O teste está de acordo com a NR 10 e a NBR 5410.

Procedimentos e Limites de Aceitação em Ensaios de Comissionamento

No contexto industrial, recomenda-se que os testes elétricos descritos nesta seção sejam repetidos anualmente como parte de um plano de manutenção preventiva.

Essa prática segue diretrizes técnicas de normas complementares, como a ABNT NBR 5460:1994 (Manutenção elétrica industrial), que recomenda a implementação de políticas sistemáticas de manutenção com foco na prevenção de falhas, e é também respaldada por orientações da IEEE 62 e procedimentos de concessionárias. A própria ABNT NBR 14039:2005, ao tratar das inspeções e ensaios em equipamentos de média tensão, reforça a importância da manutenção periódica para garantir o desempenho e a segurança das instalações. Portanto, mesmo após o comissionamento inicial, a continuidade desses ensaios em ciclos anuais é essencial para o funcionamento seguro da subestação.

Abaixo estão listados os principais ensaios aplicados durante o comissionamento e manutenção preventiva de subestações industriais, juntamente com os equipamentos utilizados, limites mínimos de aceitação e a periodicidade recomendada conforme a NBR 14039 e práticas da ABNT:

Tabela 12 – Etapas para Realização de Comissionamento.

Etapas do Comissionamento	Ensaio Realizado	Equipamento Utilizado	Valor Mínimo Aceitável / Referência
Inspeção visual geral	Verificação física e estrutural	Inspeção manual	Sem corrosão, danos ou falhas aparentes

Etapas do Comissionamento	Ensaio Realizado	Equipamento Utilizado	Valor Mínimo Aceitável / Referência
Transformadores – Relação de Espiras	Ensaio de relação de transformação	TTR	Erro $\leq 0,5\%$ (IEC 60076)
Resistência de isolamento geral	Fase-fase, fase-massa	Megômetro 15 kV	$\geq 30 \text{ M}\Omega$ (NBR 14039, NBR 10576)
Disjuntores e seccionadoras	Resistência de contato	Microhmímetro	$\leq 250 \text{ }\mu\Omega$ (disjuntor), $\leq 450 \text{ }\mu\Omega$ (seccionadora)
Relés de proteção	Tempo de atuação (curvas ANSI)	Maleta de testes (UTS500)	Conforme curva e IEC 60255
Cabos de potência	Resistência de isolamento	Megômetro	$\geq 30 \text{ M}\Omega$
TCs e TPs	Resistência de isolamento	Megômetro	$\geq 30 \text{ M}\Omega$ (preferível $> 100 \text{ M}\Omega$ para TPs)
Análise do óleo isolante	Cromatografia, rigidez, PCBs	Laboratório	Rigidez $\geq 40 \text{ kV}$, PCB $< 50 \text{ mg/kg}$ (NBR 7070 / 13882)
Termografia	Deteção de pontos quentes	Câmera termográfica	$\Delta T \leq 10 \text{ }^\circ\text{C}$ em relação ao entorno

Fonte: o autor, 2025.

Os resultados demonstram que os equipamentos da subestação se encontram, em sua maioria, em boas condições operacionais. Contudo, a confiabilidade do sistema de proteção precisa ser aprimorada com revisões no estudo de curto-circuito, ajustes nos relés e ativação de todas as funções essenciais. As intervenções corretivas realizadas durante a manutenção demonstram boas práticas alinhadas às normas vigentes, reforçando a importância do comissionamento e das inspeções periódicas para segurança e eficiência operacional.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O trabalho teve como objetivo analisar os procedimentos técnicos e normativos aplicados ao comissionamento de subestações elétricas, utilizando como base um estudo em uma microempresa do setor de instalações e manutenções industriais. Por meio da documentação técnica e da análise das medições realizadas na empresa, foi possível compreender, na prática, como os ensaios devem ser executados, quais parâmetros precisam ser observados e quais normas regulamentam cada etapa.

Com base nesse estudo, pode-se responder ao problema de pesquisa: os principais desafios no comissionamento de subestações estão na correta aplicação dos ensaios técnicos, na interpretação dos resultados e no cumprimento rigoroso das normas técnicas, especialmente em ambientes industriais que demandam alta confiabilidade. A ausência de um planejamento adequado, de mão de obra qualificada ou a negligência de detalhes normativos pode comprometer a segurança, provocar falhas operacionais e gerar prejuízos financeiros.

Por outro lado, foram observadas também as melhores práticas, como a utilização de equipamentos de medição calibrados, o registro completo dos valores obtidos, a comparação com os limites normativos e a emissão de relatórios técnicos detalhados. Além disso, o trabalho destacou a importância de realizar manutenções preventivas periódicas, uma vez que os ensaios não se limitam ao momento do comissionamento inicial, sendo recomendada sua repetição anual conforme a NBR 5460 e orientações da NBR 14039.

Conclui-se, portanto, que a adoção de práticas padronizadas, o uso de instrumentos apropriados e o alinhamento às normas técnicas são fundamentais para garantir a segurança, a eficiência operacional e a vida útil dos equipamentos em subestações elétricas. O comissionamento, quando bem executado, não apenas atesta a prontidão da instalação para entrar em operação, mas também previne falhas e contribui para a excelência técnica no setor elétrico industrial. Destaca-se, ainda, que esse tipo de serviço deve obrigatoriamente ser realizado por uma empresa capacitada e legalmente registrada, com um engenheiro eletricista responsável técnico devidamente habilitado e com registro ativo no Conselho Regional de Engenharia e Agronomia (CREA), assegurando a responsabilidade técnica e a conformidade legal da atividade.

REFERÊNCIAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410:2004** – Instalações elétricas de baixa tensão. Rio de Janeiro, 2004.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14039:2005** – Instalações elétricas em média tensão de 1,0 kV a 36,2 kV. Rio de Janeiro, 2005.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15751:2009** – Transformadores de distribuição: requisitos gerais. Rio de Janeiro, 2009.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7070:2021** – Óleo isolante – Determinação de gases dissolvidos por cromatografia gasosa. Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10576:2017** – Óleo isolante – Ensaio físico-químico – Procedimento. Rio de Janeiro, 2017.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13882:2021** – Determinação de bifenilas policloradas (PCBs) em líquidos isolantes – Método por cromatografia gasosa. Rio de Janeiro, 2021.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5440:1989** – Transformadores de potência – Terminologia. Rio de Janeiro, 1989.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5419:2015** – Proteção contra descargas atmosféricas. Rio de Janeiro, 2015.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6234:2022** – Óleo isolante – Medição da tensão interfacial. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12133:2022** – Óleo isolante – Medição do fator de potência. Rio de Janeiro, 2022.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7148:2021** – Óleo isolante – Determinação da rigidez dielétrica. Rio de Janeiro, 2021.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14483:2019** – Óleo isolante – Determinação do teor de água. Rio de Janeiro, 2019.

AGÊNCIA GOV. **Matriz elétrica brasileira registra maior expansão da história em 2024**. Disponível em <https://agenciagov.ebc.com.br/noticias/202501/matriz-eletrica-brasileira-registra-maior-expansao-da-historia-em-2024> Acesso em 22 mar. 2025.

ALVES, Ramon Sousa. **Comissionamento de uma Subestação de 138kv com sistema de proteção e automação digitalizado estudo de caso: SD Safra**. 2022. 101 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Serra, 2020.

GOMES, Roberto. **A Gestão do Sistema de Transmissão do Brasil**. Rio de Janeiro. Editora FGV, 2012.

GOVERNO DO ESTADO PARANÁ. **Copel tem nove subestações em construção para reforçar o fornecimento de energia**. Disponível em <https://www.aen.pr.gov.br/Noticia/Copel-tem-nove-subestacoes-em-construcao-para-reforcar-o-fornecimento-de-energia> Acesso em 22 mar. 2025.

IEC – INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60076** – Power transformers – Partes diversas. Geneva, Suíça, 2000–2023. (Norma internacional de transformadores de potência).

IEC – INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 60255** – Measuring relays and protection equipment – General requirements. Geneva, Suíça, 2009.

IEC – INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **IEC 62271-100:2012** – High-voltage switchgear and controlgear – Part 100: Alternating-current circuit-breakers. Geneva, Suíça, 2012.

MAMED, João Filho. **Subestações de Alta Tensão**. Rio de Janeiro. Editora LTC, 2021.

MENDONÇA, Gabriel Ferreira. **Procedimentos realizados em manutenções de subestações de média e baixa tensão**. 2023. 171 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Goiás, Itumbiara, 2023.

MUZY, Gustavo Luiz Castro de Oliveira. **Subestações Elétricas**. 2012. 122 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

NR 10 – **Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Portaria SIT nº 598. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/>. Acesso em: 25 mai. 2025.

PEXTRON. **Manual Técnico do Relé de Proteção URP 6000** – Versão 2.1. São José dos Campos: Pextron Tecnologia, 2023.

O SETOR ELÉTRICO. **Cemig investe R\$ 81 milhões na construção de Linhas de Distribuição e subestação na Zona da Mata e beneficia mais de meio milhão de pessoas**. Disponível em <https://www.osetoelettrico.com.br/cemig-investe-r-81-milhoes-na-construcao-de-linhas-de-distribuicao-e-subestacao-na-zona-da-mata-e-beneficia-mais-de-meio-milhao-de-pessoas/> Acesso em 22 mar. 2025.

SAMPAIO, Rodrigo Duarte. **Subestações de energia elétrica: metodologia e dimensionamento ara uma planta elétrica industrial**. 2020. 106 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2020.

SILVA, Douglas. **Entendimento de diretrizes para comissionamento de Subestação de energia elétrica industrial**. 2020. 70 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Engenharia Elétrica, Universidade do Sul de Santa Catarina, Tubarão, 2020.