

RMM - REQUISITOS MÍNIMOS DE MANUTENÇÃO ESTUDO DE CASO DE UM AUTOTRANSFORMADOR DA SUBESTAÇÃO GUARAPUAVA OESTE

OLIVEIRA, Alexandre¹

GROSSKO, Rafaela²

RESUMO: Este trabalho apresenta um estudo de caso sobre a manutenção preventiva aplicada em autotransformadores de alta tensão instalados em uma subestação localizada no município de Guarapuava, Paraná. O objetivo é analisar os procedimentos de inspeção e ensaios elétricos realizados durante a manutenção de um banco de transformadores, destacando a importância dessas práticas para a confiabilidade e segurança do sistema elétrico. A pesquisa foi conduzida com base em revisão bibliográfica, análise de normas técnicas e observação prática do processo de manutenção, abrangendo etapas como inspeção visual, termográfica e ensaios elétricos de diagnóstico. Os resultados demonstram que a manutenção preventiva é essencial para detectar falhas em seu estágio inicial, reduzir custos operacionais e prolongar a vida útil dos equipamentos, evitando interrupções não programadas no fornecimento de energia. A aplicação sistemática de rotinas preventivas contribui de forma significativa para o desempenho, a eficiência e a disponibilidade das instalações elétricas de alta tensão.

PALAVRAS-CHAVE: Manutenção preventiva. Autotransformadores. Subestação de energia. Confiabilidade.

ABSTRACT: This paper presents a case study on preventive maintenance applied to high-voltage autotransformers installed in a substation located in the municipality of Guarapuava, Paraná, Brazil. The objective is to analyze the inspection procedures and electrical tests performed during the maintenance of a transformer bank, highlighting the importance of these practices for the reliability and safety of the electrical system. The research was conducted based on a literature review, analysis of technical standards, and practical observation of the maintenance process, covering stages such as visual inspection, thermographic analysis, and diagnostic electrical testing. The results show that preventive maintenance is essential for detecting incipient failures, reducing operational costs, and extending the equipment's service life, thus avoiding unplanned power interruptions. It is concluded that the systematic application of preventive routines significantly contributes to the performance, efficiency, and availability of high-voltage electrical installations.

KEYWORDS: Preventive maintenance. Autotransformers. Power substation. Reliability.

1 INTRODUÇÃO

À medida que os anos passam a população aumenta e novas tecnologias surgem, as quais grande parte necessitam de energia elétrica para o seu funcionamento com isso exigindo mais do sistema interligado nacional (SIN). No Brasil, as empresas de transmissão de energia elétrica são remuneradas para que façam as manutenções dos equipamentos de transmissão e os mantenham operacionais independentemente de estarem energizados ou não, mantendo sempre

¹ Graduando(a) de Engenharia Elétrica no Centro Universitário Campo Real. enge-alexandreoliveira@camporeal.edu.br

² Graduada em Engenharia Elétrica. Especialização em Docência Ensino Superior. Professora no Centro Universitário do Campo Real. prof_rafaelagrossko@camporeal.edu.br

disponível para o sistema, ficando a cargo do Operador Nacional do Sistema (ONS) decidir como os equipamentos serão usados frente às condições sistêmicas que são supervisionadas e mantidas no padrão pela entidade (MATIAS e XEREZ, 2015)

A subestação elétrica pode ser definida como um conjunto de equipamentos que tem como objetivo mudar as características da energia elétrica, aumentando ou diminuindo a tensão e a corrente, dessa maneira é possível manter a energia elétrica dentro de valores pré-estabelecidos para a transmissão e distribuição (OLIVEIRA, 2022).

Conforme destaca Lemos (2019), para que uma instalação mantenha a função para a qual foi projetada, é essencial que suas máquinas e estruturas sejam preservadas em condições adequadas de operação. Para isso, fazem-se necessárias atividades contínuas de manutenção, como reparos, inspeções, rotinas preventivas, substituição de componentes, troca de óleo, limpezas, pintura e correção de defeitos.

De acordo com Abreu (2018), para garantir a disponibilidade dos ativos e o bom desempenho operacional, é indispensável a adoção de práticas de manutenção adequadas, especialmente a manutenção preventiva. Esse tipo de manutenção contribui para a redução de custos e para o aumento da confiabilidade dos equipamentos.

2 METODOLOGIA

Diante da importância da manutenção preventiva para garantir a confiabilidade e a segurança dos sistemas de transmissão de energia, o presente artigo propõe a análise dos procedimentos aplicados na manutenção dos autotransformadores em uma subestação localizada em Guarapuava, Paraná. O estudo busca compreender as práticas adotadas, os ensaios elétricos realizados e os benefícios obtidos com a manutenção preventiva, relacionando a teoria com a prática operacional.

2.1 SUBESTAÇÃO DE ENERGIA

Na física, a energia é definida como a capacidade de realizar um trabalho, como mover ou aquecer objetos. Uma das formas mais conhecidas de energia é a energia elétrica ou eletricidade, que é o fluxo de cargas elétricas, sejam elas positivas ou negativas (NEOENERGIA, 2024).

Segundo Monteiro (2023), as subestações são compostas por equipamentos de manobra, transformação e compensação reativa, cuja função é direcionar o fluxo de energia no sistema elétrico, garantindo rotas alternativas e a atuação de dispositivos de proteção capazes de isolar falhas. A Figura 1 a seguir demonstra a subestação de Guarapuava Oeste (GUO).

Figura 1 - Subestação Guarapuava Oeste 230/138 kV



Fonte: O autor (2025)

2.2 TRANSFORMADOR

Transformadores são equipamentos de extrema importância nos sistemas de conversão e distribuição de energia elétrica e estão presentes desde a planta geradora, elevando a tensão para níveis adequados à transmissão a longas distâncias, até a distribuição, reduzindo a tensão para níveis de consumo residencial (SILVA et al., 2011). Na Figura 2 a seguir pode-se observar os diferentes tipos de transformadores utilizados desde a geração até o consumidor final.

Figura 2 - Sistema básico de transmissão de energia elétrica



Fonte: Bechara, 2010

Segundo Souza (2017), durante o período em que o transformador é utilizado, ele fica exposto a variadas condições adversas que podem afetar sua performance ao longo do tempo.

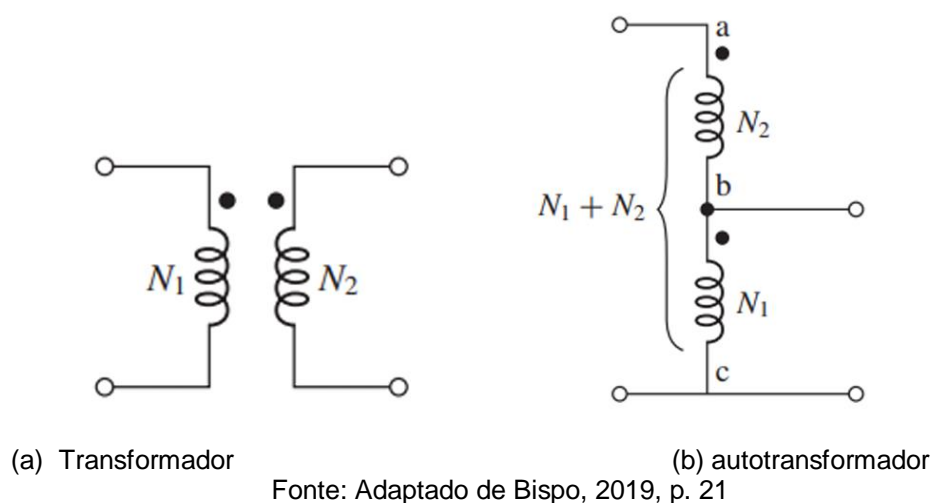
2.3 AUTOTRANSFORMADOR

Apesar da larga utilização do transformador convencional, o autotransformador tem se mostrado, em algumas aplicações, uma opção viável do ponto de vista técnico-econômico, destacando-se o melhor rendimento e a regulação de tensão do equipamento (IMBIRIBA, 2020, p.31).

Os autotransformadores diferenciam-se dos transformadores convencionais por possuírem uma conexão elétrica direta entre parte dos enrolamentos primário e secundário. Essa característica estrutural permite que uma fração da potência seja transferida por condução, enquanto o restante é transformado eletromagneticamente. Como consequência, o dispositivo é capaz de operar com maior eficiência e transportar uma quantidade superior de energia utilizando menos material ativo. Para ilustrar essa diferença, um autotransformador que realiza determinada função pode exigir apenas cerca de 1.015 kVA de potência nominal em seus enrolamentos, enquanto um transformador convencional, para realizar o mesmo trabalho, necessitaria de aproximadamente 5.000 kVA, evidenciando a economia de cobre e a maior capacidade operativa proporcionada pela configuração autotransformada (BISPO, 2022, p. 19).

A Figura 3 abaixo demonstra de forma simplificada a diferença de ligação entre um transformador convencional e um autotransformador.

Figura: 3 – Ligação transformador(a) e autotransformador(b)



Os autotransformadores são constituídos por diversas partes: bucha de alta tensão (AT), Bucha de baixa tensão (BT), núcleo, tanque de expansão, óleo, enrolamentos, acessórios. sendo que os enrolamentos são a parte mais importante do equipamento (AMARAL, 2007).

A Figura 4 a seguir demonstra um autotransformador WEG de 50 Mva 230/138/13.8 kV.

Figura 4 – Autotransformador WEG 230/138/13.8Kv



Fonte: O autor (2025)

Utiliza-se para o controle de tensão no lado de baixa tensão (BT) um transformador com regulador com “*taps*” variáveis. O regulador automático com “*taps*” em autotransformadores de potência de sistemas de distribuição permite efetuar a regulação com carga conectada (FRANCISQUINI, 2006).

2.4 CÂMERA TERMOGRÁFICA FLIR T530

Câmeras infravermelhas que originalmente foram desenvolvidas para uso militar durante a Guerra da Coreia acharam rapidamente outras aplicações. Por meio desta tecnologia é possível detectar processos de falhas, gerados por anomalias térmicas, em estágios iniciais, em um dado componente de um equipamento elétrico ou mecânico (SAMPAIO; et al, 2015, p. 1). A inspeção possui algumas vantagens e desvantagens como demonstrado na Tabela 1 a seguir.

Tabela 1 - Vantagens e desvantagens da termografia

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Técnica segura	Capacitação do Técnico
Detecta a radiação térmica	Influências climáticas
Detecta defeitos em estágios iniciais	Estimar tempo de falha
Direcionamento da manutenção	
Alta produtividade	

FONTE: Adaptado de OLIVEIRA, 2023

Segundo Oliveira (2019) a termografia é uma técnica de sensoriamento remoto que possibilita a medição de temperaturas e a formação de imagens térmicas de um componente ou equipamento, a partir da radiação infravermelha. Nas inspeções realizadas na SE GUO utilizou-se a câmera termográfica da marca FLIR modelo T530 como demonstrado na figura 5 a seguir.

Figura 5 - Câmera termográfica marca FLIR - Modelo T530



Fonte: Site FLIR (2025)

Segundo Sampaio; *et al*, (2015) atualmente, devido ao seu processamento digital, câmeras termográficas permitem facilmente a aquisição, transmissão e pós processamento de imagens infravermelhas de alta qualidade

2.5 MEGGER TRAX 220

Nos ensaios realizados nos autotransformadores da SE GUO, utilizou-se o sistema multifuncional de testes da marca Megger modelo TRAX 220, representado na Figura 6 a seguir, segundo o fabricante a TRAX 220 é um sistema portátil e compacto multifuncional para ensaios em transformadores de potência e ativos de subestação, capaz de executar mais de 20 testes elétricos diferentes com um único equipamento (MEGGER, 2025).

Figura 6 - Megger TRAX 220



Fonte: Site Megger (2025)

3 ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Como apontam Paulino (2014) e Lemos (2019), o desgaste proveniente da operação contínua, aliado à ação de fatores ambientais, afeta diretamente o desempenho das máquinas elétricas, tornando indispensáveis práticas sistemáticas de inspeção, limpeza e manutenção preventiva para manter os equipamentos dentro dos padrões de funcionamento.

3.1 INSPEÇÃO TERMOGRÁFICA

Após a inspeção em campo utilizou-se o software FLIR tools para o tratamento da imagem. Como demonstrado na Figura 7 é possível observar a distribuição térmica dos componentes, destacando-se as regiões dos Radiadores (Bx1), Terminal H1 (Bx2), Terminal X1 (Bx3) e terminal H0 (Bx4), onde foram realizados pontos de medição.

Figura 7 - Imagem termográfica tirada com a câmera Flir T530



Fonte: O Autor (2025)

3.2 ENSAIO DE RELAÇÃO TRANSFORMAÇÃO (TTR)

A relação de transformação é um parâmetro essencial para avaliar a integridade e o correto funcionamento das bobinas de um transformador. Durante as atividades de manutenção e diagnóstico, utiliza-se amplamente o ensaio Transformer Turns Ratio Test (TTR), que permite verificar se a relação entre as espiras dos enrolamentos primário e secundário permanece dentro dos limites especificados pelo fabricante (OLIVEIRA, 2019, p 35)

O ensaio TTR é realizado conectando as pontas de prova do equipamento. A configuração das pontas de prova é diretamente dependente do tipo de ligação definido na fabricação do transformador. Após o posicionamento correto nas bobinas do primário e do secundário, o resultado obtido deve ser validado em comparação com a relação teórica esperada (OLIVEIRA, 2019, p 35)

Ainda segundo Oliveira (2019) Durante o ensaio de relação de transformação, é fundamental verificar a posição do “tap” no comutador do transformador. O “tap” corresponde à posição do regulador de tensão responsável por ajustar a relação entre o número de espiras dos enrolamentos primário e secundário. Ao modificar essa posição, altera-se diretamente a relação de transformação disponível, o que resulta em variações na tensão aplicada ao secundário. Dessa forma, garantir que o ensaio seja realizado na posição correta do “tap” é essencial para obter medições precisas e compatíveis com os valores nominais especificados pelo fabricante.

Levando em consideração a tensão do autotransformador, sendo 230/138/13,8KV, é possível calcular a relação transformação a partir da Equação 1 abaixo.

Equação 1 – Relação transformação

$$\alpha = \frac{V1}{V2} = \frac{N1}{N2}$$

Onde:

α - é a relação de transformação

V1 - tensão no enrolamento primário (alta tensão)

V2 - tensão no enrolamento secundário (baixa tensão)

N1 - número de espiras no primário

N2 - número de espiras no enrolamento secundário.

A Tabela 2 a seguir refere-se ao teste de TTR entre os enrolamentos Primário e Terciário esse ensaio tem por finalidade demonstrar se a relação entre as espiras está condizente com o definido no momento da sua fabricação.

Tabela 2 - Relação de transformação Primário x Terciário

CONEXÃO	TAP (T)	Tensão do Tap (V)	U	TTR	TTR medida	Erro	Exc	Fase
H1-HOXO/Y1-Y0	1	13 800	79,99 V	9,623	9,626	0,03%	800,6 μ A	-0,02

Fonte: Adaptado relatório Megger TRAX 220

Conforme mostrado na Tabela 3 os testes de relação transformação do enrolamento primário x secundário não foram realizados em todos os “taps” do autotransformador pois por se tratar de uma atividade programada há também um limite de tempo de desligamento do banco de autotransformadores, estrategicamente os testes foram realizados em 4 posições diferentes de “taps”. Nos quais o “tap” 1 é o valor de maior tensão, “tap” 9 é o “tap” de operação que trabalha o autotransformador, “tap” 17 trata-se do “tap” central e por fim o tap 33 que é “tap” de menor tensão do autotransformador.

Tabela 3 – Relação transformação Primário x Secundário

Conexão	TAP (T)	Tensão do Tap (V)	U	TTR	TTR medida	Erro	Exc	Fase
H1-HOXO/Y1-HOX0	33	200 000	79.99 V	1.449	1.450	0,04%	926,8 μ A	0.0°
H1-HOXO/Y1-HOX0	17	220 000	80.00 V	1.594	1.595	0,04%	831.9 μ A	0.0°
H1-HOXO/Y1-HOX0	9	230 000	80.00 V	1.667	1.667	0,04%	790.6 μ A	0.0°
H1-HOXO/Y1-HOX0	1	240 000	80.01 V	1.739	1.740	0,05%	747.6 μ A	0.0°

Fonte: Adaptado Relatório Megger TRAX 220

Para teste de relação TTR os resultados obtidos estão listados na Tabela 4 a seguir

Tabela 4 – Relação de transformação Secundário x Terciário

Conexão	Tap (S)	Tensão do Tap (V)	U	TTR	TTR medida	Erro	I Exc	Fase
X1-H0X0/Y1-Y0	1	79 676	79.98 V	5.774	5.774	-0.00 %	1.508 mA	-0.02

Fonte: Adaptado Relatório Megger TRAX 220

3.3 ENSAIO DE RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO

A resistência de isolamento corresponde à dificuldade imposta pelo material isolante à passagem de corrente elétrica. Seus valores podem variar de acordo com diferentes condições ambientais e operacionais, sendo influenciados principalmente pela umidade, acúmulo de sujeira, alterações na capacitância do isolamento, variações na resistência total, perdas superficiais e mudanças na temperatura do material. Essas interferências podem reduzir significativamente a eficiência do isolamento, tornando essencial a realização periódica de medições para garantir a integridade dielétrica dos equipamentos (PAULINO, 2014).

O ensaio de resistência de isolamento consiste na aplicação de uma tensão em corrente contínua sobre o sistema isolante do equipamento de 5 kV, provocando a circulação de uma pequena corrente de fuga. Embora amplamente utilizado, esse ensaio não deve ser interpretado como critério único de aprovação ou rejeição do equipamento, mas sim como uma ferramenta complementar de diagnóstico (PAULINO, 2014).

Conforme Figura 8 a seguir, um dos testes realizado foi do enrolamento terciário para a massa na realização do teste, foi utilizado um megômetro da marca Megabrás, que aplica uma tensão contínua controlada.

Figura 8 – Megôhmetro Megabrás modelo MI5500I



Fonte: O Autor (2025)

Foram aplicados diversos testes de resistência de isolamento em diversas configurações diferentes seguindo as normas e conforme plano de manutenção interno da empresa. Os resultados obtidos nos testes estão listados na Tabela 5 a seguir coluna “Valor $M(\Omega)$ ”.

Tabela 5 – Valores das resistências de isolamento obtidas

Ensaio Resistencia de Isolação ATF3 Fase A				
Cabo Vermelho	Cabo Preto	Cabo GUARD	Valor $M(\Omega)$	Tensão Megger (Kv)
AT + BT	T	-	20000	5
AT + BT	M	-	23500	5
AT + BT	M	T	24000	5
T	AT + BT	-	22000	5
T	M	AT + BT	29000	5
Parte Ativa Principal				
N	M		6800	1
Para-Raios – Terciário 13,8 kV				
B	M		34000	5
AT - Enrolamento de Alta Tensão	T- Enrolamento Terciário	N- Núcleo	[]- Guard	
BT- Enrolamento de Baixa Tensão	M-Massa	V- Viga	B- Base do para-raios	

Fonte: Adaptado de documentos internos da empresa

3.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA ÔHMICA DOS ENROLAMENTOS

O ensaio consiste em posicionar as pontas de prova entre os enrolamentos de alta tensão, após isso, entre os enrolamentos de baixa tensão. O equipamento irá injetar uma corrente contínua conhecida, conforme definido previamente e apresentará uma resistência no visor conforme a queda de tensão. Para garantir maior precisão nos resultados, deve-se validar a fixação das pontas de prova e garantir que os terminais das bobinas estejam limpos corretamente. O resultado deve ser coletado após um minuto da medição, juntamente com os dados de temperatura do ambiente. A resistência é obtida pela lei de Ohm conforme a Equação 2 a seguir:

Equação 2 – Cálculo da resistência

$$R = \frac{V}{I}$$

Onde:

R é resistência a ser obtida

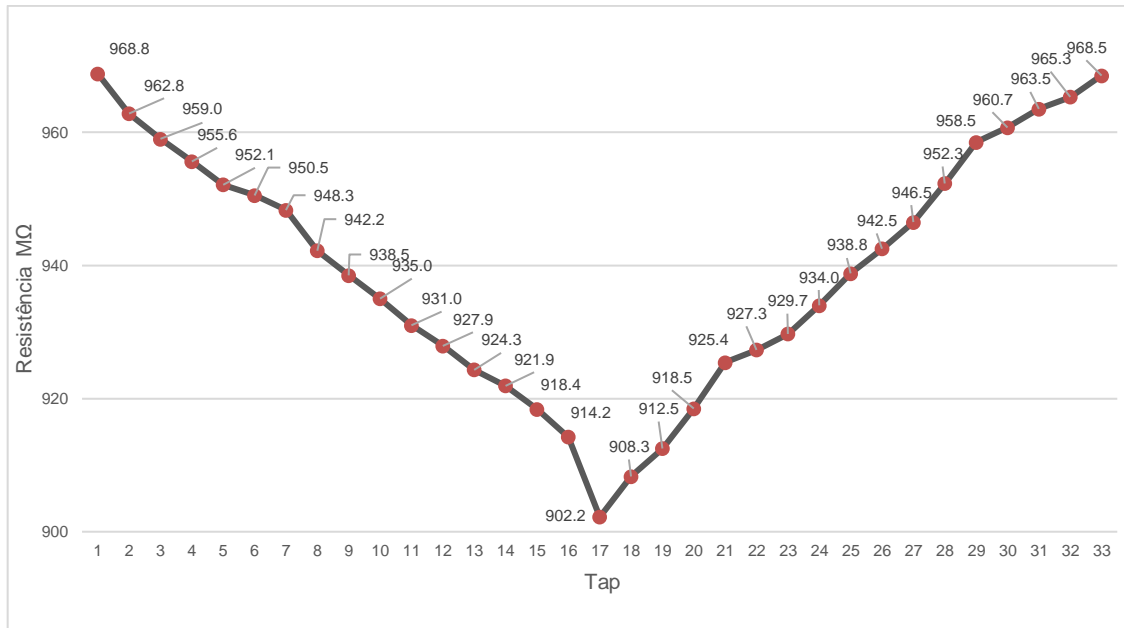
V é a queda de tensão medida nos terminais

I é a corrente injetada.

Com o auxílio do Megger TRAX 220, que aplica uma corrente contínua de baixa tensão e mede a queda de potencial entre os terminais de cada fase. Antes da execução do teste, o autotransformador foi desenergizado, isolado e devidamente aterrado. As medições foram realizadas em corrente contínua, aguardando a estabilização térmica para evitar interferências nos resultados devido ao efeito Joule.

No Gráfico 1 a seguir refere-se ao teste de resistência ôhmica dos enrolamentos, note que o gráfico segue um padrão e que não há curvas bruscas de que é um sinal de que os enrolamentos permanecem dentro dos parâmetros desejados.

Gráfico 1 - Ensaio das resistências ôhmicas dos enrolamentos



Fonte: Adaptado de relatório Megger TRAX 220

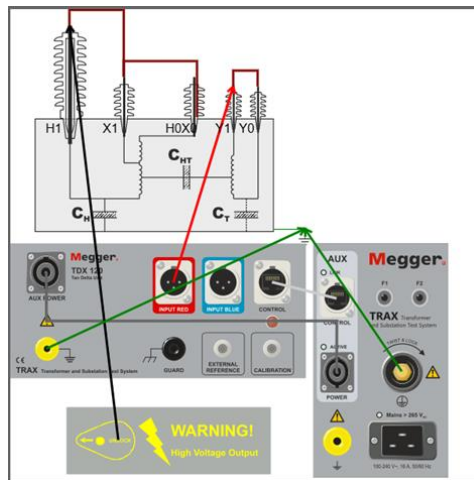
3.5 ENSAIO DE FATOR DE POTÊNCIA DO ISOLAMENTO (TAN Δ)

O fator de potência, definido como a razão entre a potência ativa e a potência aparente, constitui um dos principais indicadores da eficiência no uso da energia elétrica. Valores reduzidos de fator de potência evidenciam maior demanda de potência reativa, o que provoca aumento das perdas no sistema e compromete a utilização adequada da capacidade dos transformadores, podendo acarretar sobrecargas e redução da vida útil dos equipamentos (MACIEL, 2024).

O teste consiste em aplicar uma tensão alternada controlada entre o enrolamento e o tanque do transformador, medindo a corrente de perda dielétrica e a corrente capacitiva. A relação entre ambas determina o fator de potência, representado por $\tan \delta$. O ensaio foi executado com o equipamento Megger TRAX 220. Os resultados obtidos foram comparados com os valores de referência recomendados para autotransformadores imersos em óleo e também comparado com os valores de comissionamento realizado em campo.

A Figura 9 a seguir simplifica o esquema de ligação do ensaio realizado medindo o fator de potência e capacitância entre os enrolamentos H1+X1+H0 x Y1+Y2, medindo o valor CHT, (Considerar Y0 da imagem para Y2), modo de teste UST-R. Ensaio realizado em UST, refere-se às amostras não aterradas.

Figura 9 – Conexão da Trax 220 e modulo TDX 120 no autotransformador



Fonte: Documentos internos da empresa

Tabela 6 – Resultado do ensaio de fator de potência e capacitância

Modo de Teste	f (Hz)	U	I eq	C	% PF a 18°C	P eq a 18 °C
UST-R	60.00	10.00 kV	6.968 mA	1.848 nF	0.173	120,7 mW

Fonte: Adaptado de relatório TRAX 220

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização da manutenção preventiva no banco de autotransformadores da Subestação Guarapuava Oeste demonstrou a importância das práticas sistemáticas de inspeção e ensaios elétricos para garantir a confiabilidade e a continuidade do fornecimento de energia no Sistema Interligado Nacional. Por meio das atividades executadas, foi possível verificar o estado operacional dos equipamentos, identificar anomalias térmicas e avaliar parâmetros elétricos essenciais, assegurando que os transformadores permaneçam dentro dos padrões técnicos exigidos.

Dessa forma, os resultados obtidos nos ensaios elétricos foram comparados com os dados de comissionamento da subestação deste modo constata-se que a manutenção preventiva é fundamental para prolongar a vida útil dos autotransformadores, minimizar custos operacionais, elevar a confiabilidade da subestação e promover maior segurança às equipes envolvidas. O estudo

apresentado evidencia que a adoção dessas práticas, aliada ao uso de tecnologias adequadas, é indispensável para operações modernas de transmissão de energia. Portanto, os resultados obtidos confirmam a relevância da manutenção preventiva como ferramenta estratégica para a gestão de ativos elétricos de alta tensão.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMARAL, N. B. S. *Estudo sobre critérios para a especificação de transformadores elevadores de estações geradoras.* Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-09082007-182328/publico/Dissertacao.pdf>. Acesso em: 17 nov. 2025.

BISPO, Lucas Frazão. *Desenvolvimento de uma interface didática para o estudo de transformadores monofásicos conectados como autotransformadores.* Instituto Federal de Minas Gerais – IFMG, 2022. Disponível em: TCC manutenção autotransformadores. Acesso em: 23 nov. 2025.

COSTA, M. F. *Desenvolvimento de um sistema de apoio à decisão para a manutenção preditiva dos ativos de uma subestação elétrica.* Disponível em: <https://core.ac.uk/download/pdf/143405595.pdf>. Acesso em: 23 set. 2025.

FLIR. *FLIR T530 – Inspeção Térmica com Alta Precisão.* Disponível em: <https://jnrepresentacao.com.br/loja/flir/serie-t/flir-t530-camera-termografica/>. Acesso em: 12 nov. 2025.

FRANCISQUINI, A. A. *Estimação de curvas de carga em pontos de consumo e em transformadores de distribuição.* Universidade Estadual Paulista, 2006. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/639fb160-3823-40d6-92ce-27b31caa6b0e/content>. Acesso em: 17 nov. 2025.

GERALDO, A. S. *Comparação entre os critérios de diagnósticos por análise cromatográfica de gases dissolvidos em óleo isolante de transformador de potência.* Universidade de São Paulo, 2012. Disponível em: <https://scholar.archive.org/work/kjemxyy5yrd47dmylkqxxgq2nc4/access/wayback/http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18154/tde-26042012-100422/publico/Geraldo.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2025.

LE MOS, I. A. *Planejamento e controle da manutenção em empresa do ramo alimentício: implantação e melhoria contínua.* Universidade Federal do Ceará, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/49237/3/2019_tcc_ialemos.pdf. Acesso em: 23 set. 2025.

MACIEL, André Luiz da Silva. *Avaliação do fator de potência em transformadores de potência e suas implicações na eficiência energética.* Instituto Federal do Espírito Santo – IFES, 13 dez. 2024. Disponível em: TCC_Avaliação_Fator_Potência_Transformadores.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

MEDEIROS, Leonardo Araújo de. *Um estudo de caso sobre o impacto de descargas atmosféricas em uma subestação elétrica de 230 kV.* Monografia (Especialização) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, 2012. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/server/api/core/bitstreams/2d576071-7658-4df6-be87-dc7e2a88c4e4/content>. Acesso em: 23 set. 2025.

MEGGER. *Sistema multifuncional de teste de transformadores e subestações TRAX.* 2025. Disponível em: <https://www.megger.com/en/products/trax-multifunction-transformer-and-substation-test-system>. Acesso em: 16 nov. 2025.

MONTEIRO, Paulo Roberto Duailibe. *Introdução à Subestação e Seus Principais Equipamentos*. São Paulo: Seven Editora, 2023. ISBN 978-65-84976-77-1. Disponível em: <https://books.google.com>. Acesso em: 25 set. 2025.

PAULINO, Marcelo Eduardo de Carvalho. *Manutenção de transformadores*. Fascículo – Capítulo VII. Disponível em: Ed 102 Fasciculo Cap VII Manutencao de Transformadores | PDF. Acesso em: 21 nov. 2025.

SAMPAIO, Daniel; SOUSA, Victor Gomes de; RUBBO, Daniel; COSTA, Alan; GLATT, Ruben. *Manutenção preditiva com inspeção termográfica inteligente*. Edição 115, ago. 2015. Disponível em: https://cowhi.org/publications/2015_Manutencao_Preditiva_com_Inspecao_Termografica_Inteligente.pdf. Acesso em: 20 nov. 2025.

SILVA, R. M. et al. *Eficácia da manutenção preventiva*. Revista REASE. Disponível em: <https://periodicorease.pro.br/rease/article/view/9085>. Acesso em: 23 set. 2025.

SILVA IMBIRIBA, Vinícius da. *Rendimento de um autotransformador em interface com sistemas fotovoltaicos: estudos e ensaios experimentais*. Universidade Federal do Tocantins, Palmas, 2020. Disponível em: <https://umbu.uft.edu.br/bitstream/11612/3277/1/Vin%C3%ADcius%20da%20Silva%20Imbiriba-%20TCC.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

TARRAGO, Roberto Arnt. *Confiabilidade de subestações de transmissão de energia elétrica com aplicação de equipamentos de manobra não convencionais*. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/195739/001094087.pdf?sequence=1>. Acesso em: 23 set. 2025.

WAGNER, Luiza Rossatto. *Diretrizes de Projeto de Equipamentos de Subestações Elétricas*. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2022. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-09082007-182328/publico/Dissertacao.pdf>. Acesso em: 20 nov. 2025.

ANEXOS

Anexo 1 – Resultados de comissionamento obtidos na construção da SE GUO

Relação de transformação Primário x Terciário

CONEXÃO	TAP (T)	Tensão do Tap (V)	TTR	TTR medida	Erro	Exc	Fase
H1-HOXO/Y1-Y0	1	13 800	10,059	10,059	0,18%		

Relação transformação Primário x Secundário

Conexão	TAP (T)	Tensão do Tap (V)	TTR	TTR medida	Erro	Exc	Fase
H1-HOXO/Y1-H0X0	33	200 000	1.449	1.450	0,02%		
H1-HOXO/Y1-H0X0	17	220 000	1.595	1.595	0,03%		
H1-HOXO/Y1-H0X0	9	230 000	1.667	1.667	0,04%		
H1-HOXO/Y1-H0X0	1	240 000	1.740	1.740	0,06%		

Relação de transformação Secundário x Terciário

Conexão	Tap (S)	Tensão do Tap (V)	TTR	TTR medida	Erro	I Exc	Fase
X1-H0X0/Y1-Y0	1	138000	5.778	5.778	-0.07 %		

Ensaio de resistência ôhmica dos enrolamentos

TAP	Resistencia M(Ω)
1	0,9544
2	0,9505
3	0,9464
4	0,9421
5	0,9378
6	0,9346
7	0,9317
8	0,9284
9	0,9245
10	0,9195
11	0,9162
12	0,9135
13	0,9103
14	0,9061
15	0,9032
16	0,9002
17	0,8961
18	0,9006
19	0,9036
20	0,9076
21	0,9103
22	0,9132
23	0,9166
24	0,9199
25	0,9258
26	0,9277
27	0,9314
28	0,9361
29	0,9390
30	0,9427
31	0,9458
32	0,9489
33	0,9526