



# Viabilidade de transformadores: um estudo comparativo entre os tipos a seco e a óleo



Jadine Pires da Costa, Professor Me. Eugênio Pacelli de Oliveira Alves,  
Fundação Presidente Antônio Carlos - FUPAC, Engenharia Elétrica.

**Resumo** – O tema tratado nesse trabalho está no contexto da distribuição e recepção de energia elétrica, sendo que os transformadores são equipamentos necessários para ajuste da tensão enviada para as cargas. Diante disso, a área de investigação é a análise da viabilidade entre modelos diferentes desse dispositivo elétrico, visto que há variados tipos comercializados. O estudo levará em consideração os transformadores a seco e a óleo, já instalados em uma planta industrial, buscando dados práticos e teóricos da viabilidade de ambos, comparando seus pontos positivos e negativos. Encontrou-se como resultados que ambos os modelos possuem vantagens e desvantagens cabendo às equipes envolvidas identificar as características que mais necessitam na planta.

**Palavras Chave** – Transformador, Vantagens, Desvantagens.

## I. SIGLAS

AT – Alta Tensão  
BT – Baixa Tensão  
trafo – Transformador

## II. INTRODUÇÃO

Os transformadores, ou trafos, são equipamentos estáticos os quais transferem energia elétrica entre os lados de AT e BT, mantendo a frequência e podendo variar níveis de tensão e amplitude da corrente [1]. Quanto à isolação e refrigeração, há diferentes tipos de materiais que podem ser utilizados, como, por exemplo, o óleo mineral. Também há transformadores a seco [2][3]. Cada um desses modelos de transformadores tem suas características e particularidades [4][5].

Dessa forma, a situação problema a ser analisada é: comparando modelos diferentes de transformadores, sendo um a óleo e o outro a seco, quais são as características e viabilidade de cada um? Para a análise teórica, a pesquisa bibliográfica foi utilizada. Já para a verificação em campo, foram feitas visitas *in loco*, avaliando os equipamentos instalados. Também foram utilizados dados disponibilizados pela empresa, como documentos e relatórios referentes aos transformadores.

O estudo poderá ser aplicado em empresas que precisem escolher entre modelos diferentes de transformadores para suas plantas produtivas. Dessa forma, destina-se a engenheiros para apoio em seus projetos de implantação ou melhoria nas áreas. A pesquisa também pode ser utilizada por estudiosos da área, como fonte de informações confiáveis para suas análises.

## III. OBJETIVOS

O objetivo geral desse trabalho de conclusão de curso é analisar características e viabilidade, comparando dois modelos de transformadores, sendo eles: a seco e a óleo. Já os objetivos específicos são: realizar uma verificação teórica sobre os conceitos associados ao tema, como função, por exemplo; elencar dados práticos sobre os trafos instalados em uma planta industrial; identificar pontos positivos e negativos do uso de cada um.

## IV. REVISÃO DE BIBLIOGRAFIA

Antes de evidenciar a comparação prática entre os tipos de transformadores, para embasamento teórico, é importante pesquisar os assuntos pertinentes ao tema, sendo eles apresentados nos tópicos pertencentes a esse capítulo.

### A. Transformador

O transformador é um equipamento elétrico estático o qual transporta eletricidade do elemento primário para o secundário, através do efeito de indução eletromagnética [6]. Sua representação esquemática simplificada é evidenciada na Fig. 1, onde os elementos citados são vistos. O detalhamento das variáveis apresentadas na imagem é elencado na Tabela I.

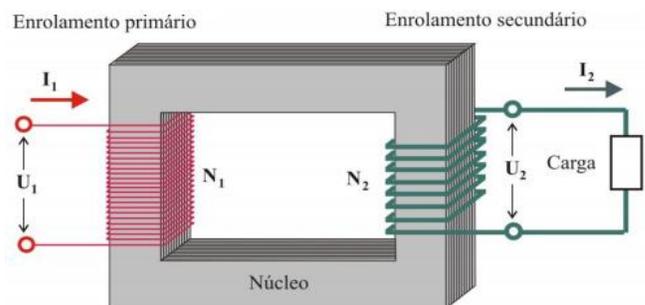


Fig. 1. Representação de um trafo [6]

TABELA I  
DETALHAMENTO DA REPRESENTAÇÃO DO TRANSFORMADOR

Variável	Detalhamento
$U_1$	Tensão no elemento primário dado em volts (V)
$I_1$	Corrente no primário dada em amper (A)

$N_1$	Número de espiras no elemento primário
$U_2$	Tensão no secundário dado em volts (V)
$I_2$	Corrente no secundário dada em amper (A)
$N_2$	Número de espiras no elemento secundário
$K$	Relação de transformação

Quanto ao seu princípio de funcionamento, ele se baseia na Lei de Faraday, onde a tensão elétrica é dada pela variação do fluxo concatenado com a bobina [15]. Em sua operação, o núcleo é excitado por um enrolamento de um número determinado de voltas (N), por onde circula uma corrente elétrica (i). Esta produz um campo magnético no núcleo, chamada de força magnetomotriz, mostrada na Equação 1 [4].

$$\mathcal{F} = N \cdot i \quad (1)$$

O circuito magnético do transformador é mostrado na Figura 2, onde os enrolamentos são representados em lados opostos do núcleo. O enrolamento primário apresenta  $N_1$  voltas e o enrolamento secundário tem  $N_2$  voltas [4].

Em função da semelhança matemática entre a lei de Kirchhoff das correntes e das tensões é possível fazer uma analogia aos circuitos elétricos. [4].

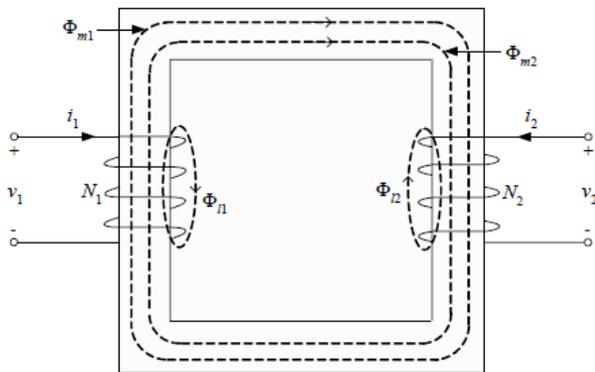


Fig. 2. Circuito Magnético do Transformador. [4]

Sobre seu circuito equivalente, ele é visto na Fig. 3, sendo que através dessa representação seus cálculos são facilitados [4].

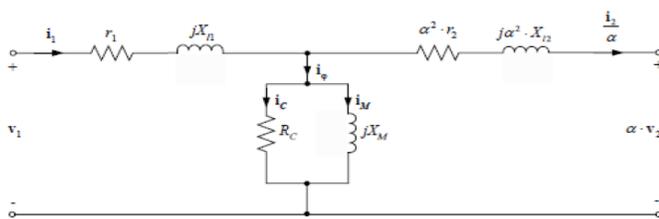


Fig. 3. Circuito equivalente modelo T do transformador com o enrolamento 1 como enrolamento de referência. [4]

Ainda em relação aos cálculos que podem ser feitos para análise de trafos, a relação de transformação desse equipamento pode ser calculada de duas formas distintas [7]. A teórica é evidenciada na Equação 2, onde utiliza-se a relação de espiras para o cálculo. Já a relação real, leva-se em

consideração as tensões de entrada ( $V_1$ ) e saída ( $V_2$ ) medidas, já considerando perdas, como vista na Equação 3 [8][16].

$$K = U_1/U_2 = N_1/N_2 \quad (2)$$

$$K = V_1/V_2 \quad (3)$$

Se o valor de  $K$  é maior que 1, o transformador é chamado de abaixador. Caso contrário, é um trafo elevador [6]. Sobre o valor da tensão induzida ( $e$ ) que é produzida nos terminais dos enrolamentos, ela é calculada através da Equação 4, onde  $N$  é o número de espiras,  $\Phi$  é o fluxo magnético variante no tempo, e  $\lambda$  é o fluxo concatenado do enrolamento (bobina) em weber-espira ( $Wb \cdot e$ ). [4].

$$e = N \cdot \frac{d\Phi}{dt} = \frac{d\lambda}{dt} \quad (4)$$

Já em relação à eficiência, ela é a razão entre a potência de saída ( $P_{out}$ ) e a potência de entrada ( $P_{in}$ ), sendo apresentada através da Equação 5 [4].

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} = \frac{P_{out}}{P_{out} + \text{perdas}} = \frac{S \cdot \cos \theta_L}{S \cdot \cos \theta_L + \text{perdas}} \quad (5)$$

Onde  $S$  é a carga do transformador (VA), *perdas* são as perdas do transformador (W) e  $\cos \theta_L$  é o fator de potência.

A Equação 6 evidencia a forma de se calcular a potência nominal ( $S_n$ ) para um transformador trifásico [4]

$$S_n = \sqrt{3} \cdot U_n \cdot I_n \quad (6)$$

Onde  $U_n$  é a tensão nominal e  $I_n$  é a corrente nominal do transformador.

Os transformadores podem ser classificações conforme tipo de resfriamento [4], como pode ser visto nas seções seguintes o trafo a seco e o a óleo.

### B. Transformador a seco

Transformador a seco tem como característica principal não precisar de refrigeração ou isolamento a óleo, por utilizar o ar ambiente para tais funções [9]. Um exemplo desse equipamento, instalado em uma planta industrial, é visto na Fig. 4.



Fig. 4. Exemplo de transformador a seco [10]

Quanto a seus aspectos construtivos, a Tabela II evidencia os principais [4].

TABELA II  
ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO TRANSFORMADOR A SECO

Aspecto	Detalhamento
Núcleo	O núcleo é constituído em lâminas com o objetivo de minimizar as correntes de Foucault.
Enrolamento de baixa tensão	Feito em chapa de alumínio com as espiras coladas entre si por manta isolante portadora de resina adesiva.
Enrolamentos de alta tensão	Produzido em fita de alumínio constituída de diversas bobinas parciais, moldados sob vácuo.
Conexões	De baixa e alta tensão.
Derivações de alta tensão	Possibilitam ajustes às condições do sistema.
Calços elásticos	Tem como função o desacoplamento das vibrações do núcleo e enrolamentos, reduzindo o nível de ruído.
Isolação de resina epóxi	Não requer manutenção e melhora a resistência do transformador à umidade

### C. Transformador a óleo

Diferentemente do transformador a seco, esse modelo possui óleo para refrigeração e isolação [9]. Quanto a seus aspectos construtivos, a Tabela III evidencia os principais [4].

TABELA III  
ASPECTOS CONSTRUTIVOS DO TRANSFORMADOR A ÓLEO

Aspecto	Detalhamento
Núcleo	O núcleo é constituído em lâminas com o objetivo de minimizar as correntes de Foucault.
Enrolamentos	Os enrolamentos apresentam bobinas cilíndricas formadas por condutores de cobre retangular convencionais ou transpostos, podendo ser isolados com papel ou envernizados.
Tanque principal	Construído com chapas de aço que são imersas em óleo isolante.
Óleo isolante	Tem como função impregnar no papel isolante para conferir características

	dielétricas especiais ao sistema isolante do transformador e circular através dos enrolamentos e núcleo, de forma a permitir a remoção do calor gerado no funcionamento normal, dissipando assim as perdas nos enrolamentos e no núcleo.
Tanque de expansão de óleo	Permite a dilatação volumétrica do óleo do transformador por conta das variações de temperatura.
Buchas	As buchas são dispositivos de porcelana que têm por finalidade isolar os terminais das bobinas do tanque do transformador.
Comutador sob carga	Dispositivo eletromecânico que propicia a variação dos níveis de tensão através da mudança dos terminais dos enrolamentos de regulação, sem que o transformador seja desligado.
Acionamento do comutador sob carga	Conjunto de mecanismos eletromecânicos que realizam a mudança da posição do comutador de acordo com os níveis de tensão desejados.
Radiadores	Possibilitam a circulação do óleo isolante através de aletas que, em contato com o ar ambiente, diminuem a temperatura do óleo.
Painel de controle	Local onde estão instalados os dispositivos de interface que permitem o controle e a monitoração do funcionamento do transformador.
Secador de ar	Faz a retirada de umidade do interior do transformador utilizando sílica-gel.
Termômetros	Dispositivos para medir a temperatura dos enrolamentos e do óleo do transformador

Um exemplo de trafo a óleo é evidenciado na Fig. 5 [10]. A comparação entre estes modelos conceituados, a seco e a óleo, foi evidenciada na seção seguinte.



Fig. 5. Exemplo de transformador a óleo [10]

### D. Comparação entre trafo a seco e a óleo

Por ter constituição diferente, os transformadores a seco e a óleo possuem características próprias. Para facilitar a comparação entre tais modelos, no Anexo I é visto um quadro

que explora as diferenças entre os transformadores [3]. Como pode ser visto nas informações do quadro, a escolha entre os modelos pode ser feita com base em diferentes abordagens e características dos mesmos [4].

Quanto ao rendimento, a Fig. 6 evidencia um gráfico comparativo entre os modelos de trafo analisados.

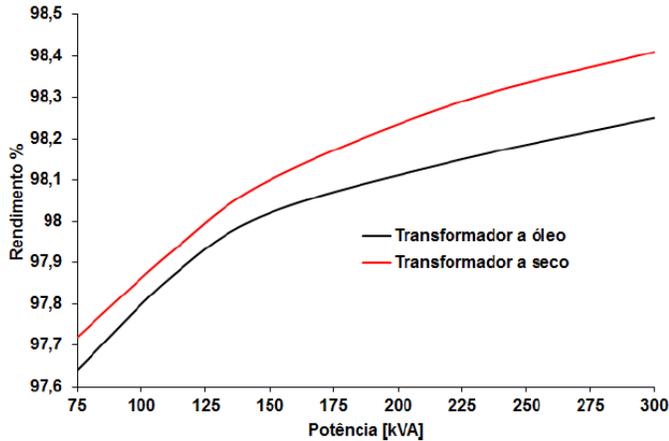


Fig. 6. Comparação entre o rendimento [3]

Quanto à eficiência os trafos a óleo são normalmente mais superiores aos seus correspondentes com refrigeração e isolamento a seco. Sobre as dimensões, para transformadores com potências semelhantes, o modelo a seco é geralmente menor [4]. Quanto ao custo após a instalação, por serem necessárias manutenções periódicas, o trafo a óleo demanda um maior valor financeiro [9]. Já sobre emissão de ruídos, os transformadores a seco apresentam maior nível de sons em sua operação [4].

Sobre a redução da vida útil com adicional de temperatura, a Fig. 7 ilustra tal questão. Em relação aos custos o transformador a óleo se destaca por ter o preço de compra e perdas anuais menores do que o transformador a seco [4].

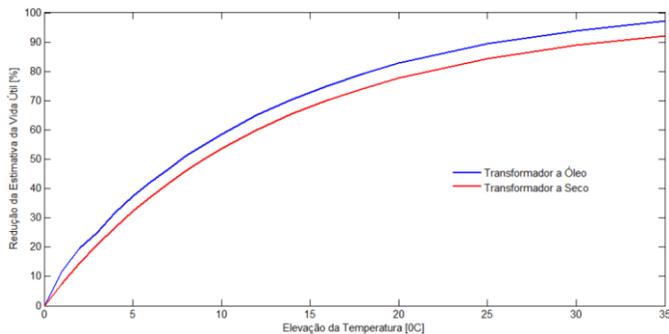


Fig. 7. Redução da vida útil com adicional de temperatura [3]

Em relação à diferença básica entre eles que é o sistema de isolamento e resfriamento, sendo que, como apresentado nos aspectos constituintes de cada modelo, o trafo a seco utiliza-se do ar para tal questão, enquanto que o a óleo possui em sua constituição os radiadores que permitem a circulação do material. Dessa forma, o transformador a seco possui temperaturas mais elevadas de operação [4].

Diante de todo exposto, pode-se afirmar que, para escolher qual o modelo de trafo melhor para determinada área é necessário analisar bem as vantagens e desvantagens de cada um deles, buscando associar as características do transformador escolhido àquilo que a planta realmente precisa [9].

### E. Testes e ensaios em transformadores

Existem diferentes tipos de testes e ensaios que podem ser feitos em transformadores, entre eles estão: relação, isolamento, perdas a vazio, perdas a quente, estanqueidade e fator de potência de bucha. A relação de transformação foi anteriormente mencionada através das Equações 1 e 2 [8]. Os testes de isolamento verificam se tal item está com suas funções efetivas, ou seja, se o efeito isolante ocorre no transformador [11].

Para as perdas a vazio, é feito o ensaio de mesmo nome, o qual fornece dados sobre as perdas no núcleo [11]. Já as perdas a quente são testes feitos com o trafo em funcionamento [12]. A estanqueidade é realizada nos transformadores a óleo, no sentido de verificar as características de tal isolante [13]. O fator de potência de bucha, também pode ser feito nos transformadores do tipo a óleo [14].

Existem também os ensaios dielétricos que verificam sobre os níveis de sobretensões que o trafo suporta. Em transformadores a óleo também há a análise sobre gases presentes da operação do equipamento [4]. Alguns desses testes foram feitos na prática, durante a comparação entre modelos diferentes de transformadores em uma planta produtiva.

## V. DESENVOLVIMENTO

Para comparar de forma prática os modelos de transformadores abordados, foi necessário coletar dados em campo. As informações iniciais evidenciadas no Anexo II foram coletadas através de visitas nas áreas onde os transformadores estão instalados, feitas nos dias 6 e 7 de setembro de 2021, questionando os profissionais responsáveis por tais equipamentos sobre suas características, assim como coletando as informações em documentos técnicos, como manuais dos fabricantes e padrões operacionais da empresa mineradora.

### A. Análise sobre o transformador a seco instalado

O transformador a seco está instalado na subestação da área administrativa do pico, na empresa pesquisada. Quanto à sua constituição, ele possui o núcleo de transformador, e duas bobinas conectadas ao núcleo, buchas, isolamento epoxi, e monitor de temperatura do enrolamento. Em relação aos testes feitos nesse equipamento, há como exemplos a análise da relação, da isolamento e das perdas a vazio.

Para exemplificação da análise desse modelo de trafo no processo produtivo, os dados quanto à relação de transformação medida foram apresentados na Tabela IV, sendo que o erro máximo de relação medido foi de 0,3272%.

TABELA IV  
ENSAIO SOBRE A RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO

Relação Nominal	Fase 1	Fase 2	Fase 3
6,0239	6,03	6,03	6,03
5,8892	5,8892	5,8786	5,878
5,7457	5,7457	5,7275	5,7269
5,6021	5,6021	5,6066	5,606
5,4584	5,4584	5,4553	5,4547

Já em relação aos dados sobre resistência elétrica dos enrolamentos a 24° Célsius (°C), tanto no enrolamento de alta tensão (AT), quanto no enrolamento de baixa tensão (BT), eles foram apresentados na Tabela V.

TABELA V  
ENSAIO SOBRE A RESISTÊNCIA ELÉTRICA NOS ENROLAMENTOS

Terminais	Enrolamento AT	Enrolamento AT
1-2	0,1274Ω	0,00822 Ω
1-3	0,12796 Ω	0,0081 Ω
2-3	0,12793 Ω	0,00829 Ω
Média	0,12776333 Ω	0,0082033 Ω

Para análise das perdas a vazio e em carga, os dados obtidos nos ensaios foram elencados na Tabela VI.

TABELA VI  
ENSAIO SOBRE PERDAS A VAZIO E EM CARGA

Variáveis mensuradas	Valores
Perdas a Vazio	9.430,00W
Perdas em Carga a 115°C	23.341,55W
Perdas Adicionais a 115°C	3799,88W
Perdas Totais a 115°C	32.771,55W
Impedância	6,04 Ω
Corrente de Exitação	0,43%

Finalizando os testes nesse modelo de transformador, na Tabela VII os ensaios elétricos finais foram evidenciados.

TABELA VII  
ENSAIO SOBRE A RESISTÊNCIA ELÉTRICA NOS ENROLAMENTOS

Ensaio	Variáveis	Valores
Resistência de isolamento	Escala	2,5 KV
	AT BT	150.000 MΩ
	AT Massa	25.000 MΩ
	BT Massa	15.000 MΩ
Tensão Induzida	Frequência	120
	Tempo	60s
	Tensão Nominal	4.160V
	Tensão Induzida	8.320V
Tensão aplicada	Tempo	60s

a 60Hz	AT/BT	34KV
	AT/Massa	34 KV
	BT/Massa	20 KV

Diante dos dados obtidos nos ensaios, comparando com os valores estipulados nos relatórios internos da empresa, pode-se perceber que o transformador analisado está em condições normais de funcionamento. Cabe destacar que avaliando históricos do mesmo, constatou-se que as variáveis mensuradas estão dentro da normalidade a mais de 5 anos, que é o período máximo de rastreabilidade das informações estipulado para esse equipamento.

### B. Análise sobre o transformador a óleo instalado

O transformador a óleo verificado está instalado na subestação de bombeamento de água. Em relação à característica estrutural do mesmo, ele possui núcleo do transformador, radiadores, buchas, motoventiladores, relé de gás, tanque de expansão, óleo isolante mineral AV64 Petrobrás, monitor de temperatura de óleo, monitor de temperatura do enrolamento.

Quanto aos ensaios que podem ser nesse modelo de trafo destacam-se a estanqueidade, testes físicos-químicos, a verificação de gases, entre outros. Diferentemente do transformador a seco analisado na seção anterior, este trafo apresentou avarias recorrentes em seu funcionamento, que culminou em uma queima do equipamento em setembro de 2021, sendo que foi necessário realizar uma peritagem para compreensão da falha que gerou indisponibilidade de energia elétrica no setor produtivo.

Nessa etapa da peritagem, foram observadas algumas avarias no mesmo. A princípio, foram identificados no equipamento danos somente nas bobinas da fase B, como visto na Fig. 8.



Fig. 8. Bobina da fase B danificada na extremidade

A cabeça superior apresentou um deslocamento, ou colapso, das bobinas BT, no qual foi possível constatar um curto-circuito entre a bobina e o núcleo, conforme evidências na Fig. 9, 10 e 11. Também foi visto que os suportes de madeira da bobina B se danificaram. Continuando a análise da ocorrência, verificou-se que a corrente de curto-circuito do trafo era maior que o projetado para o ponto ANSI, que é de 12,5KA. Isso foi constatado ao identificar que de acordo com a NBR 5356-5 [17], a impedância mínima de curto circuito para um transformador

com a potência do analisado deveria ser de 10%, sendo que a verificada no trafo era de 8,03%, resultando em uma corrente de curto de aproximadamente 15,7KA, estando 3,2KA acima do ponto ANSI.



Fig. 9. Espiras deslocadas em curto circuito



Fig. 10. Derretimento do núcleo em contato com as espiras



Fig. 11. Cobre pulverizado devido à elevada corrente de curto-circuito

Ao final da peritagem, constatou-se que devido ao nível de curto-circuito do transformador ser maior que o suportado e o histórico de frequentes falhas, o fato do transformador ter perdido a sua capacidade de suportar curtos-circuitos foi pela tendência da movimentação das bobinas por esforços mecânicos a cada curto-circuito, levando-o a vir a colapsar uma de duas bobinas devido a um curto-circuito com magnitude menor que o projetado.

Como proposta de solução, recomendou-se uma reforma do transformador a qual engloba a adequação do ponto ANSI ao nível de curto circuito do transformador. O custo estimado

para essa ação é em torno de 1,3 milhões, sendo que para sua execução foi necessário contratar mão de obra especializada, sendo que a reforma está em andamento.

Ainda sobre esse transformador, para efeitos de exemplificação, a Tabela VIII mostra os resultados de um laudo de gases feitos antes do problema mencionado, que evidenciou uma concentração de gases baixa, com taxa de crescimento aumentando lentamente e funcionamento dentro da normalidade nesse sentido.

TABELA VIII  
RESULTADO DO LAUDO DE GASES

Parâmetros	Valores
Hidrogênio	23 ppm (4,13%)
Oxigênio	7450 ppm (3,76%)
Nitrogênio	24030 ppm (2,66%)
Metano	6 ppm (-4,9%)
Monóxido de carbono	108 ppm (2,22%)
Dióxido de carbono	543 ppm (8,26%)
Etileno	3 ppm (9,8%)
Etano	2 ppm (-6,54%)
Acetileno	0 ppm (0%)
Total de gases	32165 ppm (2,98%)
Total de gases combustíveis	142 ppm (1,98%)

Também como exemplo, os resultados físico-químicos igualmente realizados antes da avaria foram apresentados na Fig. 12, de forma resumida, assim como na Tabela IX.

PARÂMETROS					
Teor de água	Fator de Potência a 100°C	Rigidez Dielétrica - Calota	Índice de neutralização (Acidez)	Tensão Interfacial	Cor
ppm	%	KV	mgKOH/g	Dyn/cm	Und
2,00	0,81	70,00	0,05	33,00	1,50

Fig. 12. Resumo dos resultados físico-químicos

TABELA IX  
RESULTADOS FÍSICOS-QUÍMICOS

Parâmetros	Valores
Teor Água Med.	3
RD. Calota	68
TI. 25°C	34,2
Índ. Neutr.	0,05
Cor	1,5
Dens. 20/4°C	0,88
F. pot. 100°C	0,74
Operando	Sim

Outro teste feito nesse trafo é o ensaio no óleo isolante. O Apêndice I evidencia a estratégia utilizada para coleta e análises do óleo nesse tipo de transformador. Ainda sobre essa questão, um exemplo de relatório visto no Apêndice II, sendo que no material mostrado não se constataram anormalidades no óleo.

### C. Comparação entre as análises de campo

Comparando as análises de campo meramente observando a questão da falha apresentada pelo transformador a óleo, a conclusão seria que o modelo a seco é o mais viável. Porém, apenas essa variável não é suficiente para determinar qual seria o melhor modelo entre os estudados.

Destacando a situação exposta na verificação em campo, caso tivesse escolhido outro transformador a óleo e este não apresentasse a falha explicitada, esse argumento da avaria não seria válido. Dessa forma infere-se que apenas essa questão não pode ser usada para determinação da viabilidade de uso entre os modelos analisados.

Para a determinação de qual tipo de transformador deve ser utilizado no processo produtivo, a principal análise a ser feita é em relação às necessidades da área. Por exemplo, caso necessite de maior rendimento, o transformador a ser escolhido é o modelo a seco [3]. Caso a temperatura do local de instalação seja elevada, considera-se a utilização do trafo a óleo visto que ele possui menores valores nesse item se comparado com o a seco [4].

A fim de verificar a viabilidade, também se pode recorrer à elaboração de cálculos baseados nas equações 1,2,3,4,5 e 6 apresentadas neste artigo e realizar as comparações posteriormente. Possíveis parâmetros a serem calculados são preços de manutenção, periodicidade para a realização dos ensaios, custo e área de instalação.

## VI. CONCLUSÕES

Mediante os estudos feitos, buscou-se comparar modelos diferentes de transformadores, sendo um a óleo e o outro a seco. Através da verificação em campo aliado ao embasamento teórico as características e viabilidade de cada um foram analisadas.

Foi mostrado que um dos transformadores sofreu avarias durante a pesquisa, porém esse fator não foi considerado como determinante para a verificação da viabilidade.

Como se pode observar no decorrer deste trabalho, o transformador a óleo possui maior risco de falhas por conter alta concentração de gases dissolvidos. Com a presença de fluxo magnético há presença de calor dissipado que pode ocasionar explosão do mesmo. Necessita manutenção periódica do equipamento bem como ensaios e risco de contaminação do ambiente.

Já o Trafo a seco, encontra-se dentro das condições de operação, porém, com maiores níveis de temperatura, maior custo para aquisição, menor eficiência.

Ou seja, ambos os modelos possuem vantagens e desvantagens cabendo às equipes envolvidas identificar as características que mais necessitam na planta.

Se o transformador for para instalações abrigadas que exigem segurança e confiabilidade, menor dimensão e necessite principalmente de uma manutenção mais simples, é recomendado o uso do transformador a seco.

Caso se faça necessário um equipamento para exposição em ambiente externo, maior rigidez dielétrica, necessidade de alta potência aliado a um menor custo de aquisição e maior eficiência, recomenda-se a utilização de transformadores a óleo.

Como sugestão de trabalhos futuros, recomenda-se um estudo para em tempo real realizar análise de óleo a fim de minimizar os impactos promovidos pelos gases dissolvidos no óleo para aumento da vida útil e redução do custo de manutenção e paradas.

## VII. ANEXO

### ANEXO I

#### COMPARAÇÃO ENTRE TRANSFORMADORES A ÓLEO E A SECO

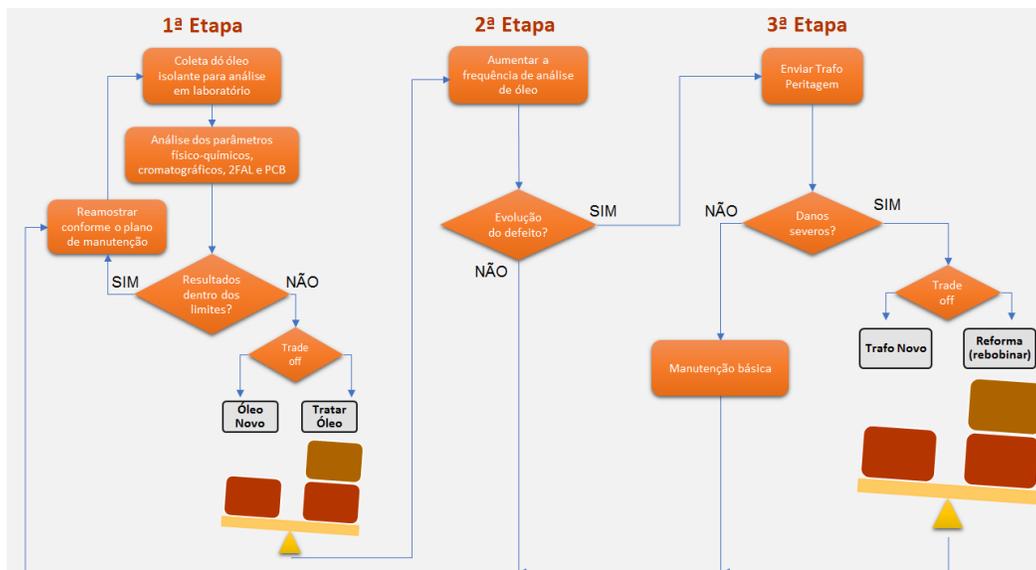
Item	Transformador a óleo	Transformador a seco
Manutenção	Deve ser periódica. Necessitando de substituições de óleo isolante, juntas, guarnições e acessórios.	Isento.
Vida útil	30 anos.	30 anos ou superior.
Obras civis	Demanda de paredes e portas corta-fogo, sistema contra incêndio e poço para recolhimento de fluido em caso de vazamento.	Não demanda obras especiais.
Segurança	Risco de explosão e incêndio, vazamentos e contaminação do ambiente.	Não explode, não alimenta ou propaga incêndios.
Proteção	Vários acessórios para proteção e controle.	Apenas sensores de temperatura para alarme, desligamento e medição de temperatura.
Restrições ambientais	Risco de contaminação pelo vazamento do líquido isolante.	Sem restrições.
Ambiente	São afetados pela umidade, salinidade, oxidante, etc.	Insensível à umidade e outros fatores ambientais.
Certificações ISO 14000 e NR10	Recomenda cuidados com este tipo de equipamento. Tendência a se evitar esta execução.	Não oferecer riscos ao ser humano e ao meio ambiente.

ANEXO II  
COLETA INICIAL DE DADOS SOBRE OS TRANSFORMADORES VERIFICADOS NA PRÁTICA

Itens verificados	Transformador a óleo	Transformador a seco
Custo de aquisição (estimado por fornecedor)	1PU	1,35PU
Custo de manutenção anua	1PU	0,2PU
Quantidade de paradas anuais médias	2	1
Horas de indisponibilidade do equipamento	719h mês	719h mês
H/h mensal (manutenção)	4	4
Sistemas de proteção	ANSI (49, 50, 51, 50N, 63)	ANSI (49, 50, 51, 50N)
Sistema de ventilação	Ventilação forçada	Ar ambiente
Periodicidade de inspeções	Trimestral	Trimestral
Temperaturas (média)	55 graus	75 graus
Vida útil (média)	30 anos	40 anos

VIII. APÊNDICE

APÊNDICE I  
ESTRATÉGIA UTILIZADA PARA MANUTENÇÃO DE TRANSFORMADORES A ÓLEO



APÊNDICE II  
EXEMPLO DE LAUDO DE ENSAIO EM ÓLEO ISOLANTE

		LAUDO DE ENSAIOS EM ÓLEO ISOLANTE		O.S. 2FAL 0093/12	
Empresa Solicitante:	<input type="text"/>	Status da Análise 2FAL: <b>Normal</b>			
Equipamento:	Transformador	Motivo:	Preditiva	Data da Coleta:	27/03
Nº Série:	DA7287-A-001-H	TAG:	C240TF03	Temp. Amb. (°C):	32
Tensão:	13800/480 V	Vol. Óleo (Litros):	790	Temp. Óleo (°C):	34
Potência:	1500 kVA	Tipo de Óleo:	Naftênico	Temp. Amostra (°C):	38
Fabricante:	TRAF0	CDC/Óleo:	Não Informado	Umid. Rel. (%):	42
Identificação:	USINA	Sist. Refrig.:	NA	Ponto de Amostragem:	Tanque principal
Ano Fabr.:	2002	Sist. Preserv.:	NA	Operando:	Sim
Instalação:	C240SE01	Amostrador:	<input type="text"/>		
<b>Determinação do Teor de 2-Furfuraldeído Dissolvido em Óleo Mineral Isolante</b> "O 2-Furfuraldeído (2-FAL) é um composto derivado de furanos, o qual é formado pela degradação da celulose. É uma informação global da vida útil do papel isolante". <b>ENSAIO REALIZADO CONFORME NBR 15349/06</b> <b>RESULTADO DO ENSAIO</b>					
ANÁLISES 2-FAL	HISTÓRICO DE RESULTADOS				RESULTADO
	-	-	-	-	
2-Furfuraldeído (2-FAL)	-	-	-	-	0,001 ppm
GP por Correlação	-	-	-	-	1051 monômeros
Perda de Vida Estimada	-	-	-	-	8 %
Legenda: ppm = partes por milhão monômeros = unidade do GP ou moléculas					
<b>CONSIDERAÇÕES</b>					
- Para fins de avaliação do resultado, deve-se considerar todas as intervenções realizadas no óleo, como regeneração, termo-vácuo ou a própria manutenção no equipamento. A condição operativa do equipamento, como aumento de temperatura por elevação da carga também deve-se levar em consideração na avaliação. Qualquer alteração discrepante do resultado deverá ser atribuído a estes fatores. - Sugerimos reamostrar em 2 anos para acompanhamento.					
Obs: Segundo projeção da ANEEL, um transformador operando em condições normais tem como expectativa de vida útil aproximadamente 40 anos. O acompanhamento do equipamento em operação, através de análise do óleo realizada periodicamente, como manutenção preditiva, garante o desempenho confiável do equipamento.					
<b>DIAGNÓSTICO</b> <input type="text"/>					
Papel Novo		1.000 a 1.200 Monômeros			
Papel Após Secagem		mínimo 800 Monômeros			
Papel Fim de Vida		±/- 150 Monômeros			

## IX. REFERÊNCIAS

- [1] UFRN. *Manutenção de transformadores*. 2020. [Online]. Disponível em: <http://www.dee.ufrn.br/~joao/manut/11%20-%20Cap%EDtulo%209.pdf>.
- [2] D. S. Nogueira. “Transformadores de potência – Teoria e aplicações: Tópicos essenciais”. Graduação em Engenharia Elétrica. Projeto de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- [3] M. A. F. Finocchio, *et al.* “Comparação entre transformadores a óleo e a seco”. 2016. in: 73 *SOEA*. pp. 1-5.
- [4] B. K. Zanini. “Análise comparativa entre o uso de transformadores a seco e a óleo em subestações de média tensão”. Graduação em Engenharia Elétrica. Projeto de Conclusão de Curso. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2016.
- [5] J. Rodrigues. “Transformadores a seco e a óleo”. Educação Técnica em Elétrica. Mettzer, 2015.
- [6] E. G. C. Neves; R. Munchow. *Transformadores elétricos*. 2020. [Online]. Disponível em: <http://transforman.com.br/arquivos/Transformadores%20Eltricos.pdf>.
- [7] I. Camargo. *Transformadores trifásicos*. Salvador: UFBA, 2007, p.65.
- [8] L. R. Lisita. *Conversão eletromagnética de energia*. Salvador: UFBA, 2000, p.68.
- [9] H. Mattede. *Transformador a seco: o que é e como funciona*. 2021. [Online]. Disponível em: <https://www.mundodaeletrica.com.br/transformador-seco-como-funciona/>
- [10] H. A. Antunes; M. P. Brito. “Comissionamento de transformadores de força: do projeto à entrada em operação”. Pós-graduação em Engenharia de Condicionamento/Comissionamento. Trabalho de Fim de Curso. Universidade Federal do Espírito Santo, 2010.
- [11] S. J. Chapman. *Fundamentos de máquinas elétricas*. 5ª ed. Porto Alegre: AMGH, 2013, p.698.
- [12] J. A. Edminister. *Eletromagnetismo*. São Paulo: MacGraw-Hill, 1980, p.238.
- [13] M. A. Ravaglio; J. C. Schaefer; L. R. A. Gamboa; N. G. Adonis; M. M. Valença. “Avaliação da Vida Útil dos Transformadores da COPEL Distribuição - 2ª Etapa” in: II Congresso de Inovação Tecnológica em Energia Elétrica. pp. 1081-1087.
- [14] M. E. C. Paulino. *Avaliação em campo de buchas em transformadores de potência: O fator de dissipação a 60Hz é suficiente?* 2011. [Online]. Disponível em: <https://osetoreletrico.com.br/avaliacao-em-campo-de-buchas-em-transformadores-de-potencia-o-fator-de-dissipacao-a-60-hz-e-suficiente/>
- [15] I. L. Kosow. *Máquinas elétricas e transformadores*. Porto Alegre: Globo, 1982, p.685.
- [16] S. D. Umans. *Máquinas elétricas*. Porto Alegre: AMGH, 2014, p.724.
- [17] ABNT. *NBR5356-5*. 2015. [Online]. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/40550/nbr5356-5-transformadores-de-potencia-parte-5-capacidade-de-resistir-a-curtos-circuitos>.