



# Projeto-Piloto: Transformador de Potência

## SISTEMA ATIVO



Para uma melhor análise o sistema ativo foi dividido em três subsistemas:

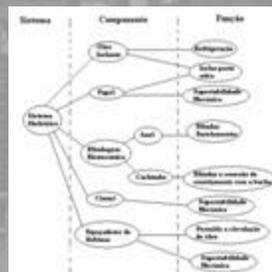
- Dielétrico;
- Elétrico;
- Magnético.



➤ Sistema dielétrico:

Sistema composto principalmente pelo óleo isolante e a celulose (papel). Estes componentes em conjunto, desempenham uma função primordial, que é agir como isolante elétrico do sistema. Além desta função desempenhada em conjunto, cada um deles tem uma função específica:

- Óleo - Agente de transferência de calor;
- Papel - Dar suportabilidade mecânica para os enrolamentos.



### Modos de Falha

Componente Associado	Denominação	Descrição
Óleo Isolante	Envelhecimento natural	Envelhecimento causado pela oxidação natural do óleo isolante.
	Deterioração	Mudança das características físico-químicas do óleo causada pela oxidação.
	Contaminação	Envelhecimento causado por produtos não oriundos de sua oxidação, como água, partículas ou substâncias estranhas.
	Sobrecarga	Envelhecimento causado pelo aquecimento excessivo do óleo, devido a uma sobrecarga do transformador.
	Sobreaquecimento	Envelhecimento causado pelo aquecimento excessivo do óleo.
	Descargas Parciais	Geração de gases combustíveis no óleo oriundos da atividade de descargas parciais.



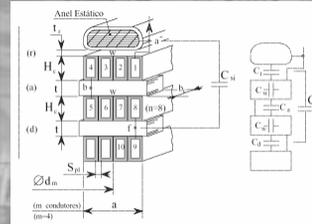
Componente Associado	Denominação	Descrição
Papel	Envelhecimento natural	Envelhecimento natural do isolante sólido do transformador.
	Deterioração	Envelhecimento do papel devido a oxidação do óleo isolante.
	Contaminação	Envelhecimento causado pelo excesso de água no papel.
	Sobrecarga	Envelhecimento causado pelo aquecimento excessivo do papel devido a uma sobrecarga do transformador.
	Sobreaquecimento	Envelhecimento causado pelo aquecimento excessivo do papel causado pela má circulação do óleo isolante e pela formação de borra insolúvel produto da oxidação.
	Descargas Parciais	Degradação do papel, devido a ocorrência de descargas parciais.
	Grau de Polimerização	Degradação do papel, devido a quebra da cadeia celulósica, ocasionando a perda das características mecânicas do papel.
	Exofre Corrosivo	Degradação do papel causada pelo ataque do Exofre existente no óleo isolante ao cobre dos enrolamentos, formando um sal condutor (Cu S). Este composto formará trilhas condutoras no papel que levará a falha elétrica.

Comitê de Estudos – B3  
 Força Tarefa – MCC  
 Manutenção Centrada em Confiabilidade



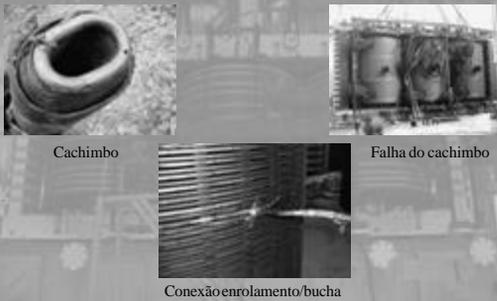
Componente Associado	Denominação	Descrição
Blindagem Eletrostática	Deformação Mecânica do Cachimbo	Afrouxamento da blindagem eletrostática que envolve o cachimbo, ocasionando um campo elétrico muito intenso que propicia a evolução de descargas parciais/centelhamento.
	Desconexão do Anel Estático	Afrouxamento ou desconexão do anel gerando um ponto de potencial flutuante entre as bobinas, pode ser ocasionado por um curto-circuito.
	Perda do Aterramento	Perda da referência de terra da blindagem eletrostática, gerando um ponto de potencial flutuante e descargas parciais/centelhamento.
Cinta dos Enrolamentos	Incompatibilidade de Material	Degradação da fita que sustenta os enrolamentos devido a incompatibilidade com o óleo isolante, causando perda da rigidez mecânica da fita (estragulamento – dificuldade de refrigeração).
	Falta de Refrigeração entre Bobinas	Deslocamento dos espaçadores com estragulamento dos dutos de refrigeração, ocasionando aquecimento excessivo do local. Pode ser gerado por um curto-circuito ou condições de transporte não adequadas.

Comitê de Estudos – B3  
 Força Tarefa – MCC  
 Manutenção Centrada em Confiabilidade



Corte transversal de um conjunto de bobinas do transformador

Comitê de Estudos – B3  
 Força Tarefa – MCC  
 Manutenção Centrada em Confiabilidade



Cachimbo

Falha do cachimbo

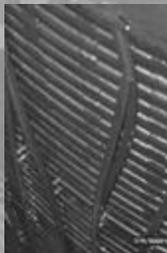
Conexão enrolamento/bucha

Comitê de Estudos – B3  
 Força Tarefa – MCC  
 Manutenção Centrada em Confiabilidade



Falha da cinta

Comitê de Estudos – B3  
 Força Tarefa – MCC  
 Manutenção Centrada em Confiabilidade



Deslocamento dos Espaçadores

Comitê de Estudos – B3  
 Força Tarefa – MCC  
 Manutenção Centrada em Confiabilidade



➤ Sistema elétrico:

Compreende todo o sistema de conexão do transformador, tanto conectores e condutores de alta tensão como de terra. Tem como finalidade a transformação entre níveis de tensão e corrente.

Comitê de Estudos – B3  
Força Tarefa – MCC  
Manutenção Centrada em Confiabilidade



Comitê de Estudos – B3  
Força Tarefa – MCC  
Manutenção Centrada em Confiabilidade



Modos de Falha

Componente Associado	Denominação	Descrição
Cabos de Conexão	Cabos interrompidos	Interrupção das ligações de AT, ocasionando falta de fornecimento de energia e arco elétrico dependo do ponto.
	Descargas Parciais	Geração de descargas parciais nos condutores de AT, devido a uma intensificação localizada de campo elétrico.
	Curto-circuito superior ao especificado do cabo	Perda das características mecânicas do cabo podendo romper, devido a um curto-circuito acima de sua capacidade.
Aterramento do Neutro	Aterramento interrompido	Interrupção das ligações localizadas entre o neutro e o ponto de terra.
	Mais de um aterramento	Existência de mais de um ponto de aterramento do neutro, pode ocasionar pontos quentes na carga do transformador.
	Curto-circuito superior ao especificado	Perda das características mecânicas do cabo podendo romper, devido a um curto-circuito acima de sua capacidade.

Comitê de Estudos – B3  
Força Tarefa – MCC  
Manutenção Centrada em Confiabilidade



Componente Associado	Denominação	Descrição
Terminal de Aterramento	Folga	Mau contato ocasionado pela má conexão dos condutores de aterramento, poder ocasionar aquecimento.
Condutores dos Enrolamentos	Cabos interrompidos	Interrupção das ligações dos enrolamentos com as buchas terminais.
	Resistência Elevada nas conexões	Aumento da temperatura das conexões dos enrolamentos, devido o aumento da resistência de contato.
Condutores de Taps	Descargas Parciais	Geração de descargas parciais nos condutores dos enrolamentos, devido a uma intensificação localizada de campo elétrico.
	Cabos interrompidos	Interrupção das ligações localizadas entre os enrolamentos e as conexões da chave comutadora.
Conexão de Aterramento	Descargas Parciais	Geração de descargas parciais nos condutores dos Taps, devido a uma intensificação localizada de campo elétrico.
	Conexão Folgada	Mau contato ocasionado pela má conexão dos condutores de aterramento, poder ocasionar aquecimento.

Comitê de Estudos – B3  
Força Tarefa – MCC  
Manutenção Centrada em Confiabilidade



Componente Associado	Denominação	Descrição
Conexões de AT	Mal contato nas conexões	Aquecimento da conexão de AT, devido ao aumento da resistência de contato, poder gerar centelhamento.
Enrolamento Primário	Curto-circuito superior ao especificado	Perda das características mecânicas dos condutores podendo romper, devido a um curto-circuito acima de sua capacidade.
	Curto-circuito entre espiras	Curto-circuito envolvendo espiras, devido ao seu deslocamento, sobretensões transitórias de baixa e alta frequências e surtos de manobra na vizinhança do transformador.
	Deformação geométrica das espiras	Deformação das espiras ocasionada por transporte inadequado ou curto-circuitos na vizinhança do transformador.
	Curto circuito entre bobinas	Curto-circuito ocasionado pelo deslocamento dos espaçadores das bobinas.
	Descargas Parciais	Geração de descargas parciais nos condutores do enrolamento, devido a uma intensificação localizada de campo elétrico.
	<i>Enxofre Corrosivo</i>	<i>Ataque do enxofre existente no óleo isolante formando Cu<sub>2</sub>S - Sulfeto Cuproso.</i>

Comitê de Estudos – B3  
Força Tarefa – MCC  
Manutenção Centrada em Confiabilidade



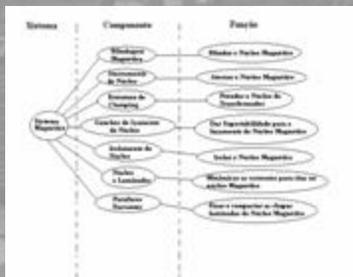
Componente Associado	Denominação	Descrição
Enrolamento Secundário	Curto-circuito superior ao especificado	Perda das características mecânicas dos condutores podendo romper, devido a um curto-circuito acima de sua capacidade.
	Curto-circuito entre espiras	Curto-circuito envolvendo espiras, devido ao seu deslocamento, sobretensões transitórias de baixa e alta frequências e surtos de manobra na vizinhança do transformador.
	Deformação geométrica das espiras	Deformação das espiras ocasionada por transporte inadequado ou curto-circuitos na vizinhança do transformador.
	Curto circuito entre bobinas	Curto-circuito ocasionado pelo deslocamento dos espaçadores das bobinas.
	Descargas Parciais	Geração de descargas parciais nos condutores do enrolamento, devido a uma intensificação localizada de campo elétrico.
	<i>Enxofre Corrosivo</i>	<i>Ataque do enxofre existente no óleo isolante formando Cu<sub>2</sub>S - Sulfeto Cuproso.</i>

Comitê de Estudos – B3  
Força Tarefa – MCC  
Manutenção Centrada em Confiabilidade



➤ Sistema magnético:

Compreende todo o sistema do núcleo do transformador e suas conexões. Tem como finalidade o transporte do fluxo magnético e indução das variações de tensão nos enrolamentos.



Modos de Falha

Componente Associado	Denominação	Descrição
Blindagem Magnética	Falha de Aterramento	Perda do aterramento do núcleo do transformador, pode ocasionar potenciais flutuantes e gerar descargas parciais/centelhamento.
	Deformação Mecânica	Deformação na blindagem magnética do transformador, ocasionada por transporte inadequado ou curto-circuitos na vizinhança do transformador.
	Descargas Parciais	Geração de descargas parciais no núcleo, devido a uma intensificação localizada de campo elétrico.
Aterramento do Núcleo	Aterramento interrompido	Interrupção das ligações localizadas entre o núcleo e o ponto de terra.
	Mais de um aterramento	Existência de mais de um ponto de aterramento do núcleo, pode ocasionar pontos quentes.
	Descargas Parciais	Geração de descargas parciais no circuito de aterramento, devido a uma intensificação localizada de campo elétrico.



Componente Associado	Denominação	Descrição
Estrutura de Clamping	Folga	Afrouxamento da estrutura de clamping, causando afrouxamento também do núcleo e consequentemente mal contato e aquecimento.
Ganchos de Içamento do Núcleo	Oxidação dos Ganchos	Perda das características mecânicas do gancho de içamento do núcleo devido a oxidação.
Isolamento do Núcleo	Degradação do Isolamento	Perda das características dielétricas da isolação do núcleo, ocasionando um falha elétrica.
	Degradação do Isolamento	Perda das características dielétricas da isolação das laminas.
Núcleo e Laminados	Descargas Elétricas	Geração de descargas elétricas nas laminas do núcleo, ocasionado por pontos de AT flutuantes ou pontas.
	Correntes Parasitas	Geração de correntes parasitas entre as laminas do núcleo.
	Saturação por fadiga	Saturação do núcleo do transformador por fadiga magnética.



Componente Associado	Denominação	Descrição
Parafusos Passantes	Degradação do Isolamento	Perda das características dielétricas dos parafusos.
	Folga	Afrouxamento dos parafusos, causando afrouxamento também do núcleo e consequentemente mal contato e aquecimento
	Descargas Parciais	Geração de descargas parciais nos parafusos, devido a uma intensificação localizada de campo elétrico.



**FIM!!!**

Comitê de Estudos – B3  
 Centro de Pesquisa de Engenharia  
 CPEL - Laboratório de Engenharia em Equipamentos Elétricos  
 Avenida Paulista, 1508 - Bela Vista - São Paulo - SP  
 cepel@cepel.br