

## Grupo de Estudo de Subestações e Equipamentos de Alta Tensão-GSE

**Avaliação integrada de históricos de manutenções, Inspeções pós-falha, diagnósticos de ensaios de campo e testes em laboratório para prevenção de falhas em Transformadores de Potencial Capacitivo (TPC 500 kV).**

**JOÃO BATISTA SOARES FEITOSA(1);CLEINER SILVA ASSIS(2); BARBARA MEDEIROS CAMPOS(3)  
ELETRONORTE(1);ELETRONORTE(2);ELETRONORTE(3);**

### RESUMO

Falhas na isolação elétrica de equipamentos elétricos são eventos que devem ser sempre evitados, pois afetam a segurança e contabilizam perdas financeiras. Frente aos impactos, uma prática comum é antecipação às falhas, avaliando os riscos para a correta intervenção no tempo certo. Nesse contexto o artigo se propõe apresentar uma experiência de análise que integrou a manutenção e laboratório, visando comprovar a condição de um modelo de Transformador de Potencial -TPC retirado preventivamente de operação após indício de defeito. A iniciativa buscou também aprimorar as técnicas de medições em unidades remanescentes, além de orientar reparações da origem do defeito.

### PALAVRAS-CHAVE

Falha, defeito, manutenção, transformador de potencial capacitivo (TPC), ensaio, inspeção.

### 1.0 - INTRODUÇÃO

O TPC possui um papel fundamental nos sistemas elétricos, responsável pela interface entre o sistema elétrico de potência (SEP) e as unidades de supervisão, controle e proteção (SPCS). É o equipamento cujo funcionamento é condicionar a grandeza de tensão do SEP a nível seguro e tecnicamente viável para uso dos dispositivos de supervisão, controle e proteção dos sistemas elétricos de potência. Assim, o sistema SEP exige necessariamente que este equipamento esteja informando continuamente com fidelidade essa grandeza para boa operação dos dispositivos SPCS, tornando a operação mais segura e confiável. A Figura 1 traz a descrição dos componentes de um Transformador de Potencial Capacitivo – TPC.

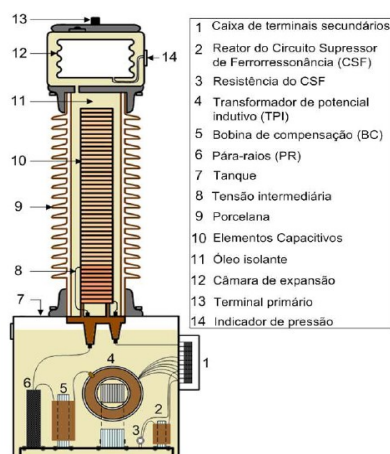


FIGURA 1 – Transformadora de Potencial Capacitivo – TPC (fonte: catálogo de fabricante).

A probabilidade de defeito no TPC ou pior, uma falha funcional, geralmente afeta a confiabilidade operativa do sistema elétrico. Determinados defeitos em TPCs quando não devidamente tratados a tempo podem inclusive

afetar algumas funcionalidades relevantes do sistema elétrico como, o sincronismo e a proteção, resultando em perdas de supervisão e até implicações significativas na receita por indisponibilidade ou restrição da função. De outra forma, a tomada de decisão preventiva para permitir a correção do defeito, quer seja no tempo ótimo ou sua real necessidade de intervenção, nem sempre são assertivas gerando descrédito na manutenção. As duas situações de condutas podem acarretar prejuízos caso as análises não estejam corretamente fundamentadas.

Face ao dilema apresentado esse trabalho buscou justamente exemplificar uma iniciativa de investigação de um determinado modelo de TPC, retirado da operação após indícios de anormalidades e com histórico de falhas precoce sem causa ainda não muito bem definida. A intenção da investigação tinha alguns propósitos, dentre eles o que se mais destacava era justamente avaliar a eficácia do plano de manutenção periódico desses ativos através de ensaios comprobatórios em laboratório, além é claro, avaliar se a decisão da manutenção de campo foi acertada na substituição do equipamento sob suspeita.

A análise minuciosa contou com suporte da área de engenharia de manutenção da empresa que orientava obter o máximo de informações para compor o diagnóstico mais assertivo do problema. O caso apresentado é a análise de um TPC TEIRF 500, série 987647105, código operacional CODP7-CX (Fase B), instalado no Vão de Linha de Transmissão na subestação de Colinas, Estado de Tocantins. A manutenção retirou preventivamente este equipamento de operação após resultados da termografia e monitoramento por Descargas Parciais. A Figura 2 apresenta o registro mais recente da termografia com um desvio térmico de  $1,5^{\circ}\text{C}$  na parte superior do tanque.

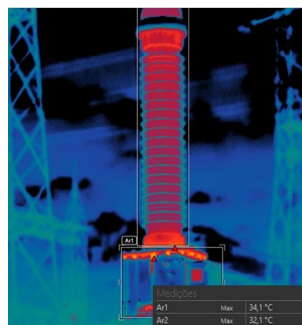


FIGURA 2 – Registro termográfico tanque TPC TEIRF – 500 com  $\Delta t=1,5^{\circ}\text{C}$  ( fonte: Eletronorte/OTLTD).

Como citado, outra fonte de detecção do defeito no TPC ou suspeita dele, foi o resultado de um projeto de pesquisa (Relatório Técnico – 11814/16 – Cepel) que monitorou alguns TPCs na subestação de COLINAS através da medição de descargas parciais- DP. A Figura 3, ilustra o esquema de medição de descargas parciais aplicado pelo Cepel através de projeto de pesquisa institucional nº PI 1857, do qual aplica técnicas de medições com o equipamento em operação.

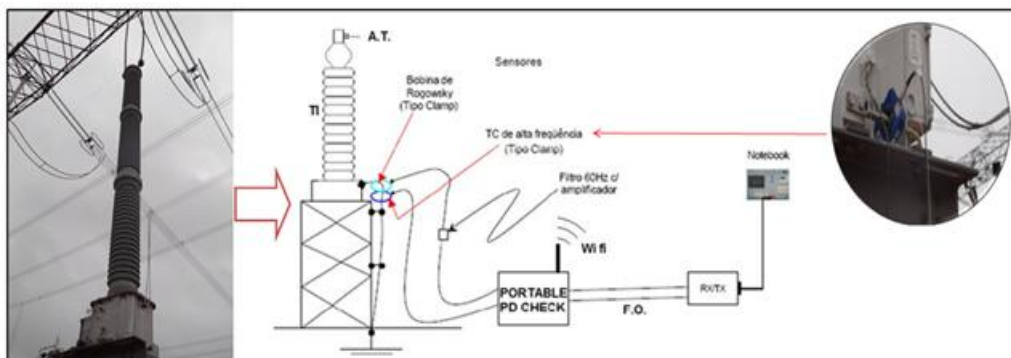


FIGURA 3 – Esquema de medição de DP pelo método eletromagnético no campo (fonte: DLE-13825/18/Cepel).

Como etapa da investigação, o TPC foi encaminhado ao laboratório para ensaios e testes adicionais e repetindo agora em ambiente controlado alguns ensaios de baixa tensão feitos pela manutenção de campo. Os módulos capacitivos foram submetidos a ensaios obtendo resultados satisfatórios. As atenções se voltaram para a análise da unidade eletromagnética do TPC onde abriga a baixa tensão. Foram realizados ensaios de resposta em frequência do dielétrico, medição de descargas parciais com divisor padrão, medição da isolamento e resistência dos enrolamentos. Para análise da resposta dielétrica foi utilizado o DIRANA. Os resultados dessa avaliação integrando equipes da manutenção e do laboratório estão apresentados a seguir.

## 2.0 - PROCEDIMENTO DA ANÁLISE DO TRANSFORMADOR DE POTENCIAL CAPACITIVO NÚMERO DE SÉRIE 98764105.

### 2.1 Ensaio realizado ainda com o TPC instalado na subestação de Colinas/TO

As medições de capacitância e  $\text{tg}\delta$  são normalmente efetuadas simultaneamente, porém não guardam uma relação direta entre si, ou seja, um equipamento pode ter sido afetado por um ensaio de solicitação de tal forma que sua capacitância seja alterada, sem, no entanto, apresentar diferenças em seus valores originais de  $\text{tg}\delta$ .

Na Tabela 1 o TPC CODP7-CX (Fase B) constam alguns resultados de ensaios realizados pela manutenção antes da decisão em abril de 2018 de retirá-lo de operação.

Tabela 1 – Resultados obtidos pela manutenção na subestação de COLINAS/TO

Cod.Operacional	Retirado antes da Falha	Inspeção Termográfica	Res. Isolação CA (Cap e $\text{tg}\delta$ )	Res. Isolação CC	Análise do óleo		Descargas parciais
					CO <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O	
CODP7-CX (B)	Abr/2018	$\Delta t=1,5^{\circ}\text{C}$	Sem desvios	4,1 M $\Omega$	28.434	71	Nível 3

Após isso, o TPC foi enviado para o laboratório de alta tensão da Eletronorte para ensaios complementares como propósito de validar a tomada de decisão da manutenção e orientar futuras situações.

### 2.2 Ensaio realizado no laboratório de alta tensão – Lacen/PA

O transformador de potencial capacitivo (TPC) Haefely Trench, Tipo TEIRF, 550 kV, número de série 987647105, chegou ao laboratório no dia 26/04/2018 e passou por inspeção visual no mesmo dia quando foi constatada sujeira na porcelana como única anormalidade externa. O referido equipamento operava no sistema na fase “B” da linha de transmissão IZCO-LT7-01 na SE Colinas e foi retirado de operação em 15/04/2018. O motivo da retirada de operação foi com base nos resultados anormais referente a parte indutiva(TPI) do TPC na análise de óleo, nível de isolação CC e nível de descargas parciais utilizando TC de alta frequência. O equipamento foi enviado para o Laboratório de Alta Tensão do Centro de Tecnologia da Eletronorte por solicitação da Força Tarefa que investiga os problemas em TPC’s para ser submetido a ensaios em laboratório com objetivo de validar o método preditivo utilizado em campo. No período de 31 de julho a 02 de agosto de 2018 foram realizados ensaios com alta tensão nas colunas capacitivas do transformador de potencial capacitivo. Estes módulos do TPC foram submetidos à seguinte sequência de ensaios:

- Medição de resistência de isolamento;
- Medição de descargas parciais(DP).

Após o Laudo do laboratório indicar resultados satisfatórios das colunas capacitivas do TPC, no período de 27 a 30 de agosto de 2018 a atenção se voltou em avaliar a unidade eletromagnética do TPC(UEM). Esta unidade do TPC foi submetida à seguinte sequência de ensaios:

- Análise de resposta do dielétrico do TPC;
- Medição de relação de transformação;
- Medição de descargas parciais(DP);
- Medição de isolamento CC.

Antes de apresentar os resultados obtidos pelo ensaio de análise de resposta do dielétrico segue uma rápida explicação do seu uso. O sistema de isolamento de equipamentos de alta tensão pode ser descrito por um modelo dielétrico que consiste em resistências e capacitâncias em série e paralelo, que representam a polarização e perdas condutivas no isolamento. A resposta dielétrica é assim, uma característica única do sistema de isolamento específico. O aumento de conteúdo de umidade do isolamento resulta em um modelo alterado e, conseqüentemente, em uma resposta dielétrica alterada. Medindo-se a resposta dielétrica dos equipamentos em um amplo intervalo de frequências, o conteúdo de umidade pode ser avaliado e a condição do isolamento diagnosticada. O instrumento utilizado neste ensaio foi o DIRANA de fabricação Omicron. Ele utiliza os métodos de espectroscopia de domínio de frequência (FDS) e de corrente de polarização e despolarização (PDC). O método de espectroscopia de domínio de frequência (FDS) mede o fator de dissipação do sistema de isolamento em teste em várias frequências. O FDS permite medições rápidas em altas frequências, mas exige longos períodos de medição em frequências inferiores a 0,1 mHz. Já no método de corrente de polarização e despolarização (PDC), uma tensão CC é aplicada no sistema de isolamento em teste durante um período de tempo específico e a corrente de polarização é medida. Depois disso, o sistema de isolamento é colocado em curto e a corrente de despolarização é medida. A partir das correntes de polarização e despolarização, a resposta dielétrica é avaliada e a característica do fator de dissipação em relação à frequência é calculada. O método PDC é muito mais rápido que o FDS em frequências muito baixas, mas a frequência superior é limitada devido ao tempo de elevação limitado dos pulsos

em CC. O DIRANA combina as medições de FDS e PDC para obter as vantagens de ambos os métodos. Em altas frequências, o fator de dissipação é medido com o FDS enquanto em baixas frequências, os resultados obtidos pela medição da corrente de polarização são transformados no domínio de frequência e as características do fator de dissipação em relação à frequência são calculadas. Esse conceito único facilita as medições do fator de dissipação dentro de um intervalo de frequência. Comparando a resposta dielétrica com as medições anteriores ou com as curvas do modelo com base na construção do sistema de isolamento, o DIRANA fornece uma indicação da condição de isolamento como conteúdo da umidade no isolamento óleo/papel em transformadores. A Tabela 2 apresenta os valores gerados após o diagnóstico realizado no isolamento ensaiado.

Tabela 2 – Valores de diagnóstico do papel Conteúdo de Umidade no Papel

Valores de referência	Categoria
0% – 2,2%	Seco
2,2% - 3,7%	Moderadamente úmido
3,7% - 4,8%	Úmido
Acima de 4,8 %	Extremamente úmido

Neste ensaio várias configurações foram realizadas, sendo a primeira delas com um módulo capacitivo ainda acoplado ao tanque indutivo. O circuito de medição utilizado nesse ensaio é mostrado na Figura 4.

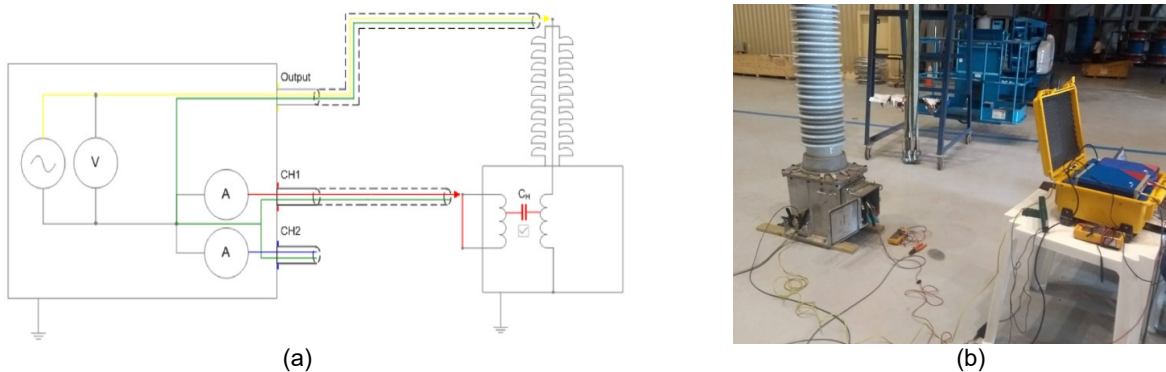


FIGURA 4 – (a) Circuito de medição. (b) Arranjo utilizado no ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento transformador do TPC com um módulo capacitivo acoplado (fonte: Omicron com adaptações do autor).

A Figura 5 mostra as curvas do ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento transformador do TPC com um módulo capacitivo acoplado, conforme esquema ilustrado na Figura 4.

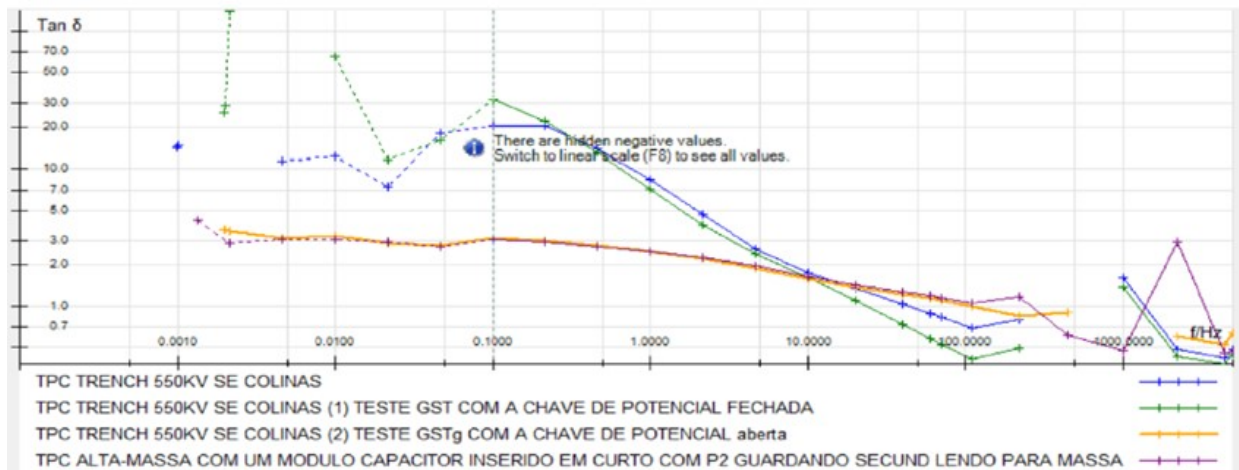


FIGURA 5 - Curvas do ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento transformador do TPC com um módulo capacitivo acoplado (fonte: Eletronorte/Lacen).

As medidas registradas nos ensaios constam nas Tabelas 3 e 4 agrupadas por valores medidos a 60 Hz e 100 mHz, respectivamente.

TABELA 3 - Valores medidos no ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento transformador do TPC com um módulo capacitivo acoplado a 60 Hz

Medição	Frequência	Tg $\delta$	Capacitância [C]	Resistência [R]	Impedância [Z]	Fator de Potência	C(10mHz) C(50Hz)
TPC TRENCH 550KV SE COLINAS	60 Hz	0,878210	25,4168 pF	118,836 M $\Omega$	78,416 M $\Omega$	0,659870	167,4709
TPC TRENCH 550KV SE COLINAS (1)	60 Hz	0,572264	18,6072 pF	249,11 M $\Omega$	123,729 M $\Omega$	0,496686	26,1158
TPC TRENCH 550KV SE COLINAS (2)	60 Hz	1,132203	7,4504 nF	314,461 k $\Omega$	235,692 k $\Omega$	0,749510	219,8361
TPC TRENCH 550KV SE COLINAS (3)	60 Hz	1,186856	7,6705 nF	291,372 k $\Omega$	222,823 k $\Omega$	0,764739	244,5458

(1) Teste GST com a chave de potencial fechada;

(2) Teste GSTg com a chave de potencial aberta;

(3) Teste HV-T com o módulo capacitor em curto com P2, guardando circuito secundário.

TABELA 4 - Valores medidos no ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento transformador do TPC com um módulo capacitivo acoplado a 60 Hz.

Medição	Frequência	Tg $\delta$	Capacitância [C]	Resistência [R]	Impedância [Z]	Fator de Potência	C(10mHz) C(50Hz)
TPC TRENCH 550KV SE COLINAS	100 mHz	20,187882	264,7982 pF	297,724 M $\Omega$	297,36 M $\Omega$	0,998775	167,4709
TPC TRENCH 550KV SE COLINAS (1)	100 mHz	31,513424	102,8311 pF	491,134 M $\Omega$	490,887 M $\Omega$	0,999497	26,1158
TPC TRENCH 550KV SE COLINAS (2)	100 mHz	3,127842	303,3551 nF	1,677 M $\Omega$	1,598 M $\Omega$	0,952504	219,8361
TPC TRENCH 550KV SE COLINAS (3)	100 mHz	3,074373	330,7434 nF	1,565 M $\Omega$	1,488 M $\Omega$	0,950959	244,5458

(1) Teste GST com a chave de potencial fechada;

(2) Teste GSTg com a chave de potencial aberta;

(3) Teste HV-T com o módulo capacitor em curto com P2, guardando circuito secundário.

Como base nos resultados gerados com os arranjos de medições com o TPC completamente montado, o instrumento DIRANA apresentou o diagnóstico da condição da isolação papel-óleo do transformador, ver Tabela 5.

TABELA 5 - Valores medidos no ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento transformador do TPC com um módulo capacitivo acoplado a 60 Hz.

Isolamento	Óleo		Papel	
	Condutividade	Diagnóstico	Umidade	Diagnóstico
TPC TRENCH 550KV SE COLINAS	4,4 nS/m	Insatisfatório	3,5%	Moderadamente úmido
TPC TRENCH 550KV SE COLINAS (1)	3,0 nS/m	Insatisfatório	3,5%	Moderadamente úmido
TPC TRENCH 550KV SE COLINAS (2)	3,4 nS/m	Insatisfatório	3,4%	Moderadamente úmido
TPC TRENCH 550KV SE COLINAS (3)	3,5 nS/m	Insatisfatório	3,5%	Moderadamente úmido

(1) Teste GST com a chave de potencial fechada;

(2) Teste GSTg com a chave de potencial aberta;

(3) Teste HV-T com o módulo capacitor em curto com P2, guardando circuito secundário.

Como etapa seguinte, a segunda configuração para baterias de ensaios foi realizada com o TPC sem o módulo capacitivo, ou seja, somente do transformador do secundário do TPC foi ensaiado. O circuito de medição utilizado nesse ensaio é mostrado na Figura 6. Nessa configuração foram analisados os isolamentos CHL (alta para baixa) e CH (alta para massa).

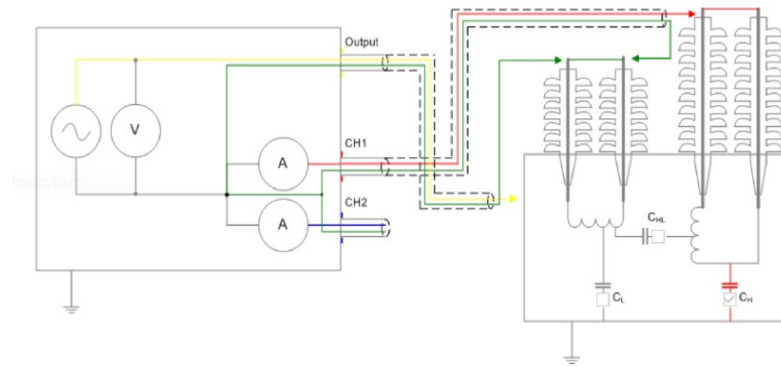


FIGURA 6 - Circuito de medição utilizado no ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento transformador do TPC( fonte: Omicrom).

Já a Figura 7 mostra as curvas medidas e as Tabelas 6 e 7 os valores medidos a 60 Hz e 100 mHz, respectivamente. Já a Tabela 8 apresenta o resultado final do ensaio.

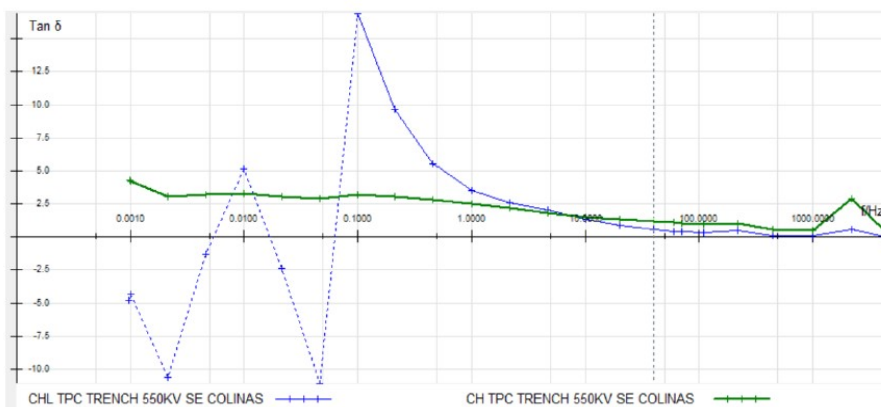


FIGURA 7 - Curvas medidas no ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento transformador do TPC(fonte: Eletronorte/Lacen).

TABELA 6 - Valores medidos no ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento do TPC a 60 Hz.

Medição	Frequência	Tg $\delta$	Capacitância [C]	Resistência [R]	Impedância [Z]	Fator de Potência	C(10mHz) C(50Hz)
CHL TPC TRENCH 550KV SE COLINAS	60 Hz	0,434728	819,5874 fF	7,445 G $\Omega$	2,968 G $\Omega$	0,398684	172,507
CH TPC TRENCH 550KV SE COLINAS	60 Hz	1,095022	7,3682 nF	328,766 k $\Omega$	242,767 k $\Omega$	0,738419	217,3629

TABELA 7 - Valores medidos no ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento TPC a 100 mHz.

Medição	Frequência	Tg $\delta$	Capacitância [C]	Resistência [R]	Impedância [Z]	Fator de Potência	C(10mHz) C(50Hz)
CHL TPC TRENCH 550KV SE COLINAS	100 mHz	16,885028	4,5388 pF	20,767 G $\Omega$	20,731 G $\Omega$	0,998251	172,507
CH TPC TRENCH 550KV SE COLINAS	100 mHz	3,243621	280,0785 nF	1,752 M $\Omega$	1,674 M $\Omega$	0,955616	217,3629

Como base nos resultados gerados e os arranjos de medições apenas com a unidade indutiva do TPC, o instrumento DIRANA apresenta o diagnóstico da condição da isolamento papel-óleo do transformador, ver Tabela 8.

TABELA 8 - Resultados do ensaio de análise de resposta do dielétrico do isolamento do TPC.

Isolamento	Óleo		Papel	
	Condutividade	Diagnóstico	Umidade	Diagnóstico
CHL TPC TRENCH 550KV SE COLINAS	2,5 nS/m	Insatisfatório	3,6%	Moderadamente úmido
CH TPC TRENCH 550KV SE COLINAS	5,7 nS/m	Insatisfatório	3,4%	Moderadamente úmido

Em seguida, a unidade eletromagnética foi avaliada pela ensaio de Relação de Transformação (TTR), obtendo erros dentro dos limites adequados para sua classe de exatidão.

Após isso procedeu o ensaio de Medição da Resistência do Isolamento. Neste ensaio foram realizadas duas medições com o transformador totalmente desconectado: isolamento primário-massa e isolamento secundário-massa. Os resultados estão apresentados a seguir:

- Resistência de isolamento do primário do TI ( Transformador intermediário) x Massa = 3,7 M $\Omega$ ;
- Resistência de isolamento do secundário x Massa = 5,5 G $\Omega$ .

Como observação ao procedimento, é importante esclarecer que essa medição foi feita inicialmente em campo onde os resultados também confirmaram o alerta da degradação da isolação Alta-Massa da unidade eletromagnética. O critério seguiu as orientações contidas no catálogo do fabricante, estabelecendo como condição normal o valor igual ou acima de 50,0 M $\Omega$ .

Ao final, foi realizado a medição de descargas parciais (DP) somente na unidade eletromagnética com o uso do TC de alta frequência. É bom lembrar que esse teste foi feito em campo com o TPC completamente montado e operando. A medição de descargas parciais em laboratório foi realizada através da aplicação de 3 kv no enrolamento primário curto-circuitado e com o enrolamento secundário curto-circuitado e aterrado. Os resultados confirmaram a mesma resposta de campo com características de DP, ver Figuras 08 (a) e (b).

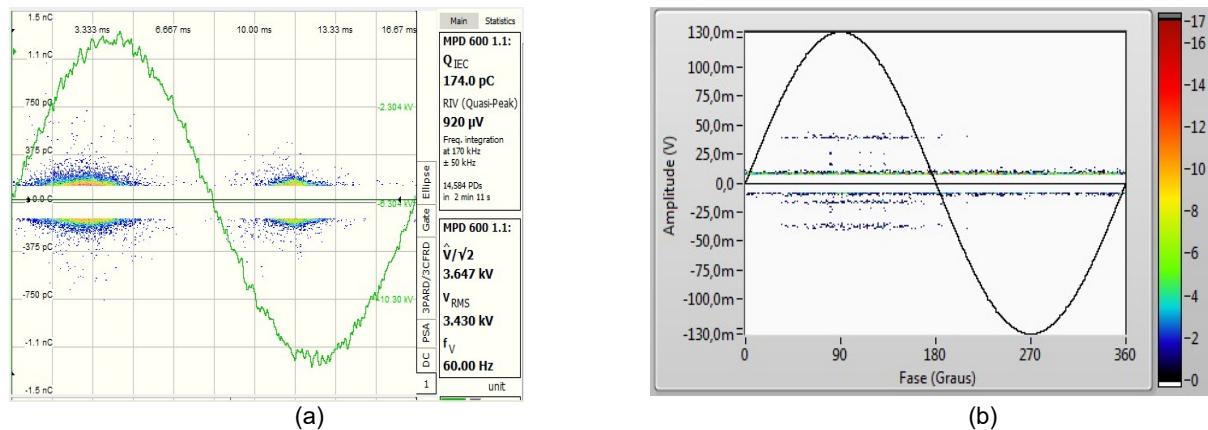


FIGURA 08 – (a) Medição de descargas parciais através do método direto IEC 60270-2000. (b) Medição de descargas parciais através do transformador de corrente de alta frequência (fonte: Eletronorte/Lacen).

### 3.0 - ANÁLISE DOS RESULTADOS

Os testes dielétricos realizados no laboratório de alta tensão da Eletronorte no TPC TEIRF 500, série 987647105, código operacional CODP7-CX (Fase B), concluíram que os módulos capacitivos apresentaram um desempenho satisfatório. Já a unidade eletromagnética do TPC (UEM), os ensaios de análise de resposta do dielétrico, medição de descargas parciais com capacitor padrão e medição de resistência de isolamento, confirmaram presença de descargas de baixa intensidade, ver Figura 8.

Para análise da resposta dielétrica onde foi utilizado o instrumento da Omicron DIRANA. A análise dos resultados ficou baseada pelo critério da tabela 2 – Valores de diagnóstico do papel Conteúdo de Umidade no Papel. Essa instrumentação fornece uma boa indicação da condição do conteúdo da umidade no isolamento papel e óleo e por esse motivo foi utilizado como forma de validação de resultados. A simples medição da isolação CC, feita no campo (4,1 M $\Omega$ , Tabela 01) e no laboratório (3,7 M $\Omega$ , item 1.2.2), seguindo as orientações do fabricante do produto que estabelece nível superior a 50 M $\Omega$ , comprovou que o isolamento Primário-Massa do transformador de baixa tensão (TPI) já apresentava degradação. O instrumento DIRANA interpretou também ser insatisfatória a isolação dessa unidade eletromagnética (UEM), conforme pode ser visto nas tabelas 5 e 8. Este resultado veio a confirmar

a preocupação com a umidade (71ppm) no óleo.

A Análise de Gases Dissolvidos- AGD do óleo na unidade eletromagnética do TPC, ver Tabela 9, nota-se uma boa coerência na interpretação quando se avalia as concentrações de CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> e a presença de descargas elétrica medidas no campo (HFCT) e no laboratório (Capacitor Padrão). A comparação foi feita como base na fase de comissionamento quando registrava valores de CO<sub>2</sub> < 8.000 e H<sub>2</sub> < 10.

TABELA 9 – Resultado da Análise de Gases Dissolvidos-AGD no TPC CODP&-CX - 2018.

Ano	CodOp	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	CO	CO <sub>2</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>2</sub>	H <sub>2</sub> O
2018	CODP7-CX-B	78	8787	45.942	4	17	28.434	0	0	0	71

Pela coerência dos resultados dos testes realizados no laboratório de alta tensão da Eletronorte comprovaram existir uma falha iminente do equipamento, já alertado pelos desvios registrados pela manutenção de campo. A análise do óleo e consultas ao manual do equipamento aponta que a o excesso de umidade no interior do tanque foi fator determinante para a condição de defeito. Mesmo que os esforços elétricos não sejam tão severos no TPI, pressupõe que circunstâncias do sistema elétrico de potência tais como, surtos temporários ou transitórios, não foram bem assimiladas pela isolação deste equipamento tendo em vista a sua degradação provocada gradativamente pela perda da hermeticidade, já alertada nas medições de descargas parciais, AGD e termografia.

Alguns pontos relacionados como vedações fragilizadas foram repassadas ao fabricante para uma melhor avaliação, ver Figura 9..

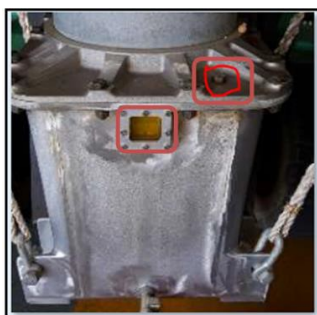


FIGURA 9 – Pontos suspeitos que justificam a entrada de umidade no TPC( foto: autor).

#### 4.0 - CONCLUSÃO

As técnicas preditivas realizadas pela manutenção, como a análise do óleo isolante, termografia e medição de descargas parciais se mostraram muito eficientes para indicar características do defeito no equipamento. Importante citar que os desvios encontrados na manutenção de campo foi também confirmadas no laboratório. Por exemplo o o instrumento da Omicro(DIRANA) convergiu bastante com o alerta gerado pela medição de isolamento da baixa tensão do transformador . Essa constatação fez como que o teste como uso do Megômetro na baixa do transformador fosse inserido na manutenção preventiva desse modelo de TPC. Já a técnica de medição do Fator de Potência, amplamente utilizado na avaliação da isolação elétrica de equipamentos, neste caso, nao apresentou boa sensibilidade na identificação do defeito na unidade eletromagnética do TPC. Muito embora entenda-se que a geração de descargas parcial percebidas no TPC pode ao longo do tempo pode comprometer a qualidade do dielétrico, fazendo com que suas perdas venham a aumentar ao longo do tempo.

Outros ganhos foram obtidos com a investigação que integrou equipes da manutenção e do laboratório. Devido o histórico de falhas falhado, torna-se prudente acompanhar mais de perto pequenos sinais de defeitos nas unidades similares ainda instaladas, da seguinte forma:

- Verificar o indicador de nível de óleo e a sua aparência. Alerta-se que o desginer do indicador de nível foi modificado para unidades recém-adquiridas, mas pela consulta ao fabricante não se tratou de melhoria de projeto, apenas, mudança do tipo construtivo;
- Avaliar a continuidade da conexão dos equipamentos remanescentes ao malha de terra. Suspeita-se que a deficiência nesta conexão amplifica o nível de surtos suscetíveis a qualquer sistema elétrico;
- Alertar sobre qualquer alteração de temperatura no caixa dos TPC remanescentes. Incrementos de 2°C, já podem ser reflexos de defeitos latentes;
- Monitorar com mais frequência o perfil da medição. Qualquer distorção, oscilação e descontinuidade no sinal devem ser repassadas ao setor de manutenção;
- Reforçar o fiel cumprimento do PMP, quando cita a realização da coleta do óleo (seringa) para análise de gases dissolvidos e teor de umidade (H<sub>2</sub>O);



- Por fim, quando nas oportunidades de desligamentos realizar medição de isolamento CC(abaixo de 2kV) envolvendo os terminais P1 e P2, pois, como se pode observar na fase de levantamento de dados, o testes de isolação não foram isoladamente suficientes para detecção do defeito

Por fim, como aspecto mais relevante que a avaliação integrada pôde concluir, foi o sucesso da manutenção na identificação do defeito e sua decisão da retirada do equipamento antes mesmo da falha. Convém citar que a retirada bem programada do TPC da família TEIRF 500 de operação da LT IZCO, evitou perdas financeiras por indisponibilidade, estimada em R\$22.000,00/minuto, decisão esta comprovada pelos testes realizados no laboratório de alta tensão da Eletronorte.

#### 5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Transformador de Potencial Capacitivo - IEC 60044-5/2004.
- (2) Transformador de Potencial Indutivo - NBR 6855/2009.
- (3) Manual do fabricante TPC HEAFLEY TRENCH TEIRF500
- (4) Relatório Técnico – 11814/2016 – Cepel - Avaliação de Transformadores de Instrumentos e Para-Raios pelos Métodos Eletromagnético, Acústico e Nova Proposta com sensores UHF nas Subestações de Colinas e Miracema da Eletronorte na Regional do Tocantins.
- (5) International Standard – Mineral oil-impregnated electrical equipment in service – Guide to the interpretation of dissolved and free gases analyses – CEI IEC 60599.
- (6) VIEIRA C. JUNIOR, ADEMAR – Interação Transitória Entre Transformadores de Potencial Capacitivos e Linhas de Transmissão: Uma Contribuição para Minimizar Falhas - Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Pernambuco.

#### 6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



João Batista S. Feitosa, Engenheiro Elétricista – UFC com pós-graduação nas áreas de Sistemas Elétricos de Potência – UNIFOR, MBA em Negócios e Finanças Empresarias - FGV e Engenharia da Segurança do Trabalho - RTG. Conta com a experiência de 10 anos no ensino profissionalizando e 23 anos no setor de energia elétrica, atuando como engenheiro em Concessionárias de Distribuição, Transmissão e Geração de Energia. É funcionário da empresa ELETROBRAS ELETRONORTE, onde desempenhou atividades na área de Projetos e Construções. Atualmente, ocupa o cargo de engenheiro de manutenção ligado à Diretoria de Operação da empresa.