



Curso de Termografia Infravermelha Nível 2 do ITC

Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (Transformador de Corrente)

Autor: Alexsandro Teixeira Gomes

alexsandro.teixeira@cemig.com.br

(31).3506.4428 - fax (31) 3506.4380 - (31).8675.6188

Engenheiro de Planejamento de Manutenção de Geração e Transmissão

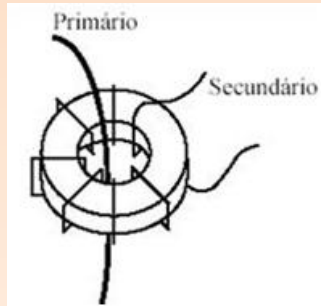
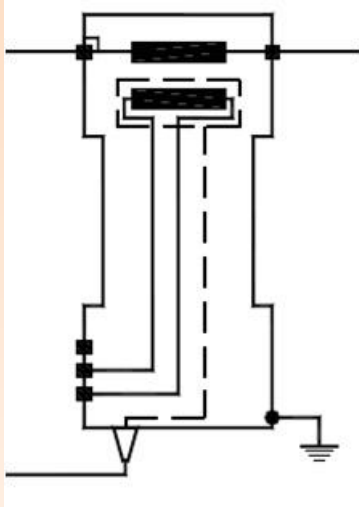
CEMIG Geração e Transmissão S.A.

av. Barbacena, 1200 - 13º andar - ala B2, Santo Agostinho, Belo Horizonte - MG, 30.190-131

Termovisor utilizado: FLIR P620

Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

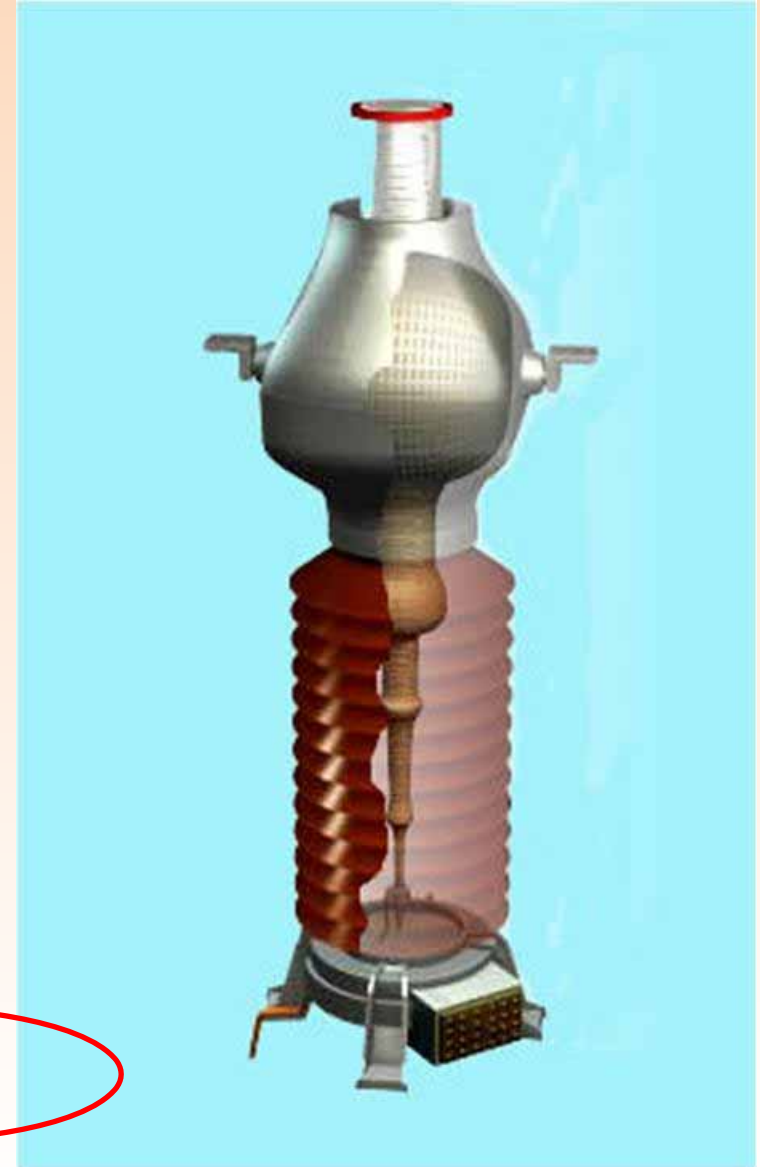
TC – Transformador de corrente



É um transformador destinado a reproduzir proporcionalmente em seu circuito secundário a corrente do seu circuito primário com sua posição fasorial mantida, conhecida e adequada para uso em instrumentos de medição e proteção.



Construção



Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

Metodologia antiga de inspeção termográfica em TC

Metodologia

- Análise comparativo entre TCs de diferentes fases, para um mesmo modelo/ fabricante.
- Atenção especial à parte ativa: maior elevação de temperatura → **falha interna incipiente**.
- Diferenças construtivas.



TC – Tipo tanque



TC – Tipo núcleo invertido

Critério

$\Delta t > 10^{\circ}\text{C}$: Contatar a engenharia para analisar a substituição do TC ou acompanhamento com periodicidade especial.

$\Delta t > 20^{\circ}\text{C}$: Retirar de operação em caráter de urgência.

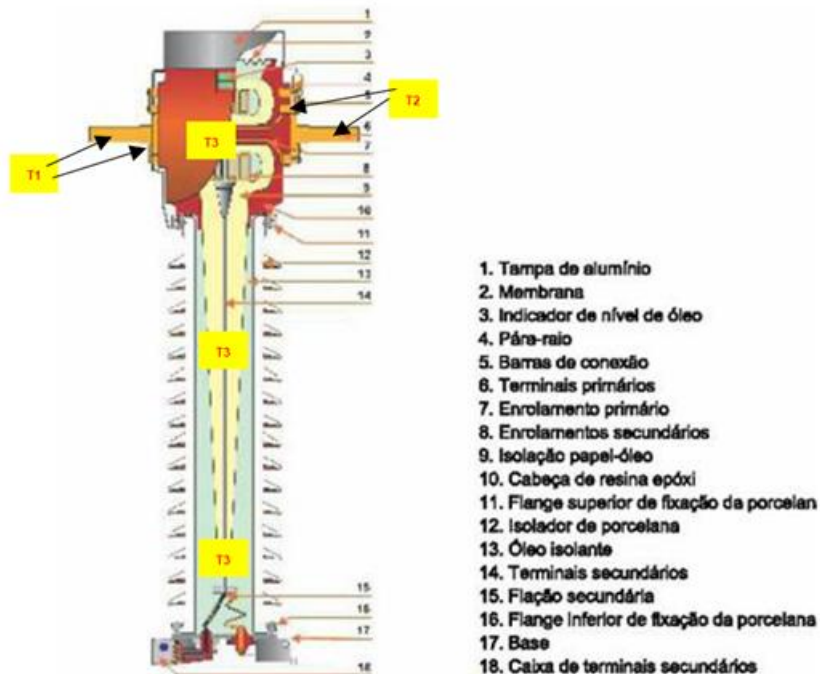
Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

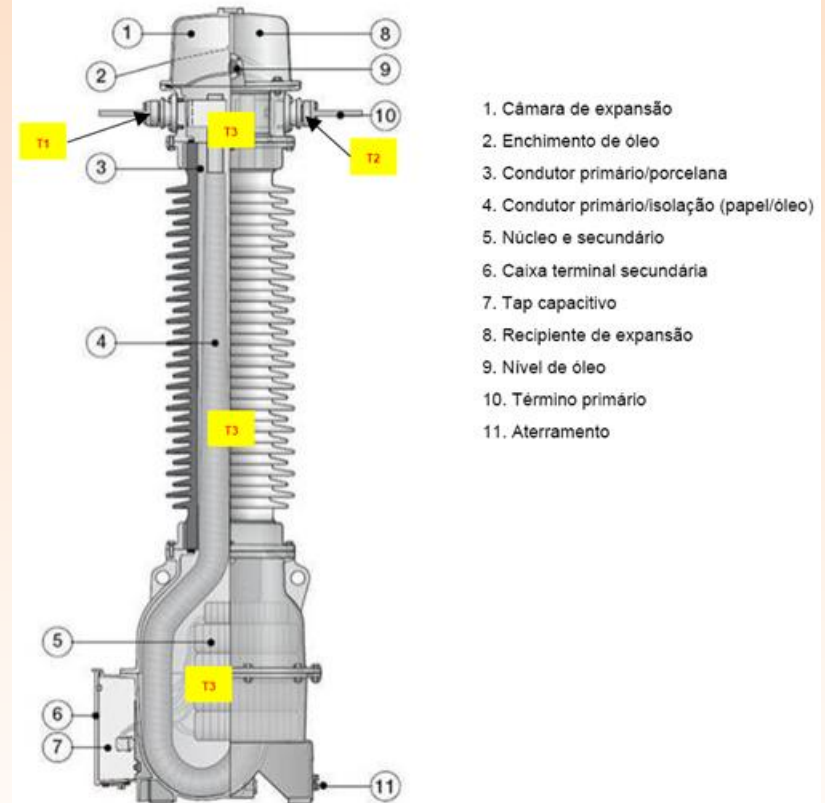
Metodologia

Melhor detalhamento dos pontos de inspeção

TCs tipo Núcleo Invertido (núcleo no topo)



TCs tipo Tanque (núcleo na base)



Referências de temperatura:

T1: Entrada de corrente, conexão ou religação.

T2: Saída de corrente, conexão ou religação.

T3: Parte ativa e Coluna isolante

Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

Metodologia

A metodologia de inspeção atual divide o TC em duas linhas de análise:

- 1ª é focada nas conexões elétricas (terminais primários e barras de religação).
- 2ª é focada na parte ativa e colunas isolantes.

Todo aquecimento que não ficar bem caracterizado como sendo em conexão, será considerado como aquecimento na parte ativa ou coluna isolante.

Critérios

Base:

1. Experiência CEMIG
2. Informações de fabricantes de TCs e limites de projeto (Norma)

TC - Conexão e partes metálicas: Referências T1 e T2 (pág. 1 e 2)		
Delta t: Entrada-P1 x Saída-P2 ou TC adjacente	Diagnóstico	Providencias
< = 5°C	Padrão térmico normal	Inspeção termográfica semestral. Obs.: Delta t >= 5°C abrir relatório e encaminhar à EN/MT.
> 5 e < = 20°C	Padrão térmico anormal	Inspeção visual diária, Inspeção termográfica mensal e Programação de reparo ou substituição do TC.
> 20°C	Padrão térmico anormal	Inspeção visual diária, Inspeção termográfica semanal e Programação de reparo ou substituição do TC com urgência.

Obs.: Aquecimento em conexão de TC é crítico porque pode degradar o isolamento da parte ativa, e impedir a visualização de problemas mais graves no equipamento.

TC - Parte ativa e Coluna isolante: Referência T3 (pág. 1 e 2)		
Delta t: TC adjacente	Diagnóstico	Providencias
< = 5°C	Padrão térmico normal	Inspeção termográfica semestral. Obs.: Delta t >= 3°C abrir relatório e encaminhar à EN/MT.
> 5 e < = 10°C	Padrão térmico anormal	Inspeção visual diária, Inspeção termográfica semanal e Programação de substituição do TC.
> 10°C	Padrão térmico anormal	Inspeção visual diária, Inspeção termográfica semanal e Programação de substituição do TC com urgência.

Referencias da Norma: NBR 6856 - Transformador de Corrente - Especificação - 1992	
Temperatura °C	Referencia
105	Classe de temperatura do material isolante
40	Máxima Temperatura do ar ambiente
65	Elevação de temperatura - enrolamento - Método do Ponto Quente
50	Elevação de temperatura - liquido isolante

Exemplo: Para temperatura uma ambiente de 30°C a temperatura admissível no ponto mais quente é 95°C.

Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

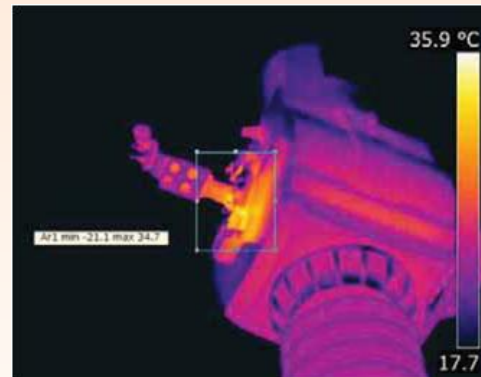
Exemplo de aplicação:

SE Juiz de Fora 1 – TC de Medição de Fronteira – T4 138kV - Fase BR

Dados de placa do TC

Fabricação: 2007, Tensão máx.: 145kV, N.I.:230/550/-kV, Norma/ano: NBR-6856/02, Fator térmico: Medição (1,5xIn) e Proteção (1,0xIn), It/t: 40/1kA, Id: 100kAcr, Relação: Medição (800-5A) e Proteção (1200-5A), Exatidão: Medição (0,3C100) e Proteção (10B800), Tipo/massa do óleo: Naftenico Nytro/4000A/60kg e Massa total: 445kg.

Inspeção termográfica em 04/2009



TCs da Medição de Fronteira com aquecimento

Subestação	Ponto operativo	Fase	TC			Data	Corrente do circ.(A)	T° C amb	Umidade relat. AR %	Temperaturas e Delta t - Entrada-P1 e Saída-P2								Diagnóstico	Providencias
			Modelo	Relação	n° série					Temperaturas				Delta t: ambiente		Delta t P1 x P2	Delta t: adjacente		
										Entrada-P1	Saída-P2	Menor	Maior	Entrada-P1	Saída-P2				
Juiz de Fora 1	138kV - T4	AZ	QDR 145/2		06.6167-06	11/4/2009	160	21,5	75	27,4	27,1			5,9	5,6	0,3	0,5	Padrão térmico normal	Inspeção termográfica semestral.
Juiz de Fora 1	138kV - T4	BR	QDR 145/2		06.6167-07	11/4/2009	170	21,5	75	28,3	39,5	26,9	39,5	6,8	18	11,2	12,6	Padrão térmico anormal	Inspeção visual diária, Inspeção termográfica mensal e Programação de reparo ou substituição do TC.
Juiz de Fora 1	138kV - T4	VM	QDR 145/2		06.6167-05	11/4/2009	160	21,5	75	28,6	26,9			7,1	5,4	1,7	1,7	Padrão térmico normal	Inspeção termográfica semestral.

Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

SE Juiz de Fora 1 – TC de Medição de Fronteira – T4 138kV - Fase BR

Investigação junto ao fabricante

NBR-6856 – Transformador de corrente Especificação

Ensaio de tipo do fabricante (elevação de temperatura) – jun2005

Tabela 11 - Limites de elevação de temperatura

Tipo de TC	Classe de temperatura	Limites de elevação de temperatura ^(A)				
		Dos enrolamentos		Do líquido isolante	Partes metálicas	
		Método da variação da resistência	Método do ponto mais quente		Em contato com ou adjacentes à isolamento	Outras partes
Com isolamento líquida e conservador ou gás inerte sobre o líquido isolante	A (105°C)	55°C	65°C	55°C ^(B)	Não devem atingir temperatura superior à máxima especificada para o ponto mais quente da isolamento adjacente	Não devem atingir temperatura excessiva, que possa prejudicar a isolamento
Com isolamento líquida e sem conservador ou gás inerte sobre o líquido isolante	A (105°C)	55°C	65°C	50°C ^(C)		
Com isolamento sólida	A (105°C) E (120°C) B (130°C) F (155°C) H (180°C)	55°C 70°C 80°C 105°C 130°C	65°C 80°C 90°C 115°C 140°C	- - - - -		

^(A) Os TC de uma classe de temperatura especificada podem usar, na sua isolamento, combinações de materiais das classes A a H (105°C a 180°C), desde que tais combinações sejam usadas em locais dos TC não sujeitos a elevações de temperatura superiores às permitidas para o material de classe mais baixa da combinação.

^(B) Medida próxima à parte superior do tanque.

^(C) Medida próxima à superfície.



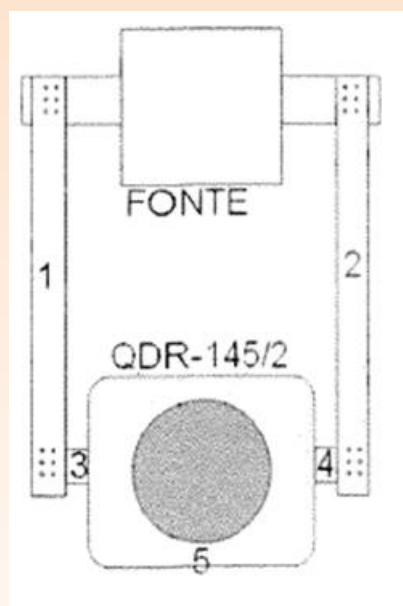
T ens (horas)	Tamb (°C)	T1 (°C)	ΔT1 (k)	T2 (°C)	ΔT2 (k)	T3 (°C)	ΔT3 (k)	T4 (°C)	ΔT4 (k)
0	16.75	16	0	16	0	16	0	16	0
3.0	16.75	47.0	30.3	46	29.3	42	25.3	43	26.3
6.7	17.00	50.0	33	48	31	44	27	45	28
10.3	17.00	50.0	33	48	31	43	26	44	27
14.3	15.50	52.0	36.5	51	35.5	45	29.5	47	31.5
17.3	15.50	51.0	35.5	50	34.5	44	28.5	45	29.5
20.3	15.00	52.0	37	50	35	44	29	46	31
22.3	15.25	50.0	34.8	49	33.8	43	27.8	44	28.8

Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

SE Juiz de Fora 1 – TC de Medição de Fronteira – T4 138kV - Fase BR

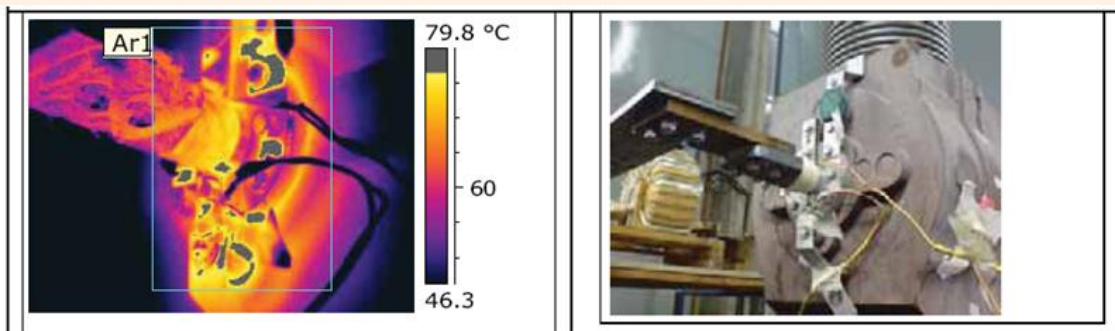
Ensaio de elevação de temperatura - jan2010 - Fabricante x CEMIG



Configurações para ensaio
Corrente aplicada: 1200A.
Medição (1S1-1S2 – 800-5A): 7,5A.



Medição direta de temperatura



Inspeção termográfica

Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

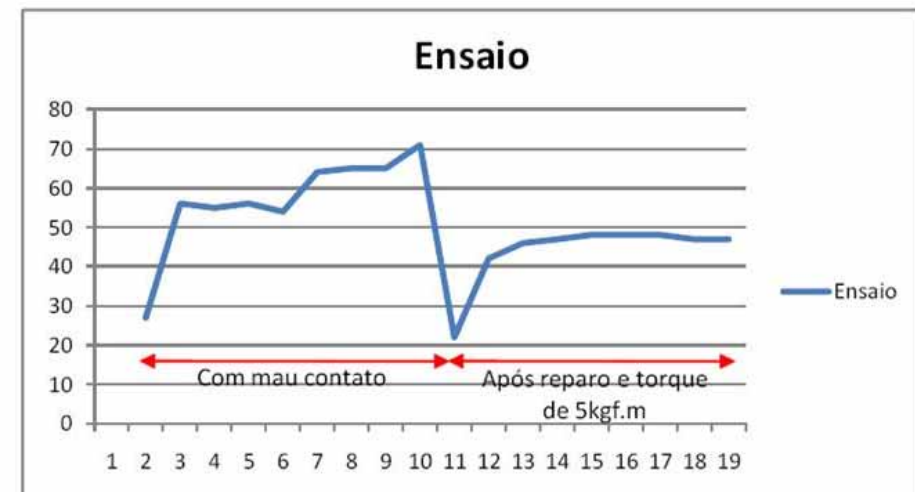
SE Juiz de Fora 1 – TC de Medição de Fronteira – T4 138kV - Fase BR

Ensaio de elevação de temperatura

Compilação das máximas temperaturas verificadas com o termovisor
TC com mau contato nas barras de religação

Data	Hora	Situação do TC	Temp ambiente	Máximas temperaturas	
				Ensaio	Termovisão
4/1/2010	14:00h	Com mau contato	29,5		66,3
4/1/2010	16:00h	Com mau contato	29,5	27	65,8
4/1/2010	19:00h	Com mau contato	26	56	71,3
4/1/2010	22:00h	Com mau contato	25,5	55	
4/1/2010	01:00h	Com mau contato	25	56	
4/1/2010	04:00h	Com mau contato	24	54	
5/1/2010	07:00h	Com mau contato	26	64	76,4
5/1/2010	10:00h	Com mau contato	25,5	65	75,3
5/1/2010*	13:00	Com mau contato	30,23	65	79,9
5/1/2010	16:00h	Com mau contato	29,5	71	
6/1/2010	09:00h	Reparado	22	22	55,7
6/1/2010	12:00h	Reparado	24,5	42	53,9
6/1/2010	15:00h	Reparado	27	46	
6/1/2010	18:00h	Reparado	25,5	47	
6/1/2010	21:00h	Reparado	24,5	48	
7/1/2010	00:00h	Reparado	24	48	
7/1/2010	03:00h	Reparado	23,5	48	
7/1/2010	06:00h	Reparado	23	47	
7/1/2010	09:00	Reparado	23,5	47	57,4

* Alterado o ponto de medição do conector de entrada para a barra de religação.



Máximas temperaturas verificadas:

- Com mau contato no ensaio: 71graus.
- Com mau contato na termografia 79,9graus.
- Após reparo no ensaio: 48graus.
- Com mau contato na termografia: 57,4graus.

Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

SE Juiz de Fora 1

SE Juiz de Fora 1 – TC de Medição de Fronteira
T4 138kV - Fase BR

Problema encontrado:

- Mau contato nas chapas de religação



Referencia	Barra de religação	Parafuso	Torque kgfm	
			Encontrado	Corrigido
P1	Inferior	Inferior	3	5
		Superior	4	5
	Superior	Inferior	3	5
		Superior	3	5
P2	Inferior	Inferior	3	5
		Superior	3	5
	Superior	Inferior	4	5
		Superior	4	5

Referencia	Barra de religação	Resistência contato $\mu\Omega$	
		TC com mau contato (no final da 1ª etapa)	TC após limpeza torque de 5kgf.m
P1	Inferior	80	8
	Superior	44	12
P2	Inferior	42	15
	Superior	33	17
Total do TC		67	33



Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

SE Juiz de Fora 1 – TC de Medição de Fronteira – T4 138kV - Fase BR

Conclusões

TC com mau contato:

Apresentou elevação temperatura inferior ao limite de norma ($79,9 - 30,23 = 49,67^{\circ}\text{C}$) contra 65°C . No entanto, superior ao maior valor encontrado no ensaio de tipo ($52 - 15,5 = 36,5^{\circ}\text{C}$).

TC após intervenção (limpeza e torque de 5kgf.m):

Apresentou elevação temperatura inferior aos ensaio de tipo e limite de norma, portanto, liberado para a energização.

Termografia:

- Ficou comprovado que a metodologia proposta, com base no exemplo apresentado - Δt de $12,6^{\circ}\text{C}$ (160A), é capaz de indicar problemas de má conexão em TCs, com forte correlação com os valores encontrados nos Ensaio de Tipo do Modelo sob análise e Referencias da Norma NBR-6856.
- Com relação a identificação do ponto mais quente do TC, durante o ensaio de elevação, a termografia se mostrou mais eficiente que o método convencional de medição.

Problemas evitados

Como esses TCs estão instalados na fronteira com a Distribuição (Subtransmissão – 138 kV), evitou-se perdas de receita de até R\$ 60.000,00 a hora, interrupção de milhares de consumidores por ponto de instalação e risco de multas que podem superar R\$ 1.000.000,00.

Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

Considerações finais:

Após o fechamento desse trabalho o fabricante passou a estanhar as chapas de religação, fazendo recall nos equipamentos fornecidos para a CEMIG a partir de 2006, e não foram identificadas novas anomalias.

A inspeção termográfica de equipamentos de subestações como Pára-raios, Transformadores, Transformadores de Corrente, Transformadores de Potencial, Disjuntores, etc; exige o conhecimento da construção e funcionamento desses equipamentos, porque permitir entender seus perfis térmicos e identificar as anomalias.

A termografia infravermelha quando utilizada por profissionais habilitados, com equipamentos adequados e com procedimentos e metodologias consistentes, permite o diagnóstico seguro.

É muito importante que se defenda a utilização da termografia infravermelha como método de ensaio de elevação de temperatura de equipamentos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS E/OU BIBLIOGRAFIA

AREVA, Manual de instruções nº 18.300, Transformador de Corrente Tipo QDR.

ABNT, NBR-6856 – Transformador de corrente – Especificação.

ABNT, NBR 6821 – Transformador de Corrente - Método de ensaio.

CEMIG, Recomendação Técnica - 22.111-TR/MN-088c, critérios de inspeção e avaliação por termografia.

CEMIG, Recomendação Técnica - 02-111-EN/MT-0401 Critérios de inspeção e avaliação por termografia em Transformadores de corrente.