



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

Autor: Alessandro Teixeira Gomes, termografista nível II ITC

### **CEMIG GT**

**PN:** Superintendência de Planejamento da Manutenção de Geração e Transmissão

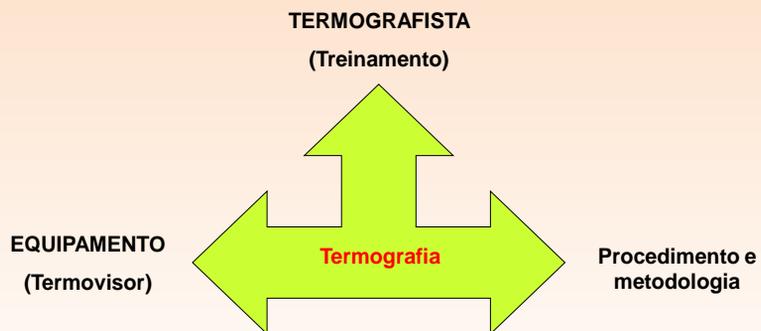
**PN/MT:** Gerência de Planejamento e Engenharia de Manutenção da Transmissão

[www.cemig.com.br](http://www.cemig.com.br)

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

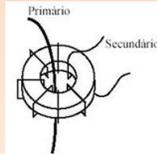
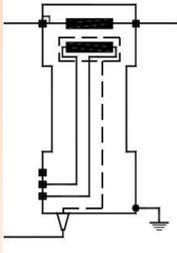
### **Contextualização**

Melhoria na gestão da termografia na área de transmissão da CEMIG-GT



## 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.

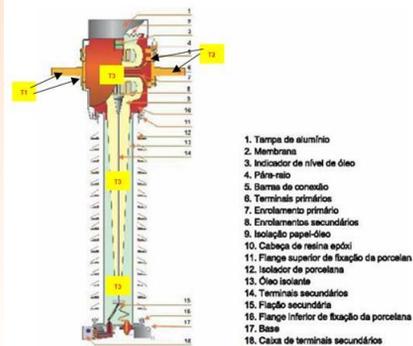
## Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

### Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

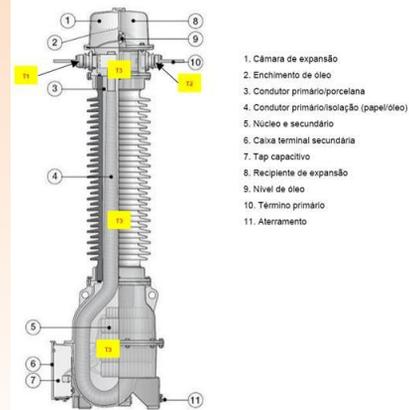
#### Metodologia

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.

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

### Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

#### 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
$\leq 5^{\circ}\text{C}$	Padrão térmico normal	Inspeção termográfica semestral. Obs.: Delta t $\geq 5^{\circ}\text{C}$ abrir relatório e encaminhar à ENMT.
$> 5$ e $\leq 20^{\circ}\text{C}$	Padrão térmico anormal	Inspeção visual diária, Inspeção termográfica mensal e Programação de reparo ou substituição do TC.
$> 20^{\circ}\text{C}$	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
$\leq 5^{\circ}\text{C}$	Padrão térmico normal	Inspeção termográfica semestral. Obs.: Delta t $\geq 3^{\circ}\text{C}$ abrir relatório e encaminhar à ENMT.
$> 5$ e $\leq 10^{\circ}\text{C}$	Padrão térmico anormal	Inspeção visual diária, Inspeção termográfica semanal e Programação de substituição do TC.
$> 10^{\circ}\text{C}$	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 $^{\circ}\text{C}$	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 ambiente de  $30^{\circ}\text{C}$  a temperatura admissível no ponto mais quente é  $95^{\circ}\text{C}$ .

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

### Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

#### Exemplo de aplicação

Validação dos critérios estabelecidos para defeito em TC

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

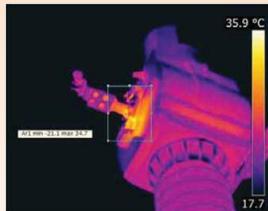
Dados de placa do TC

- 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.
- Massa total: 445kg.

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 - 04/2009



Subestação	Ponto operativo	Fase	TC		Data	Corrente do arco(A)	T° C amb	Umidade rel. AR %	Temperaturas				Delta t: ambiente		Temperaturas e Delta t - Entrada P1 e Saída P2		Diagnóstico	Providencias		
			Modelo	Ratão					n° série	n° série	Entrada P1		Saída P2	Menor	Maior	Entrada P1			Saída P2	Delta t adjacente
											Entrada P1	Saída P2								
Juiz de Fora 1	138kV - T4	AZ	QDR 1452		06.6187-06	1140209	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 1452		06.6187-07	1140209	170	21,5	75	28,3	39,5	26,9	39,5	6,8	18	11,2	12,8	Padrão térmico anormal	Inspeção visual diária. Inspeção termográfica mensal e programação de reparo na subestação do TC.	
Juiz de Fora 1	138kV - T4	VM	QDR 1452		06.6187-05	1140209	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

## 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

Referencia da NBR-6856 – Transformador de corrente – Especificação

**Tabela 11 - Limites de elevação de temperatura**

Tipo de TC	Classe de temperatura	Limites de elevação de temperatura <sup>(A)</sup>				Partes metálicas	
		Dos enrolamentos		Do líquido isolante	Em contato com ou adjacentes à isolação	Outras partes	
		Método da variação da resistência	Método do ponto mais quente				
Com isolação líquida e conservador ou gás inerte sobre o líquido isolante	A (105°C)	55°C	65°C	55°C <sup>(B)</sup>	Não devem atingir temperatura superior à máxima especificada para o ponto mais quente da isolação adjacente	Não devem atingir temperatura excessiva, que possa prejudicar a isolação	
Com isolação líquida e sem conservador ou gás inerte sobre o líquido isolante	A (105°C)	55°C	65°C	50°C <sup>(C)</sup>			
Com isolação 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	- - - - -			

<sup>(A)</sup> Os TC de uma classe de temperatura especificada podem usar, na sua isolação, 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.

<sup>(B)</sup> Medida próxima à parte superior do tanque.

<sup>(C)</sup> Medida próxima à superfície.

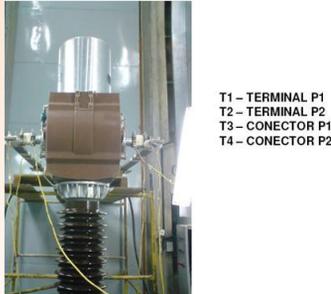
### Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

#### Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

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

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

Ref. NBR 6821 – Transformador de Corrente - Método de ensaio – 1993



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

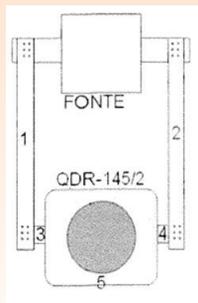
### Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)

#### 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.



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

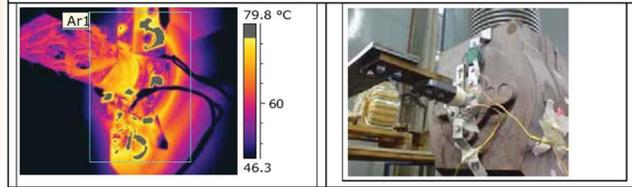
### Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

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

Ensaio de elevação de temperatura jan2010



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

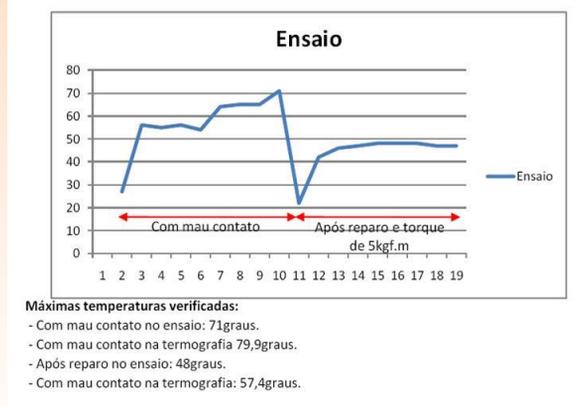
\* Alterado o ponto de medição do conector de entrada para a barra de religação.

**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



**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

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

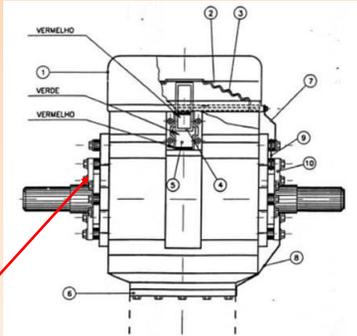
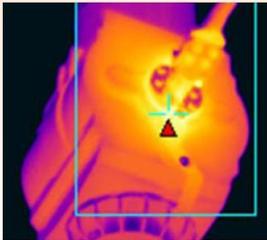
**Metodologia de análise de elevação de temperatura em TC (transformador de corrente)**

**Metodologia atual de inspeção termográfica em TC**

SE Juiz de Fora 1

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

Problema encontrado:  
- Mau contato nas chapas de religação



- 1- DOMO
- 2- DISCO
- 3- MEMBRANA DE COMPENSAÇÃO
- 4- INDICADOR (PÊNDULO)
- 5- MOSTRADOR
- 6- FLANGE DE FIXAÇÃO DO ISOLADOR
- 7- COLOCAÇÃO DE POTENCIAL DO DOMO
- 8- COLOCAÇÃO DE POTENCIAL DO ISOLADOR
- 9- COLOCAÇÃO DE POTENCIAL DO BORNE
- 10- BARRA DE RELIGAÇÃO

Detalhe da cabeça do transformador

**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

Problema encontrado: Mau contato nas barras de religação



## 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 - **Conclusões**

#### TC com mau contato:

Apresentou elevação temperatura inferior ao limite de norma ( $79,9 - 30,23 = 49,67^{\circ}\text{C}$ ) contra  **$65^{\circ}\text{C}$** . 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 -  $\Delta t$  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.

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

### Metodologia atual de inspeção termográfica em TC

#### Conclusão:

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 qualificados, com equipamentos adequados e também com procedimentos e metodologias consistentes, permite o diagnóstico seguro das condições dos sistemas e equipamentos, de forma a maximizar a utilização dos ativos com segurança.

#### 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.

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

**Obrigado!**

Alexsandro Teixeira Gomes

[alexandro.teixeira@cemig.com.br](mailto:alexandro.teixeira@cemig.com.br)

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

Engenheiro de Planejamento de Manutenção de Geração e Transmissão  
av. Barbacena, 1200 - 13º andar - ala B2, Santo Agostinho, BH - MG, 30.190-131