

METODOLOGIA PARA REENERGIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA APÓS INTERRUPÇÕES NÃO PROGRAMADAS NO SISTEMA ELÉTRICO

GTM

André Pereira Marques (*)

Cláudio Henrique Bezerra Azevedo

José Augusto Lopes dos Santos

Sérgio Gomes Machado

Cacilda de Jesus Ribeiro

Nicolas Kemerich de Moura

Yuri Andrade Dias

Leonardo da Cunha Brito

SUMÁRIO

- Introdução
 - Desenvolvimento
 - Resultados
 - Conclusões
-
- Desligamentos e consequentes religamentos
 - Energização:
 - estresses eletromecânicos,
 - transitórios eletromagnéticos
 - Práticas existentes nas empresas



Contribuição:

- um método de **análise de engenharia de manutenção** quanto ao estado dos **transformadores em operação** com vistas à **classificação e à intervenção** naqueles que estiverem em situação mais crítica e, ainda, subsidiar tomadas de decisão referentes à **reenergização** não destes, diante da atuação do sistema de proteção, bem como subsidiar intervenções de manutenções corretivas.

1. INTRODUÇÃO

Objetivos

a) **Classificar os transformadores** de potência em serviço **quanto ao seu estado**, atribuindo notas e seus respectivos pesos, com base em suas condições operativas e em resultados de técnicas preditivas (não invasivas e sem desligamentos), estabelecendo, com isto, uma lista de prioridades para a atuação das equipes de manutenção;



A, B, C, D, E: Lista de prioridades

- b) **Classificar as ocorrências de desligamentos** em transformadores, **atribuindo notas com base no estado do equipamento e na severidade da ocorrência**. Neste caso, atribui-se, além de uma nota, também um peso, o qual é função das proteções que atuarem;
- c) Com base nas classificações, subsidiar e dar qualidade às **tomadas de decisão** quando da retirada, forçada, de serviço de um transformador, apresentando diagnóstico e **recomendendo diferentes ações de reenergização (ou não) do equipamento**;
- d) **Reduzir o tempo de indisponibilidade** dos transformadores e normalização do sistema com maior probabilidade de sucesso; e
- e) **Evitar o agravamento de falhas** e não gerar situações catastróficas.

2. DESENVOLVIMENTO

Metodologia empregada: desenvolvimento de uma ferramenta computacional

- a) baseada nos dados de **394 transformadores de potência, de um período de 37 anos** (1979 a 2016), potências de 2,5 MVA a 50 MVA, de 34,5 kV a 138 kV, idades de 1 a 46 anos.
- b) nas **condições operativas** dos transformadores de potência: carregamento, temperatura ambiente, equipamentos que operam em paralelo
- c) nas **características construtivas**, idade, histórico de ocorrências e restrições operativas;
- d) no **estado do equipamento**, inferido com base nas técnicas preditivas de análise de gases dissolvidos em óleo (AGD) e ensaios físico-químicos (FQ); e
- e) na identificação das **proteções que atuaram**, para se inferir a severidade da ocorrência.



2. DESENVOLVIMENTO

As condições operativas basearam-se em:

a) **Carregamento**

- carga equivalente para cada transformador (pico de carga e fator de carga das curvas de carregamento) referentes às medições do local em que está instalado no sistema;



b) **Paralelismo**

Identificação dos equipamentos que operam em paralelo, por questões de carregamento em condições de rotina e em contingências

c) **Temperatura ambiente:** foram utilizados dados históricos de temperatura ambiente, conforme a localização dos transformadores por região do Estado de Goiás (informações obtidas do INPE e de registros internos da empresa)

Características consideradas
(Sistema SAP)



Idade



Histórico de ocorrências



Características construtivas
e restrições operativas

2. DESENVOLVIMENTO

Proteções do sistema

Técnicas preditivas:



- ✓ **AGD:** Análise de gases dissolvidos em óleo;
- ✓ **FQ:** Ensaio físico-químicos



- ✓ Relé de temperatura do óleo (26);
- ✓ Relé de temperatura do enrolamento (49);
- ✓ Relé de sobrecorrente instantânea da alta tensão (50-AT);
- ✓ Relé de sobrecorrente temporizado da alta tensão (51-AT);
- ✓ Relé de sobrecorrente temporizado de baixa tensão (51-BT);
- ✓ Relé de sobrecorrente temporizado das saídas de baixa tensão (51-BT-Saídas);
- ✓ Relé de gás ou Buchholz (63);
- ✓ Relé de fluxo do comutador de derivações em carga (63C);
- ✓ Relé diferencial (87); e
- ✓ Válvula de alívio de pressão (VAP);

2. DESENVOLVIMENTO

Classificação:



- **nota global**, obtida fazendo-se uma soma duplamente ponderada normalizada (SDPN)*, das notas individuais obtidas – concernentes às **condições operativas, características construtivas e técnicas preditivas**.

Análise estatísticas sobre falhas em transformadores de potência



- em função de ocorrências nestes equipamentos, escalonadas por **tensão nominal** e com base nos dados extraídos do *software* SAP, referentes ao período de 1979 até novembro de 2016 (últimos **37 anos**).

* Nota: MARQUES, A.P.; MOURA, N.K; DIAS, Y.A; RIBEIRO, C.J.R; ROCHA, A.S; AZEVEDO, C.H.B; SANTOS, J.A.L; BRITO, L.C. *Method for the evaluation and classification of power transformer insulating oil based on physicochemical analyses*. In: IEEE Electrical Insulation Magazine, v.33, p.39 – 49, 2017

3. RESULTADOS

Classificação:

- notas
- conceitos e
- prioridades

Exemplos

(20 transformadores)

Equipamento	Idade (Anos)	Potência (MVA)	Notas do Estado do Equipamento (EE)				Notas das Condições Operativas (CO)			Notas das Restrições (RT)		Nota Global do Eqpto. (NE)	Conceito do Equipamento
			Físico-Químico	AGD	Idade	Nota EE	Carregamento	Condições Climáticas	Nota CO	Restrição	Nota RT		
TR1	26	6,25	0,700	0,576	0,319	0,512	0,020	0,656	0,102	1,000	1,000	0,285	E
TR4	24	9,375	0,884	0,808	0,348	0,612	0,020	0,656	0,102	1,000	1,000	0,300	E
TR11	30	6,25	0,340	0,808	0,267	0,393	0,100	0,656	0,183	1,000	1,000	0,306	E
TR12	12	6,25	0,829	0,576	0,590	0,654	0,020	0,656	0,102	1,000	1,000	0,304	E
TR18	35	6,25	0,265	0,576	0,214	0,316	1,000	0,656	0,805	1,000	1,000	0,411	D
TR160	35	15	0,333	0,576	0,214	0,349	1,000	0,656	0,805	1,000	1,000	0,443	D
TR161	45	5	0,580	0,576	0,138	0,382	0,774	0,656	0,722	1,000	1,000	0,469	D
TR239	35	10	0,380	0,808	0,214	0,388	0,522	0,656	0,563	1,000	1,000	0,451	D
TR240	37	6,25	0,480	0,808	0,196	0,417	1,000	0,656	0,805	1,000	1,000	0,508	C
TR243	37	25	0,634	0,576	0,196	0,429	1,000	0,656	0,805	0,600	0,600	0,511	C
TR291	42	25	0,738	0,808	0,158	0,445	0,721	0,656	0,694	1,000	1,000	0,522	C
TR306	23	20	0,800	0,576	0,363	0,552	1,000	0,656	0,805	1,000	1,000	0,629	C
TR347	18	12,5	0,942	0,576	0,453	0,614	1,000	0,656	0,805	1,000	1,000	0,680	B
TR358	24	20	0,921	0,808	0,348	0,616	1,000	0,656	0,805	1,000	1,000	0,682	B
TR379	12	9,375	0,856	0,576	0,590	0,659	1,000	0,656	0,805	1,000	1,000	0,715	B
TR384	8	33,3	0,980	0,808	0,703	0,827	0,590	0,656	0,613	1,000	1,000	0,738	B
TR395	4	50	1,000	0,808	0,839	0,878	0,934	0,656	0,786	1,000	1,000	0,850	A
TR407	2	9,375	0,920	0,864	0,916	0,898	1,000	0,656	0,805	1,000	1,000	0,868	A
TR421	2	50	0,920	0,864	0,916	0,898	1,000	0,656	0,805	1,000	1,000	0,868	A
TR428	2	20	0,930	0,864	0,916	0,902	1,000	0,656	0,805	1,000	1,000	0,870	A

3. RESULTADOS

Conceito (significado)	Notas do equipamento (NE)
A (Excelente)	$0,80 \leq NE$
B (Bom)	$0,65 \leq NE < 0,80$
C (Marginal)	$0,50 \leq NE < 0,65$
D (Ruim)	$0,35 \leq NE < 0,50$
E (Péssimo)	$NE < 0,35$

Conceito (significado)	Ação recomendada
A (Excelente)	Tentar Religar uma (01) só vez . Se houver novamente atuação de proteção, acionar o engenheiro plantonista da manutenção
B (Bom)	Aguardar 15 minutos e energizar em vazio. Aguardar mais 5 minutos e começar a recompor a CARGA, um circuito por vez .
C (Marginal)	Fazer Inspeção Local. Não sendo possível, aguardar 30 minutos e energizar em vazio. Aguardar mais 10 minutos e começar a recompor a CARGA, um circuito por vez .
D (Ruim)	Ocorrência <u>Grave</u> . Risco de Falha do Transformador. Não Energizar . Acionar engenheiro plantonista da manutenção
E (Péssimo)	Ocorrência <u>Gravíssima</u> . Risco de Falha do Transformador. Não Energizar . Acionar engenheiro plantonista da manutenção

3. RESULTADOS

Proteção Atuada	Conceito A	Conceito B	Conceito C	Conceito D	Conceito E	Total
	Religamento	Aguardar 15 minutos	Aguardar 30 minutos	Não Energizar	Não Energizar	
51-BT-Saídas	36,4%	46,4%	16,8%	0,3%	0,0%	100%
51-BT	11,0%	55,3%	33,0%	0,7%	0,0%	100%
51-AT	11,0%	55,3%	33,0%	0,7%	0,0%	100%
26	35,1%	46,0%	18,6%	0,3%	0,0%	100%
49	35,1%	46,0%	18,6%	0,3%	0,0%	100%
87	16,8%	53,6%	28,9%	0,7%	0,0%	100%
50-AT	0,0%	0,0%	0,0%	96,6%	3,4%	100%
63	0,0%	0,0%	0,0%	96,6%	3,4%	100%
63C	0,0%	0,0%	0,0%	96,6%	3,4%	100%
VAP	0,0%	0,0%	0,0%	96,6%	3,4%	100%

3. RESULTADOS

MAESTRO

todas
informações para
os procedimentos
de análise

SELEÇÃO DO LOCAL/POSTO DA OCORRÊNCIA

POTENCIA, TENSÃO E IDADE DO EQUIPAMENTO

SUBESTAÇÃO, POSTO SAP, IDENT. DO TRANSF.

INDICAÇÃO DE DATA E HORARIO DA CONSULTA

ESTIMATIVA DA CONDIÇÃO TERMICA DO EQUIPAMENTO

INDICAÇÃO DE PRESENÇA DE DISJUNTORES DE CUBICULO DE 13,8 KV À PVO

APRESENTAÇÃO DO DIAGNÓSTICO

SELEÇÃO DAS PROTEÇÕES QUE ATUARAM E SE A OCORRÊNCIA É NA PONTA DE CARGA

MAESTRO
CELG D / DT / SP/ M / DPEM - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CONTROLE DA MANUTENÇÃO
- Análise de Engenharia de Manutenção do Estado dos Transformadores em Operação para Reenergização

Versão: 1.0.4
Data: 14/07/2016
Data e Horário da Consulta: 04/03/2017 10:21

REAL-REL-S-TRF-TR2
TD0000114 POTÊNCIA: 33,3 MVA; TENSÃO: 138 KV; IDADE: 2 ANO(S)

Ocorrência foi no horário de PONTA de CARGA? ☐ Sim ☒ Não

26 ☐ Sim ☒ Não
49 ☐ Sim ☒ Não
63 ☐ Sim ☒ Não
63C ☐ Sim ☒ Não
87 ☐ Sim ☒ Não
VAP ☐ Sim ☒ Não

Há Indicação de Atuação de Alguma Proteção? ☐ Sim ☒ Não

50-AT ☐ Sim ☒ Não
51-AT ☐ Sim ☒ Não
51-BT ☐ Sim ☒ Não
51-BT-SDs ☐ Sim ☒ Não

S/E REAL
REL-S-TRF-TR2
TD0000114

CONDIÇÃO TÉRMICA ESTIMADA DO TRANSF.:
ZONA INFERIOR: SATISFATORIA

HÁ DISJUNTOR(es) de CUBICULO de 13,8 KV a PVO


DIAGNÓSTICO do TRANSFORMADOR
INDICAR QUAIS PROTEÇÕES OPERARAM

Diagrama de um transformador com fontes e cargas conectadas.

3. RESULTADOS

Exemplo de análise para reenergização de equipamento e de alertas emitidos pelo programa

Exemplo de cubículo de disjuntor de 13,8 kV à PVO sinistrado

	CELG D / DT / SPEM / DPEM - DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA E CONTROLE DA MANUTENÇÃO	Versão: 1.0.5
	MAESTRO - Análise de Engenharia de Manutenção do Estado dos Transformadores em Operação para Reenergização	Data: 04/03/2017

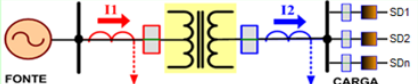
Data e Horário da Consulta: 04/03/2017 11:28

REAL-REL-S-TRF-TR2
TD0000114 POTÊNCIA: 33,3 MVA; TENSÃO: 138 KV; IDADE: 2 ANO(S)

Ocorrência foi no horário de PONTA de CARGA ? ☒ Sim ☐ Não

26 <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não	63C <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
49 <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não	87 <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
63 <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não	VAP <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não


Há Indicação de Atuação de Alguna Proteção? ☒ Sim ☐ Não



50-AT <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não	51-BT <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não
51-AT <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não	51-BT-SDs <input type="radio"/> Sim <input checked="" type="radio"/> Não

S/E REAL
REL-S-TRF-TR2
TD0000114

CONDIÇÃO TÉRMICA ESTIMADA DO TRANSF.:
ZONA INFERIOR: SATISFATORIA
FAZER INSPEÇÃO LOCAL no(s) CUBÍCULO(s) de DISJUNTOR(es) de 13,8 KV a PVO
DIAGNÓSTICO do TRANSFORMADOR
Tentar RELIGAR uma (01) só vez.
Se houver novamente atuação de proteção, acionar o Engenheiro de Plantão da Manutenção

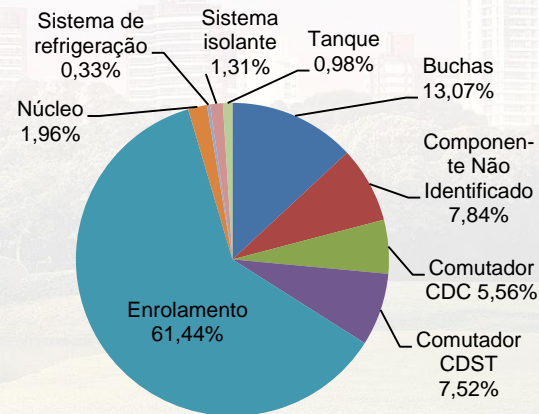
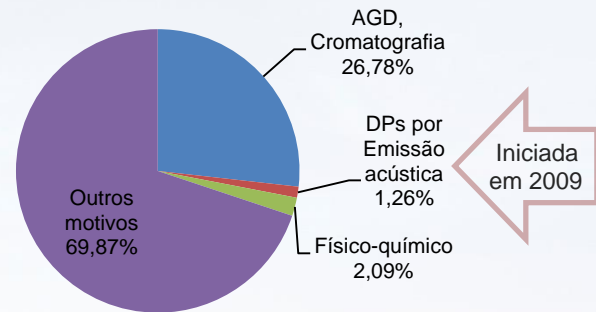
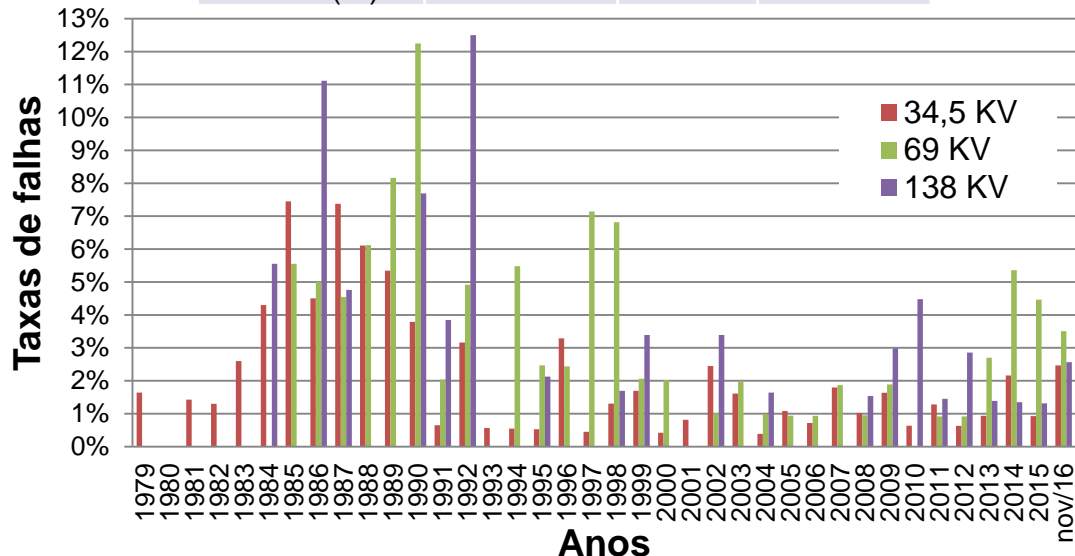


Metodologia para reenergização de transformadores de potência após interrupções não programadas no sistema elétrico - GTM/ André P. Marques

3. RESULTADOS

Taxa Global de Falha (1979 até novembro/2016)

Tensões Nominais	34,5 kV	69 kV	138 kV
Taxas de Falha (%)	1,72%	2,66%	1,83%



4. CONCLUSÕES

Contribuições
significativas

- **Subestações desassistidas:** inspeção torna-se crítica quando de contingências, dificultando decisões quanto à reenergização de um transformador
- **Validação da ferramenta:** elevada porcentagem de acertos, evidenciando que este novo método auxilia as equipes de manutenção e operação na tomada de decisão, proporcionando:
 - a) **restabelecimento do fornecimento de energia** com mais segurança e o mais rápido possível, visando não comprometer os indicadores coletivos de continuidade de energia (DEC e FEC)
 - b) **diminuição das consequências indesejadas** decorrentes de interrupções não programadas no sistema elétrico.

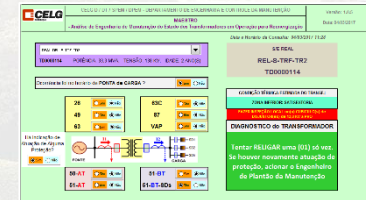


4. CONCLUSÕES

Importância

- Estatísticas sobre **interrupções** em transformadores de potência: permitem análises conclusivas sobre os fatores que contribuíram para estas ocorrências e quais as probabilidades de que elas se repitam, e fornece uma base de informações que subsidia planejamento, estudos e ações da **área de engenharia de manutenção, identificando os pontos críticos nestes equipamentos e a eficiência** das técnicas preditivas aplicadas.

- Ferramenta desenvolvida propicia aos mantenedores e operadores do sistema elétrico de potência **orientações rápidas, que permitam se decidir adequadamente pela reenergização (ou não) de um transformador, reduzindo-se riscos de falha** inerentes a este procedimento.



André Pereira Marques

 (62) 3243-2553

 (62) 99688-5091

 andre.pm@celg.com.br

 www.celg.com.br