



**XXII SNTPEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GTM/03
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO - XIII

**GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES -
GTM**

**AValiação das condições de SOBRECARGA IMPOSTAS AOS TRANSFORMADORES PELOS
PROCEDIMENTOS DE REDE DO ONS E O IMPACTO NAS ESPECIFICAÇÕES DA CHESF**

Fabio Nepomuceno Fraga (*)
Chesf

RESUMO

O presente trabalho apresentará uma avaliação das condições de sobrecarga em transformadores de potência determinadas no Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede do ONS e o impacto nas especificações da Chesf relativo às características necessárias à garantia do atendimento aos seus requisitos, normas técnicas aplicáveis e procedimentos de ensaios necessários para validação do projeto do transformador. Apresentará também uma ferramenta computacional desenvolvida para verificação de características de projeto e validação dos dados de ensaios.

PALAVRAS-CHAVE

Transformadores, Especificação, Sobrecarga, Procedimentos de Rede

1.0 - INTRODUÇÃO

Após a vigência da revisão 2.0 do Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede do ONS que estabelece os requisitos mínimos para transformadores, subestações e seus equipamentos em 11 de novembro de 2011, novas condições de operação em sobrecarga foram estabelecidas para as unidades transformadoras a serem instaladas no Sistema Interligado Nacional (SIN).

As condições de sobrecargas apresentadas na nova revisão do submódulo 2.3 bem como os requisitos de vida útil e operação em paralelo das unidades transformadoras provocaram grande impacto nas características de especificação dos transformadores e a necessidade de uma revisão detalhada as atuais especificações da Chesf para estes equipamentos.

2.0 - CARACTERÍSTICAS DE SOBRECARGA E VIDA ÚTIL SOLICITADAS NA NOVA REVISÃO DO SUBMÓDULO 2.3

O submódulo 2.3 na sua revisão 2.0, no item 7.1.4 (Condições Operativas) apresenta os seguintes requisitos para as unidades transformadoras de potência:

“ 7.1.4.2 As unidades transformadoras devem ser especificadas para operar desde sua entrada em operação com:

- a) Carregamento não inferior a 120% da potência nominal por período de 4 horas do seu ciclo diário de carga para a expectativa de perda de vida útil normal estabelecida nas normas técnicas de carregamento de transformadores. A sobrecarga de até 20% deve ser alcançada para qualquer condição de carregamento do transformador no seu ciclo diário de carga;*

(*) Rua Delmiro Gouveia, N° 333, Ed. André Falcão - DEPS - Bloco D - Sala 218 - Bongi - CEP: 50761-901 - Recife - PE - Brasil - Tel.: (+55 81) 3229-3042 - Fax: (+55 81) 3229-3269 - Email: fabionf@chesf.gov.br

- b) Carregamento não inferior a 140% da potência nominal por período de 30 minutos do seu ciclo diário de carga para a expectativa de perda de vida útil normal estabelecida nas normas técnicas de carregamento de transformadores. A sobrecarga de até 40% deve ser alcançada para qualquer condição de carregamento do transformador no seu ciclo diário de carga.

7.1.4.3 As unidades transformadoras submetidas ao regime de carregamento dos itens (a) e (b) devem ser especificadas para a expectativa de vida útil de 40 anos.

7.1.4.4 As unidades transformadoras de potência devem ser adequadas para operação em paralelo nos terminais a serem conectadas.

7.1.4.5 Para novas unidades transformadoras de potência os procedimentos para aplicação de cargas devem atender à Norma Técnica NBR 5416 da ABNT, além de serem especificadas para atender o item 7.1.4.2. ”

Observando o texto acima retirado na íntegra do Procedimento de Rede uma série de questionamentos surgiram em relação ao conteúdo do mesmo. Destes questionamentos podemos destacar:

- As alíneas a) e b) do item 7.1.4.2 começam com o seguinte texto: **“Carregamento não inferior a XXX% da potência nominal”**. Sendo assim, se o carregamento é não inferior ele pode ser qualquer valor acima do valor descrito, ou seja, por exemplo, para a alínea a) poderíamos ter 20, 30, 40, 100% de sobrecarga;
- Na abrangência da Norma Técnica NBR 5416 da ABNT os itens 7.1.4.2, 7.1.4.3 e 7.1.4.5 se contradizem uma vez que, conforme procedimentos da referida norma, aplicação de sobrecarga, vida útil normal e 40 anos de vida útil não se aplicam simultaneamente;
- No item 7.1.4.4 leva a admitir que uma unidade nova instalada em uma subestação antiga deverá ser capaz de operar no regime de sobrecarga apontado em 7.1.4.2, entretanto isto só é possível caso exista uma contingência onde apenas a unidade nova fique em operação, uma vez que transformadores em paralelo e com mesma impedância se carregam igualmente.
- O procedimento de rede deveria apresentar a curva diária (hora a hora) prevista de carregamento para o transformador uma vez que esta informação é fundamental para o projeto do equipamento;

3.0 - APLICAÇÃO DE SOBRECARGA E NORMAS TÉCNICAS EXISTENTES

Com o objetivo de elaborar uma revisão das especificações técnicas da Chesf para transformadores e autotransformadores foram realizadas pesquisas nas normas técnicas disponíveis para transformadores. Inicialmente foi realizada uma pesquisa nas normas técnicas brasileiras disponíveis para especificação e testes de transformadores.

As normas técnicas NBR 5356:2007(Transformadores de potência) e NBR 5416:1997 (Aplicação de cargas em transformadores de potência – Procedimento), embora apresentem condições de sobrecarga não retratam as condições impostas nos itens apresentados no submódulo 2.3 em seus itens de especificação, testes e ensaios. A IEC 60354 (Loading guide for oil-immersed power transformers) também não retrata as referidas condições.

Na pesquisa realizada as normas que apresentaram de forma direta condições específicas para as características necessárias ao equipamento e condições de ensaios foram as normas IEEE C57.91-2011 (IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers) e IEEE C57.119-2001 (IEEE Recommended Practice for Performing Temperature Rise Tests on Oil-Immersed Power Transformers at Loads Beyond Nameplate Ratings). Estas normas tanto descrevem os parâmetros(IEEE C57.91-2011) quanto os ensaios necessários (C57.119-2001) para avaliação de transformadores submetidos a ciclos de sobrecarga.

A IEEE C57.91-2011 estabelece quatro tipos de carregamentos para os transformadores e apresenta para cada um dos tipos as condições de especificação de temperatura que devem ser seguidas. Para ciclos de carregamento que ocorram diariamente, como o indicado no item 7.1.4.2 do submódulo 2.3, o carregamento que deveria ser adotado é o carregamento planejado acima do nominal (planned loading beyond nameplate) conforme item 9.1 da referida norma. A norma IEEE C57.119-2001 descreve uma série de procedimentos para ensaio destes transformadores submetidos a ciclos de sobrecarga.

A análise comparativa das normas NBR 5416:1997 e IEEE C57.91-2011 em relação as constantes A e B da Equação de Arrhenius mostram diferenças significativas entre estes valores. Estas constantes são de fundamental importância para avaliação do envelhecimento do transformador. A TABELA 1 apresenta os valores para as duas normas.

TABELA 1 - Constantes A e B da Equação de Arrhenius

Norma	Equipamento com elevação de 55°C		Equipamento com elevação de 65°C	
	A	B	A	B
NBR 5416:1997	-14,133	6972,15	-13,391	6972,15
IEEE C57.91-2011	-12,44695	6514,41	-11,754	6514,41

Os parâmetros A e B utilizados na NBR 5416:1997 para o cálculo da perda de vida percentual mostram-se

conservadores quando comparados com os previstos na IEEE C57.91-2011. A norma IEEE revisou o estudo do fenômeno do envelhecimento da isolamento do transformador relativamente à norma ANSI C57.92-1981, que serviu de base à NBR 5416:1997.

4.0 - IMPACTO NAS ESPECIFICAÇÕES DA CHESF

Após a análise das características apresentadas nas normas IEEE a Chesf decidiu implantar mudanças nas suas especificações baseando-se nas recomendações indicadas nos seus procedimentos. Os principais impactos na especificação técnica da Chesf foram:

- a) Criação de dois tipos de transformadores na especificação. Um tipo com os novos procedimentos de sobrecarga e outro tipo mantendo as características anteriores:

Esta decisão foi tomada com o objetivo de manter o padrão anterior dos equipamentos da Chesf durante a face de transição entre os tipos de transformadores.

- b) Os transformadores que forem submetidos à sobrecarga devem ter elevação de temperatura especificada em 65°C:

Embora o padrão da Chesf para elevação de temperatura de transformadores seja 55°C, esta decisão foi tomada com o objetivo de manter a competitividade em leilões ANEEL;

- c) Definição do ciclo de sobrecarga e suas variações tomando como base que o mesmo é uma sobrecarga planejada especificada e não uma condição de emergência;

Esta decisão foi tomada uma vez que o 7.1.4.2 do submódulo 2.3 diz: “A sobrecarga de até xxx% deve ser alcançada para qualquer condição de carregamento do transformador **no seu ciclo diário de carga**”, logo o mesmo é um carregamento diário planejado. O ciclo definido na especificação está apresentado na figura a seguir:

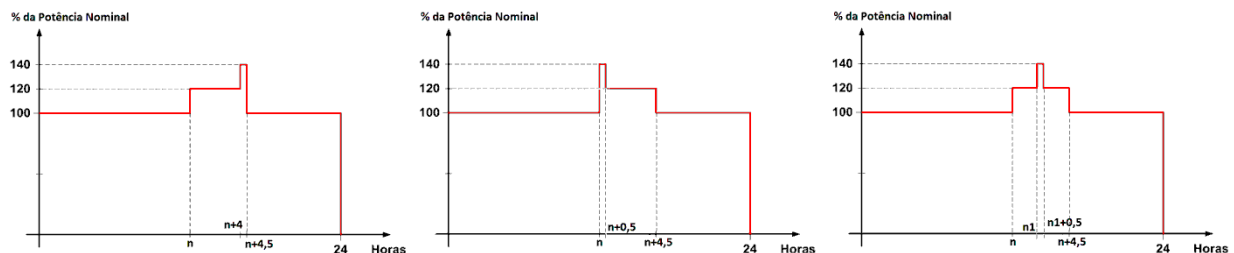


FIGURA 1 - Ciclos de sobrecarga diários com expectativa de vida não inferior a 40 anos
(para $0 < n < 23,5$ horas e $n < n1 < n+4$ horas)

- d) Definição para o ciclo de carregamento planejado diário que a temperatura máxima para o “hot-spot” deverá ser limitada a 130°C e a temperatura máxima do topo óleo deverá ser limitada a 110°C:

Decisão tomada seguindo a tabela 9 da C57.91-2011.

- e) Especificação da temperatura média anual (médias históricas do INPE) e adotando a adição de 5 graus a mais conforme recomendação da IEEE C57.91-2011 (item 6.2);
- f) Inclusão de uma tabela de valores a serem fornecidos pelos fabricantes, durante o Design Review, com o objetivo de avaliação do projeto pelos procedimentos da IEEE C57.91-2011;
- g) Descrição de um procedimento de ensaio de aquecimento com sobrecarga para avaliação do projeto e verificação do atendimento das características baseado nos procedimentos indicados na IEEE C57.119-2001 e em simulações através dos procedimentos indicados no anexo G da IEEE C57.91-2011:

O ensaio de elevação de temperatura deverá ser realizado seguindo a sequência abaixo indicada:

1. Realização do ensaio na condição de ONAF II (Conforme NBR 5356:2007, verificando a elevação de temperatura especificada);
2. Depois de realizada a medição de ONAF II o equipamento deve ser religado, mantido 1 (uma) hora nas **perdas totais máximas** de ONAF II (**no TAP onde estas perdas ocorrem**) e após este período deve ser submetido **a um dos ciclos** de carregamento indicado na FIGURA 1, **conforme**

- determinação do inspetor**, considerando as **perdas totais máximas (no TAP onde estas perdas ocorrem)** para cada degrau do ciclo;
3. Realização do ensaio na condição de ONAN. O equipamento deverá ser religado para realização do ensaio de ONAN no máximo 4 (quatro) horas após o término do ensaio de sobrecarga. Durante esse período a temperatura ambiente não deverá sofrer variações significativas e todos os ventiladores deverão permanecer desligados (Conforme NBR 5356:2007, verificando a elevação de temperatura especificada);
 4. Os seguintes parâmetros de qualidade deverão ser atendidos para aprovação no ensaio:
 - Gases dissolvidos no óleo devem estar conforme descrito na alínea h) a seguir;
 - Temperaturas visualizadas na Termovisão (IRS) devem estar inferiores aos limites estabelecidos na NBR5416 e no IEEE C57.91;
 - Expectativa de vida da isolamento calculada deve ser superior a 40 anos, calculada considerando os parâmetros A e B da Equação de Arrhenius conforme IEEE C57.91;
 - Fator de envelhecimento equivalente, calculado conforme guia IEEE C57.91, menor ou igual a 1(um).
- h) Implementação de critérios para análise da produção de gases durante ensaio de aquecimento com sobrecarga baseados na IEEE PC57.130 (Trial-Use Guide for the use of dissolved gas analysis during factory temperature rise tests for the evaluation of oil immersed transformers and reactors) e mais recentemente no Projeto de Norma 10.1 – 031 – Interpretação da análise de gases dissolvidos (AGD) em óleo mineral isolante de equipamentos elétricos em testes de fábrica - Abril/ 2012:

Foi especificado o seguinte procedimento de avaliação do ensaio de sobrecarga: Durante a realização do ensaio desde o início até o final de ONAN as taxas de crescimento dos gases devem atender aos limites abaixo indicados:

TABELA 2 – Limite de formação de gases durante ensaio de sobrecarga

Gás Componente	Limite
$[H_2] = \Delta H_2 / \Delta t$	<0,8
$[HC] = \Delta HC / \Delta t$	<0,5
$[CO] = \Delta CO / \Delta t$	<2,0
$[CO_2] = \Delta CO_2 / \Delta t$	<20,0

Onde:

1. Δt é a duração total (em horas) do ensaio desde o início em ONAFII até o término do ensaio de ONAN;
2. ΔH_2 é a variação (em ppm) do H_2 durante o ensaio desde a amostra inicial antes de ONAFII até a amostra final após o término do ensaio de ONAN;
3. ΔHC é a variação (em ppm) da soma $CH_4 + C_2H_4 + C_2H_6$ durante o ensaio desde a amostra inicial antes de ONAFII até a amostra final após o término do ensaio de ONAN;
4. ΔCO é a variação (em ppm) do CO durante o ensaio desde a amostra inicial antes de ONAFII até a amostra final após o término do ensaio de ONAN;
5. ΔCO_2 é a variação (em ppm) do CO_2 durante o ensaio desde a amostra inicial antes de ONAFII até a amostra final após o término do ensaio de ONAN;

Com a especificação da Chesf alterada foi emitida a primeira revisão da mesma em Janeiro de 2012 e em seguida foi realizada uma consulta aos fabricantes com o objetivo de verificar o impacto no preço dos equipamentos com as novas condições de sobrecarga. Em média os preços apresentados, quando comparados a preços da mesma cotação, ficaram 7% superiores aos equipamentos sem condições de sobrecarga.

5.0 - JSAST - SISTEMA DE ANÁLISE DE SOBRECARGAS EM TRANSFORMADORES

A análise das características apresentadas nas normas IEEE C57.91-2011 e IEEE C57.119-2001 propiciaram o desenvolvimento de uma ferramenta computacional capaz de avaliar o projeto do transformador e suportar a análise dos ensaios de aquecimento de fábrica. Foi implementado o procedimento indicado no anexo G da IEEE C57.91-2011 e a ferramenta apresenta as seguintes características:

- a) Ferramenta desenvolvida em Java e multiplataforma (já validada para Linux, Windows e OSx Lion);
- b) Análise e determinação da elevação de temperatura do transformador a partir de dados de medição em laboratório;
- c) Avaliação do atendimento do projeto do transformador as condições de sobrecarga calculando as temperaturas do equipamento durante o ciclo de sobrecarga, envelhecimento equivalente e percentual de perda de vida;
- d) Análise da produção de gases durante o ensaio de aquecimento com sobrecarga baseada na IEEE PC57.130 e no Projeto de Norma 10.1 – 031.

5.1 Telas de entradas de dados do jSAST

A FIGURA 2 apresenta a tela principal de entrada do jSAST onde as características de projeto do transformador ou autotransformador são informadas e as condições de sobrecarga, conforme procedimento ANEEL são especificadas.

A FIGURA 3 apresenta a tela para entrada de dados referente ao ensaio de elevação de temperatura com o objetivo de calcular a elevação de temperatura do enrolamento do equipamento.

A FIGURA 4 apresenta a tela de entrada de dados para cálculo das condições de geração de gases nas diversas etapas do ensaio de aquecimento com sobrecarga conforme procedimentos descritos no IEEE PC57.130 e no Projeto de Norma 10.1 – 031.

FIGURA 2 – Tela principal do jSAST

FIGURA 3 – Entrada de dados para cálculo da elevação de temperatura

FIGURA 4 – Entrada de dados para cálculo dos gases durante o ensaio de aquecimento com sobrecarga

5.2 Apresentação de resultados das simulações de sobrecarga

Para apresentação de resultados das simulações foi adotado um transformador 230-69-13,8 kV de 100 MVA típico padrão Chesf com as características de projeto indicadas na TABELA 3.

Utilizando o jSAST para simular um ciclo de carregamento como o indicado na FIGURA 1 obtemos os resultados apresentados na FIGURA 5, considerando os parâmetros A e B da Equação de Arrhenius conforme IEEE C57.91. A FIGURA 6 apresenta a simulação apenas para o envelhecimento do equipamento se considerarmos os parâmetros A e B da Equação de Arrhenius conforme NBR 5416:1997.

A FIGURA 7 apresenta a variação de temperatura do hotspot (vermelho), topo óleo (azul) e óleo inferior (verde) durante o ciclo de carregamento simulado para o transformador da TABELA 3.

TABELA 3 – Dados para um transformador 230-69-13,8 kV

Dados	Valor	Unidade
Perdas cobre (i^2R)	328	kW
Perdas núcleo	62	kW
Elevação de temperatura garantida	65	$^{\circ}\text{C}$
Elevação de temperatura de projeto	52,43	$^{\circ}\text{C}$
Elevação de temperatura do ponto mais quente	70,60	$^{\circ}\text{C}$
Elevação de Temperatura do óleo no fundo do tanque	12,30	$^{\circ}\text{C}$
Elevação de Temperatura do topo óleo	41,40	$^{\circ}\text{C}$
Constante de tempo do enrolamento	6	minuto
Peso do enrolamento	14000	Kg
Peso do núcleo	40000	kg
Peso da parte ativa	54000	kg
Peso do tanque e radiadores	30300	kg
Volume de óleo	35730	litros

SAST – Sistema de Análise de Sobrecargas em Transformadores
 Simulação do Ciclo de Sobrecarga: ANEEL 20% (4h) e 40% (0,5h)
 Equipamento: Trafo 230-69-13,8 kV de 100 MVA

Perdas para a Temperatura Nomial de projeto do Enrolamento

Temperatura do Enrolamento ($^{\circ}\text{C}$) : 95,00
 Perdas Cobre (W) : 349195,48
 Perdas Foucault (W) : 0,00
 Perdas Adicionais (W) : 0,00
 Perdas Vazio (W) : 62000,00
 Perdas Totais (W) : 411195,48

Temperaturas Durante o Ciclo de Carga

Máxima temperatura de HOT SPOT ($^{\circ}\text{C}$) : 140,28 (21,50 h)
 Máxima temperatura de topo do óleo ($^{\circ}\text{C}$) : 86,25 (21,55 h)
 Temperatura final de HOT SPOT ($^{\circ}\text{C}$) : 103,20
 Temperatura média final do Enrolamento ($^{\circ}\text{C}$) : 82,83
 Temperatura final do topo óleo ($^{\circ}\text{C}$) : 73,94
 Temperatura final DUCT OIL ($^{\circ}\text{C}$) : 72,31
 Temperatura final do óleo no fundo do tanque ($^{\circ}\text{C}$) : 43,68

Envelhecimento do Equipamento

Envelhecimento Equivalente (h) : 25,29409
 Duração do ciclo de carga (h) : 24,00
 Fator de envelhecimento equivalente (p.u.) : 1,05392
 Percentual de perda de vida (%) : 0,01405

FIGURA 5 – Resultados da Simulação considerando os parâmetros A e B da Equação de Arrhenius conforme IEEE C57.91

Envelhecimento do Equipamento

Envelhecimento Equivalente (h) : 74,72532
 Duração do ciclo de carga (h) : 24,00
 Fator de envelhecimento equivalente (p.u.) : 3,11356
 Percentual de perda de vida (%) : 0,04151

FIGURA 6 - Simulação para envelhecimento considerando os parâmetros A e B da Equação de Arrhenius NBR 5416:1997

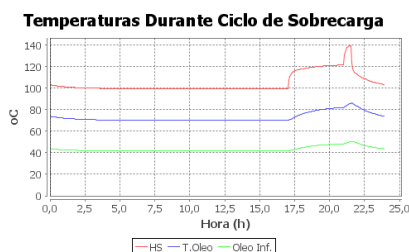


FIGURA 7 – Temperaturas durante ciclo de sobrecarga

Analisando a figura 5 verificamos que o equipamento simulado não atende aos critérios de projeto conforme os valores adotados pela especificação da Chesf. A temperatura de “Hot Spot” superou os 130°C especificados e o fator de envelhecimento superou 1.

Destacamos também a grande diferença entre a determinação do envelhecimento do transformador considerando os parâmetros A e B da Equação de Arrhenius pela norma NBR 5416:1997 ou IEEE C57.91 conforme apresentado na FIGURA 5 e na FIGURA 6.

Outra funcionalidade do jSAST é a avaliação dos gases gerados durante o ensaio de aquecimento com sobrecarga e sua análise seguindo o IEEE PC57.130 e Projeto de Norma 10.1 – 031. A FIGURA 8 apresenta dados levantados durante um ensaio de aquecimento com sobrecarga. A FIGURA 9 apresenta o resultado da análise realizada pelo jSAST.

Dados das Amostras									
	Duração(h)	H2	CH4	C2H2	C2H4	C2H6	CO	CO2	N2
Inicial:	0,00	2,00	0,00	0,00	0,00	0,00	5,00	28,00	1098,00
Após ONAF II:	12,50	3,00	0,00	0,00	0,00	0,00	10,00	44,00	1328,00
Após Sobrecarga:	5,00	4,00	0,00	0,00	0,00	0,00	15,00	61,00	1834,00
Após ONAN:	13,00	6,00	0,00	0,00	0,00	0,00	21,00	80,00	1818,00

FIGURA 8 – Dados de formação de gases durante ensaio de aquecimento com sobrecarga

```

-----
SAST - Sistema de Análise de Sobrecargas em Transformadores
Análise de Gases Durante o Ciclo de Sobrecarga
Equipamento: Trafo 230-69-13,8 kV de 100 MVA
-----
Variação Início X ONAF II
-----
Variação H2 (ppm/h) ____: 0,0800
Variação HC (ppm/h) ____: 0,0000
Variação CO (ppm/h) ____: 0,4000
Variação CO2 (ppm/h) ____: 1,2800
-----
Variação Início X Sobrecarga
-----
Variação H2 (ppm/h) ____: 0,1143
Variação HC (ppm/h) ____: 0,0000
Variação CO (ppm/h) ____: 0,5714
Variação CO2 (ppm/h) ____: 1,8857
-----
Variação Início X ONAN
-----
Variação H2 (ppm/h) ____: 0,1311
Variação HC (ppm/h) ____: 0,0000
Variação CO (ppm/h) ____: 0,5246
Variação CO2 (ppm/h) ____: 1,7049
-----
Análise conforme IEEE PC57.130
-----
Variação H2 (ppm/h) ____: Condição 1
Variação HC (ppm/h) ____: Condição 1
Variação CO (ppm/h) ____: Condição 1
Variação CO2 (ppm/h) ____: Condição 1
-----
Tabela de Condições
-----
Condição 1: Nenhum problema detectado
Condição 2: Possível problema detectado: Teste segunda amostra
Investigue causas analisando o teste de elevação
Aumente a duração do teste.
Condição 3: Existe um problema térmico no equipamento
Ações corretivas devem ser tomadas
O teste de elevação deve ser repetido.
-----

```

FIGURA 9 – Análise dos gases formados durante ensaio de aquecimento com sobrecarga

6.0 - CONCLUSÃO

Durante a avaliação das condições de sobrecarga impostas aos transformadores e o impacto nas especificações da Chesf as principais conclusões podemos destacar:

- A norma NBR 5416:1997 necessita de atualização incorporando as condições de operação em sobrecarga conforme descritas no Submódulo 2.3 dos Procedimentos de Rede do ONS;
- Necessidade de uma maior discussão sobre os parâmetros A e B da Equação de Arrhenius e suas diferenças entre as normas considerando que a norma IEEE C57.91 revisou o estudo do fenômeno do envelhecimento da isolação do transformador relativamente à norma ANSI C57.92-1981;
- Necessidade de descrição de um ensaio de sobrecarga normatizado na NBR 5356-2:2007 uma vez que a aplicação de um procedimento não normatizado na NBR tem provocado diversas dificuldades para a Chesf na realização dos ensaios em fábrica;
- Necessidade de uma maior discussão sobre a curva de carregamento imposta pelo submódulo 2.3, sendo fundamental um maior detalhamento da mesma e uma especificação mais clara dos intervalos e periodicidade dos eventos de sobrecarga;
- Necessidade de uma maior discussão sobre os riscos destas condições de operação uma vez que estes valores elevados de sobrecarga devem ocorrer para condições já degradadas do Sistema Interligado Nacional;

- Necessidade de avaliação destas sobrecargas nos demais equipamentos e materiais das conexões dos transformadores tais como transformadores de corrente, chaves seccionadoras, cabos, etc;
- A avaliação térmica de um transformador é muito sensível aos critérios inicialmente adotados para final de vida e aplicação da sobrecarga fato este que torna difícil prever se o equipamento viverá por 40 anos. O que existe é uma expectativa de vida média que pode ou não ser atingida dependendo da minimização de riscos envolvidos e dos cuidados periódicos adotados. Sendo assim, o atendimento ao item 7.1.4.3 do Submódulo 2.3 de maneira determinística torna-se inviável não apenas pela própria dinâmica do fenômeno mas também pelas indefinições apresentadas pelo próprio item 7.1.4 do Submódulo 2.3.

7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) IEEE Power & Energy Society. IEEE C57.91: IEEE Guide for Loading Mineral-Oil-Immersed Transformers, 2011
- (2) IEEE Power & Energy Society. IEEE C57.119: IEEE Recommended Practice for Performing Temperature Rise Tests on Oil-Immersed Power Transformers at Loads Beyond Nameplate Ratings, 2001;
- (3) International Electrotechnical Commission. IEC 60354: Loading guide for oil-immersed power transformers, Ed. 2.0;
- (4) Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5356-1: – Transformadores de potência – Parte 1: Generalidades, 2007;
- (5) Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5356-2: – Transformadores de potência – Parte 2: Aquecimento, 2007;
- (6) Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT NBR 5416: Aplicação de cargas em transformadores de potência – Procedimento, 1997
- (7) IEEE Power & Energy Society. IEEE PC57.130: Trial-Use Guide for the use of dissolved gas analysis during factory temperature rise tests for the evaluation of oil immersed transformers and reactors;
- (8) Associação Brasileira de Normas Técnicas. Projeto de Norma 10.1 – 031 – Interpretação da análise de gases dissolvidos (AGD) em óleo mineral isolante de equipamentos elétricos em testes de fábrica, Abril/2012;
- (9) CEPEL. Nota Técnica DLE-21928/12: ANÁLISE E SUGESTÕES AO TEXTO DA MINUTA DO SUBMÓDULO 2.3 – REVISÃO 2012.1, ITEM 7.1, “UNIDADES TRANSFORMADORAS DE POTÊNCIA”, DOS PROCEDIMENTOS DE REDE DO OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA (ONS);
- (10) ONS - Submódulo 2.3 - Requisitos mínimos para transformadores e para subestações e seus equipamentos – rev. 2.0 – vigência a partir de 11/11/2011.

8.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Fabio Nepomuceno Fraga



Nascido em Recife-PE no ano de 1975. Formado em Engenharia Elétrica, pela UFPE em 1998, Mestre em Engenharia Elétrica, pela UFPE em 2008. Trabalhou no Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS) onde atuou na área de normatização da operação e qualidade. Em 2002 ingressou na Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf) onde atua na área de projetos de subestação. Atualmente é Assessor do Departamento de Projeto e Construção de Subestações (DSE) da Chesf. Em 2003 passou a coordenar o subcomitê CE-B3.01 (Novas Concepções) do comitê de estudo CE-B3 do Cigré-Brasil. Em 2012 assumiu a coordenação do Comitê de Estudo B3 do Cigré-Brasil. Entre suas áreas de interesse estão sistemas de aterramento, compatibilidade eletromagnética, projetos e novas concepções de subestação, transformadores e reatores.