

**CE 12.05****INFLUÊNCIA DA MANUTENÇÃO NO ÓLEO ISOLANTE DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA****SOBRE AS CONCENTRAÇÕES DE FURANOS (FAL-2)**

**\*José Tenorio Barreto Júnior  
Gilcinea Rangel Pesenti  
Jose Antonio M. Chaves  
LIGHT S.E.S.A.**

**RESUMO**

As empresas em geral possuem gastos elevados com a manutenção do sistema papel-óleo de transformadores de potência, entretanto investimentos em aspectos de conservação deste sistema, influenciam sobremaneira no envelhecimento destes equipamentos e conseqüentemente nestes gastos além da redução da taxa de falhas gerando um melhor desempenho e confiabilidade do sistema.

Um investimento em banco de dados de envelhecimento, pode possibilitar a execução de um programa de manutenção bem afinado, bem como a avaliação de vida remanescente desses equipamentos.

Através da análise do teor de furfuraldeído, pode-se obter por correlação, o grau de polimerização estimado do transformador de potência e uma determinação de quanto o equipamento já envelheceu, durante o tempo em que esteve instalado e operando. Suas condições de carregamento também serão avaliadas em conjunto com as temperaturas a que se submeteu.

Desta forma, o presente trabalho avalia a influência exercida de manutenções do óleo mineral isolante do tipo desgaseificação e regeneração, em transformadores energizados sobre a concentração do furfuraldeído-2: evidenciando, caso ocorra, o comportamento de retorno as concentrações iniciais deste composto após a realização dessa manutenção preventiva; e observando as variações ocorridas com base

em algumas variáveis manipuladas, tais como temperatura, perda de vida e ainda a influência do tipo do sistema de preservação, etc.

Para tanto, serão selecionados dois grupos de transformadores, nos quais serão realizados, inicialmente, os ensaios gás-cromatográficos e de furfuraldeído-2. Posteriormente, o primeiro grupo será submetido a uma desgaseificação e o segundo a uma regeneração. Ambos os processos realizados com o transformador energizado, ou seja, dentro de suas condições normais de operação.

Finalmente, serão colhidas novas amostras do fluido isolante de todos os equipamentos envolvidos, em períodos pré-definidos, acompanhando assim a evolução da formação de gases e do furfuraldeído durante todo o período, obtendo-se com isso faixas para avaliação de envelhecimento.

O objetivo deste artigo, além de avaliar como se procede o retorno do furfuraldeído após as intervenções em óleo isolante, é avaliar as variáveis de influência com este tempo, traçando um paralelo entre a formação de gases e teor de furfuraldeído, estudando este processo fora do âmbito laboratorial.

Como aspecto conclusivo, abordaremos de que forma deve ser tratado a análise do fator envelhecimento quando o transformador de potência tiver sido submetido a manutenções do óleo isolante através de processo termovácuo ou por planta regenerativa.

**PALAVRAS CHAVES**

Regeneração. Envelhecimento. Furfuraldeído.

## 1.0 - INTRODUÇÃO

No transformador de potência a isolação líquida e sólida desempenham papel de fundamental importância para que se tenha condições ideais de operacionalidade do equipamento em serviço. No entanto, o envelhecimento desta isolação acarreta a perda de confiabilidade em função do diagnóstico de fim de vida deste isolamento.

O óleo, contudo, pode ser substituído numa intervenção sem maiores problemas, sendo realizada em algumas horas, mas o papel porém, quando degradado exige uma ação que requer maiores envolvimento, inclusive podendo gerar a retirada do transformador do sistema.

Conforme ocorra a degradação da celulose, esta é causada pela quebra das cadeias celulósicas, gerando a diminuição do valor de grau de polimerização e resistência à tração do papel.

Portanto, durante a vida do equipamento deve se avaliar a necessidade de intervenções de manutenção preventiva em transformadores de potência, de forma a manter o equipamento em condições ótimas de funcionamento.

O acompanhamento da real situação dos transformadores de potência exige a análise de diversas técnicas de monitoramento, que direcionam o tipo de processo de manutenção a ser adotado, buscando não submeter o transformador, principalmente sua isolação sólida, a um envelhecimento acelerado. Assim, uma perfeita conservação das condições do líquido isolante do equipamento, corresponde a se manter todo conjunto papel-óleo em boas condições de funcionamento.

A prática mais adequada e econômica para eliminação dos agentes de degradação é o tratamento do óleo isolante, que promove intensiva remoção de borra e ácidos, no processo de Regeneração, e a desgaseificação e desumidificação, no processo de Recondicionamento.

## 2.0 – CONSIDERAÇÕES PRELIMINARES

O processo de formação dos compostos derivados do furano obtidos pela degradação celulose da isolação sólida dos transformadores de potência vem sendo exaustivamente estudados. Diversos trabalhos vêm sendo elaborados, buscando explicar os mecanismos de formação destes produtos e a influência de diversos fatores. Além do desenvolvimento de métodos mais acessíveis de análise destes compostos, as principais correntes de pesquisa estão relacionadas com estabelecimento de correlações entre o 2-furfuraldeído e outros fatores (CO, CO<sub>2</sub>, GP, idade do equipamento, tempo em operação etc), bem como especificar um faixa aceitável de concentração para este furano.

A diversidade de resultados obtidos dentro deste último grupo mostra a complexidade do assunto e os diversos cuidados que devem ser tomados quando da realização de qualquer afirmação relacionada à limite de concentração de 2-furfuraldeído e ao grau de correlação deste composto com os demais elementos do processo de degradação da isolação sólida do transformador de potência.

A dificuldade observada alerta para a necessidade da realização de outras considerações que permitam remover os principais obstáculos que impedem o desenvolvimento de critérios confiáveis de avaliação e monitoramento da vida útil remanescente do equipamento. Entre os diversos fatores existentes que dificultam a execução deste objetivo se encontra a realização de tratamentos e regenerações no óleo mineral isolante que podem falsear e até mesmo obscurecer os resultados obtidos nas análises de laboratório, afetando tanto os resultados de 2-furfuraldeído como os dos ensaios físico-químicos e gás-cromatográficos.

O enfoque principal é verificar como variam as concentrações de 2-furfuraldeído e de outros gases, neste caso o CO e o CO<sub>2</sub>, a execução de tratamento e regenerações do óleo mineral isolante com o transformador de potência energizado. Assim, com base nos resultados obtidos, estabelecer se é ou não necessário levar em consideração a realização deste tipo de manutenção preventiva no processo de análise das correlações e no estabelecimento de limites envolvendo este derivado de furano.

## 3.0 - EXPERIÊNCIA DA LIGHT COM OS

## RESULTADOS DE FURFURALDEÍDO APÓS A REALIZAÇÃO DE TRATAMENTO DE ÓLEO ISOLANTE

A experiência da Light, através do seu Departamento de Engenharia, com ensaios de 2-furfuraldeído é relativamente recente. Foi somente a partir do ano de 1994, com a entrada da empresa no projeto de “Determinação da correlação entre o grau de polimerização, teor de furfuraldeído e teor de dióxido de carbono”, que se passou a ser realizado efetivamente este ensaio no âmbito da companhia. Mesmo diante deste curto período de acompanhamento, foi possível observar o efeito do tratamento do óleo isolante sobre o teor deste derivado de furano.

Deve se salientar, que o procedimento adotado nesta seção do trabalho é o seguinte: inicialmente, foi colhida uma amostra de óleo isolante para a realização da análise do 2-furfuraldeído; posteriormente, em períodos variáveis foram realizados, em alguns equipamentos somente, tratamentos do óleo mineral isolante com transformador em operação; e finalmente, após um ano da primeira coleta, foi realizado um novo ensaio, que possibilitou verificar a variação neste intervalo de tempo.

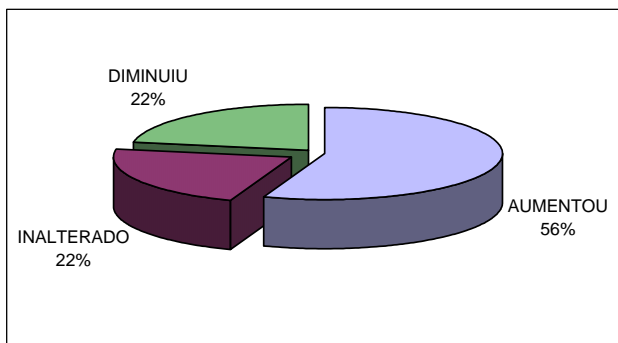
Com base nas informações obtidas, conforme se encontra descrito na Figura-1, pode se observar que: a) cerca de 56% dos transformadores que sofreram tratamento tiveram a sua concentração de 2-furfuraldeído aumentada, indicando, a princípio, que este processo não teve efeito prático sob este composto; b) em aproximadamente 22% dos casos o teor de 2-furfuraldeído permaneceu inalterado, reforçando-se, portanto, a tese anterior; e c) em apenas 22% das situações observadas houve redução da quantidade de 2-furfuraldeído.

Algumas considerações podem ser feitas a esta primeira abordagem. Talvez a principal, é que imediatamente após o tratamento do óleo com transformador energizado o 2-furfuraldeído pode decrescer, retornando com o tempo ao patamar inicial e crescendo, em diversos casos, quando, se acelera a degradação da isolamento por outros motivos. Na tentativa de remover este impecilho deve ser colhida uma amostra logo após a realização desta manutenção preventiva, sendo acompanhada a evolução em períodos de tempo definidos, que neste caso serão de:

- a) antes do tratamento;
- b) logo após ao tratamento;

- c) um mês após ao final tratamento; e
- d) três meses após ao final do tratamento.

Dentro desta nova perspectiva será possível avaliar a variação dos gases e do 2-furfuraldeído decorrente da realização do tratamento do óleo



isolante.

Figura-1- Variação do teor de 2-FAL após realização do tratamento

### 3.1 – Análise do Recondicionamento e da Regeneração

As Tabela I e II, nos levam a uma análise individualizada de cada processo, ou seja Recondicionamento e Regeneração.

**TABELA I – EVOLUÇÃO DE 2-FAL APÓS RECONDICIONAMENTO**

SETD	DATA	2FAL
LPD # 2 NÃO SELADO	07/94	1,03
	08/95	1,20
	03/97	RECONDIC.
	06/98	5,22
GVD # 2 NÃO SELADO	07/94	0,05
	08/97	RECONDIC.
	07/98	3,80
PTS # 1 NÃO SELADO	05/94	0,05
	12/96	RECONDIC.
	05/98	2,98
	06/98	3,10
BAR # 2 NÃO SELADO	07/94	1,01
	06/95	RECONDIC.
	07/95	1,18
	10/98	4,16
LEM # 1 NÃO SELADO	07/94	1,00
	07/95	1,06
	05/96	RECONDIC.

	03/98	2,23
PTS # 2 NÃO SELADO	05/94	0,05
	04/95	0,06
	11/96	RECONDIC.
	05/98	3,79
	06/98	3,84
SAT # 3 NÃO SELADO	07/94	0,47
	08/95	0,56
	09/96	RECONDIC.
	07/98	4,29
FCN # 5 NÃO SELADO	09/94	0,08
	09/95	0,05
	11/96	RECONDIC.
	02/98	1,26

O envelhecimento da isolação, como observado na Tabela I, principalmente em transformadores não selados, onde este processo acontece de forma mais acelerada, acaba por desfigurar uma avaliação pós recondicionamento com base em resultados de 2 anos de evolução, em relação ao comportamento do 2-FAL. Desta forma deve-se coletar uma amostra de óleo, logo após o término do recondicionamento.

**TABELA II – EVOLUÇÃO DE 2-FAL APÓS REGENERAÇÃO**

SETD	DATA	2 FAL
BMT # 2 NÃO SELADO	07/94	1,63
	07/95	1,81
	09/97	REGENERAÇÃO
	06/98	0 2,19
MKZ # 1 NÃO SELADO	04/94	0,30
	01/95	0,48
	07/97	REGENERAÇÃO
	07/98	0 0,50

Os valores da Tabela II, mostram uma tendência de queda do valor de 2 FAL, pós regeneração, com análise balizada no tempo de evolução dos resultados. O resultado de MKZ, por exemplo pode-se observar que o teor de furfural em 01/95 era 0,48, sendo feito regeneração em 07/97 e em 07/98 o resultado após um ano era de 0,5, o que demonstra que após 3 anos e 6 meses manteve-se inalterado, onde conclui-se que logo após a regeneração o valor de 2 FAL reduziu consideravelmente.

#### 4.0-REFLEXO DA SUBSTITUIÇÃO DO ÓLEO APÓS SELAGEM

A Light vem atuando no saneamento do seu parque transformador instalado e a substituição de sistemas de preservação do tipo não selado por selado tem sido uma das principais ações deste Plano, que englobou a

substituição do óleo no escopo destes serviços. A Tabela III mostra um exemplo, da variação do 2 FAL após substituição do óleo.

**TABELA III – EVOLUÇÃO APÓS SUBSTITUIÇÃO DO ÓLEO**

SETD	DATA	2 FAL
ESP # 4	01/98	4,39
	10/98	SELAGEM
	01/99	0,87

Um ponto a ser estudado, é o tempo necessário para que os valores de do 2 FAL retornem a patamares que retratem o grau de envelhecimento da unidade.

#### 5.0-CONSTATAÇÕES DA EVOLUÇÃO DO 2-FAL EM TRAFOS SELADOS E NÃO SELADOS

Foi observado que os valores do histórico de transformadores não selados, não evoluíram dentro do período de 1 ano em operação, no entanto após 3 anos a evolução do 2 FAL foi bastante significativa mostrando a ação do envelhecimento em transformadores de respiração direta.

Em transformadores selados, os valores de 2 FAL se mantiveram constantes ao longo de 1 ano em operação e no decorrer de 3 anos o crescimento foi mínimo, demonstrando o retardo do processo de envelhecimento em unidades se m contato com o ar atmosférico.

#### 6.0 – CONCLUSÃO

O processo de tratamento termovácuo, ou seja, o recondicionamento melhora a isolação do transformador com a retirada de umidade e sólidos em suspensão, contudo mantém o Grau de Polimerização inalterado, não refletindo esta

melhora no seu valor e em alguns casos até piorando, como na secagem. Os resultados de 2-FAL também se apresentaram estáveis após recondicionamento, piorando com a ação do envelhecimento da unidade, comprovando-se assim a correlação entre GP e 2-FAL.

Assim duas unidades, de mesmas características, com o mesmo GP, não podem ser analisadas igualmente quanto ao aspecto “envelhecimento”, pois se uma dessas unidades for recondicionada, o reflexo no GP será no tempo, ou seja, quando melhora a isolação, na verdade estou travando o processo de envelhecimento.

Um exemplo que dificulta uma análise do envelhecimento através do 2-FAL é a substituição completa do óleo isolante, que desfigura o valor de 2-FAL, tendendo-o a quase zero, o que impossibilita neste caso a se correlacionar com o GP, para se obter o real envelhecimento da unidade transformadora.

Fatores como sistema de preservação, teor de água dos enrolamentos e carregamento do transformador, estão intrinsecamente associados, a avaliação global da unidade.

A análise geral dos resultados foi buscada através de uma avaliação globalizada, fornecendo uma visão abrangente da influência de tratamentos no óleo isolante de transformadores de

Sobre Novas Tecnologias Aplicadas a Transformadores de Potência, Rio de Janeiro, 1995.

- (5) MENDES, J.C. "Sistemas Fechados de Preservação de Óleo Isolante de Alto Desempenho para Transformadores de Alta Tensão", Artigo interno da Asea Brown Boveri, São Paulo, 1997.
- (6) BARRETO JR. J. T.; ALVES, L.C.. "Análise Comparativa entre sistemas de preservação de óleo isolante", VII ERLAC, Poerto Iguazú, Argentina, 1997.
- (7) BASSETO FILHO, A.; MAK, J. Enfoque prático sobre as técnicas atuais para avaliação da vida útil de transformadores de potência. 5º Seminário de Manutenção com a Doble Engineering. Rio de Janeiro, 17-19 de maio de 1993.
- (8) BHUMIWAT, S.; SRHITAJATI, S. Aging insulation study of instrument transformers in EGAT system after several years in service. Symposium Berlin, CIGRÉ, 1993.
- (9) GIFFIN, P.J. Monitoring the integrity of cellulose insulation in order to determine power transformer life. The Minutes of the Fifty-Eight Annual International Conference of Doble Clientts. Sec. 6-16, 1991.

## 7.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) DOMINELLI, N., HASSANALI, S. J., BIRD, F.J., "The Analysis of Insulating oil for Degradation Products from Solid Insulation as a Transformer Diagnostic Technique", apresentado no Seminário do EPRI – Sustation Equipment Diagnostics Conference, New Orleans, Nov. 1993.
- (2) BURTON, P.J., "The Analysis of Insulating oil for Products Specific to the Low Temperature Overheating of Paper insulation", apresentado no CIGRÉ WG15-01, TF01 in Arnhem, Mar. 1985.
- (3) ALLAN, D.J. Transformer Oil Preservations Systems, GEC Alsthom Transformers Limited, Stafford, England.
- (4) BRANDÃO, J.C.. "Alternativas de sistemas de preservação de óleo isolante", Encontro