

Avaliação da degradação da vida útil de transformadores de potência por meio de ensaios no óleo isolante

A. Bassetto Filho, Bassetto Tecnologia e Inovação Ltda,
J. Mak, B&M Pesquisa e Desenvolvimento Ltda e
D. Camargo, AES Eletropaulo

Resumo - Com base em levantamento de dados e ensaios, montou-se uma amostra representativa dos transformadores de potência do sistema da ELETROPAULO. Estudou-se a correlação dos fatores de degradação do transformador e sua influência na velocidade da decomposição do isolamento líquido e sólido.

Em uma parte significativa dos transformadores, foi ultrapassado o valor-limite máximo de 3.000 ppm de oxigênio no óleo, independentemente do sistema de preservação do óleo (sílica ou membrana/bolsa).

O teor de oxigênio do óleo tendeu a cair à medida que o índice de acidez aumentou tanto para os transformadores com sílica quanto para aqueles com membrana.

O ensaio de infravermelho deve ser acrescentado à rotina de ensaios normalmente executados nos óleos isolantes, uma vez que pode indicar contaminantes de oxidação não-detectados pelos ensaios físico-químicos convencionais.

Palavras-chave - Transformador de Potência – Sistema Isolante – Degradação – Vida Útil

I. INTRODUÇÃO

Foram selecionados aleatoriamente 25 transformadores de potência do sistema da Eletropaulo. Em seguida foram coletados dados desses transformadores, tais como: características construtivas, idade, potência, sistema de preservação do óleo, dados de ensaios físico-químicos e cromatográficos do óleo, regime de carga, características da estação onde o transformador está instalado, etc.

Os dados obtidos foram tratados para servirem de base para o estudo dos efeitos sinérgicos dos agentes de degradação do

Este trabalho foi apoiado integralmente pela AES Eletropaulo.

A. Bassetto Filho trabalha na Bassetto Tecnologia e Inovação (e-mail: abf@aquarium.com.br).

J. Mak trabalha na B&M Pesquisa e Desenvolvimento (e-mail: josemak@terra.com.br).

D. Camargo trabalha na Eletropaulo Serviços de Eletricidade (e-mail: douglascamargo@eletropaulo.com.br).

sistema isolante e da temperatura na vida útil de transformadores de potência.

II. OBJETIVOS

O presente trabalho visou a estudar os principais parâmetros que afetam do desempenho em longo prazo do sistema isolante de transformadores de potência, constituído principalmente por óleo e papel isolante Kraft.

Foram analisados dados dos óleos de transformadores do sistema, de modo a avaliar os efeitos das condições adversas de preservação, denotadas pela presença de agentes nocivos tais como oxigênio e ácidos [1-3], e as conseqüências para a vida útil remanescente dos transformadores de potência estudados.

III. DETERMINAÇÃO NO NÍVEL DE INFLUÊNCIA DOS AGENTES EXTERNOS NA DEGRADAÇÃO DO ÓLEO ISOLANTE

As Figuras 1 e 2 apresentam os teores de oxigênio dissolvidos no óleo versus à idade dos transformadores estudados, antes de sofrerem qualquer processo de regeneração, a fim de evitar mascaramento dos resultados a serem analisados.

Na Figura 1 são apresentados os resultados de ensaio de transformadores cujo sistema de preservação do óleo é o de conservador com respiração por meio de filtro contendo sílica gel. Na Figura 2 aparecem os resultados dos óleos de transformadores que possuem conservador com membrana ou bolsa.

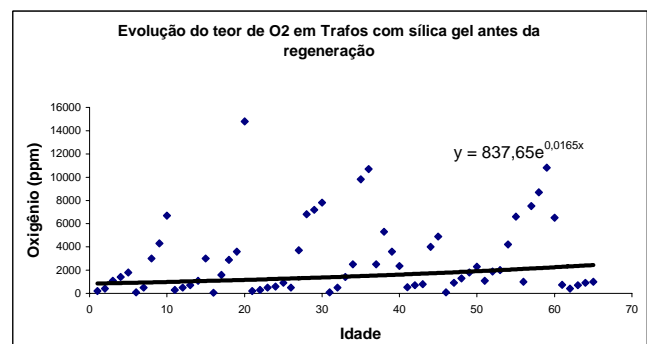


Figura 1: Correlação entre o teor de oxigênio e a idade de transformadores com sílica.

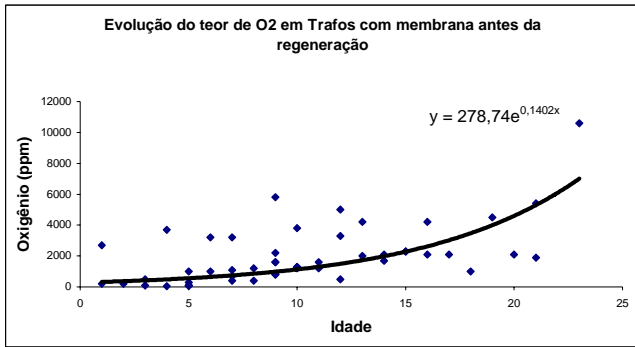


Figura 2: Correlação entre o teor de oxigênio e a idade de transformadores com sistema de preservação do óleo com membrana ou bolsa.

Ao observar as duas figuras, pode-se verificar que os dois sistemas de preservação permitiram que fosse ultrapassado em uma parte significativa dos transformadores o valor máximo de 3.000 ppm de oxigênio no óleo, conforme determinado na norma ABNT 5416/1997 [4], que estabelece os limites de carregamento de transformadores. No caso dos transformadores com sílica, os teores observados são muito mais altos, o que confirma a ineficiência deste sistema de preservação de óleo.

As Figuras 3 e 4 apresentam os teores de oxigênio dissolvidos no óleo versus a tensão interfacial dos transformadores estudados, antes de sofrerem qualquer processo de regeneração, a fim de evitar mascaramento dos resultados a serem analisados.

Na Figura 3 são apresentados os resultados de ensaio de transformadores cujo sistema de preservação do óleo é o de conservador com respiração por meio de filtro contendo sílica gel. Na Figura 4 aparecem os resultados dos óleos de transformadores que possuem conservador com membrana ou bolsa.

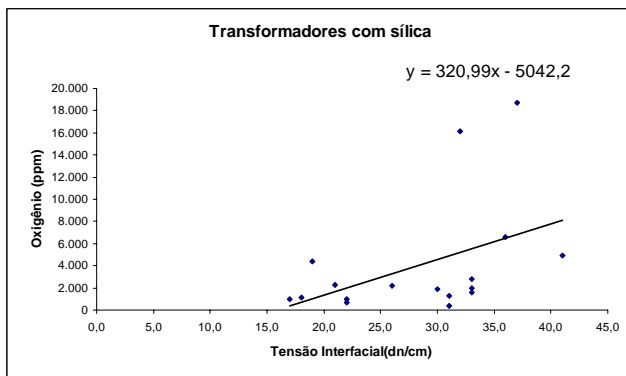


Figura 3: Correlação entre o teor de oxigênio e a tensão interfacial de transformadores com sistema de preservação do óleo com sílica.

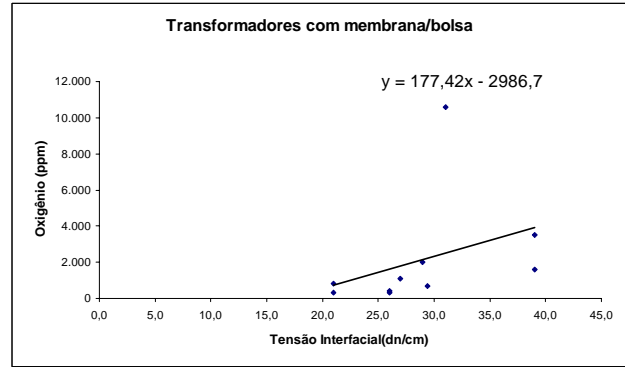


Figura 4: Correlação entre o teor de oxigênio e a tensão interfacial de transformadores com sistema de preservação do óleo com membrana ou bolsa.

O desempenho dos sistemas de preservação do óleo em longo prazo pode ser avaliado por meio dos índices de acidez e da tensão interfacial do óleo dos transformadores estudados, antes de sofrerem qualquer processo de regeneração.

As Figuras 5 e 6 mostram a correlação entre o índice de acidez e a idade de transformadores com sistema de preservação com sílica e membrana, respectivamente. Pode-se observar na Figura 5 que uma boa parte dos óleos de transformadores com sílica apresentam índices de acidez bastante elevados. Isto é perfeitamente esperado uma vez que o óleo está em contato direto com o oxigênio atmosférico.

Os dados da Figura 6 demonstram que o índice de acidez dos óleos de transformadores com membrana estão abaixo dos valores encontrados para os óleos dos transformadores com sílica, demonstrando melhor desempenho da membrana na preservação do óleo.

As Figuras 7 e 8 mostram a correlação entre a tensão interfacial e idade de transformadores com sistema de preservação com sílica e membrana, respectivamente. Pode-se constatar na figuras que na média a tensão interfacial dos óleos de transformadores com sílica tende a ser inferior à de transformadores com membrana.

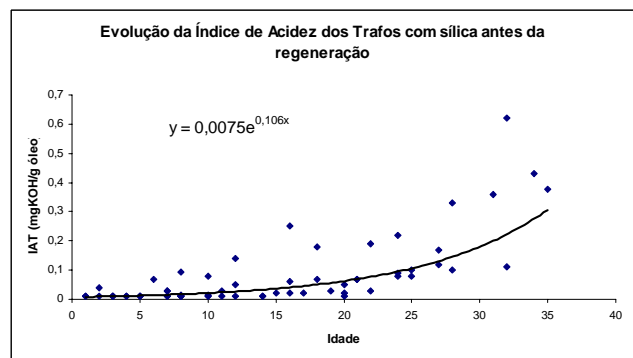


Figura 5: Correlação entre o índice de acidez e a idade de transformadores com sílica gel.

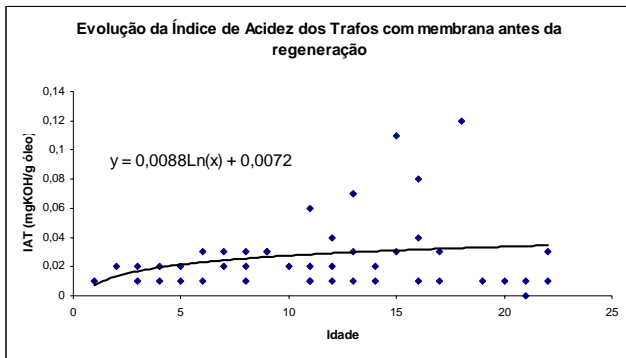


Figura 6: Correlação entre o índice de acidez e a idade de transformadores com sistema de preservação do óleo com membrana ou bolsa.

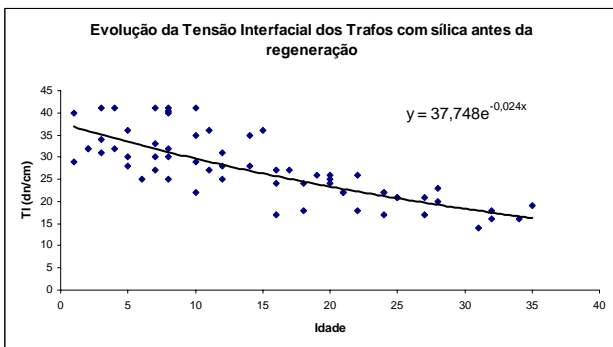


Figura 7: Correlação entre a tensão interfacial e a idade de transformadores com sistema de preservação do óleo com sílica gel.

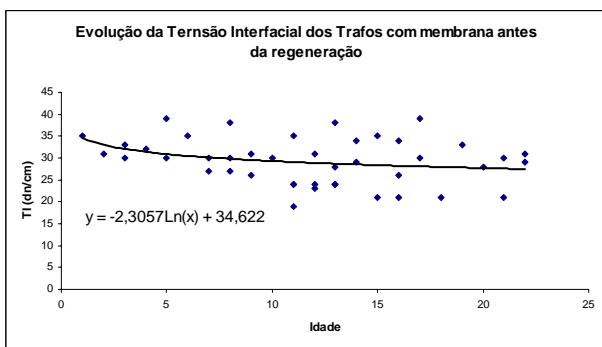


Figura 8: Correlação entre a tensão interfacial e a idade de transformadores com sistema de preservação do óleo com membrana ou bolsa.

As Figuras 9 e 10 mostram a correlação entre o teor de oxigênio e o índice de acidez e a idade de transformadores com sistema de preservação com sílica e membrana, respectivamente. Pode-se observar na Figura 9 que o teor de oxigênio tende a cair à medida que o índice de acidez aumenta. Esta queda do teor de oxigênio pode estar associada a seu consumo pelo óleo e conseqüente aumento do índice de acidez sem que ocorra um suprimento significativo de oxigênio atmosférico. O suprimento do oxigênio atmosférico ocorre principalmente em razão de variações do nível do óleo provocadas por alterações na temperatura de operação do transformador.

Os dados da Figura 10 demonstram que o mesmo fenômeno do óleo dos transformadores com sílica pode estar ocorrendo com os óleos dos transformadores com membrana. Deve-se salientar, entretanto, que os teores de oxigênio observados tendem a ser menores nos transformadores com membrana.

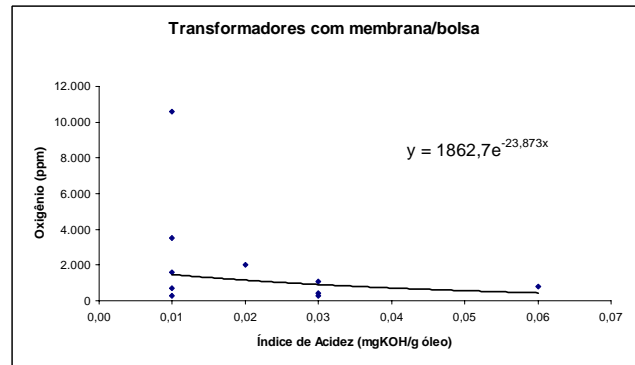


Figura 9: Correlação entre o teor de oxigênio e o índice de acidez de transformadores com sistema de preservação do óleo com sílica gel.

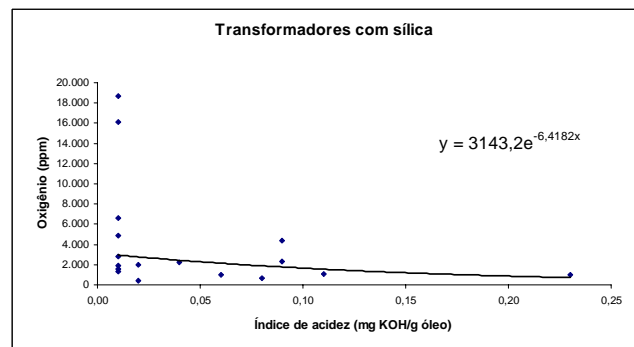


Figura 10: Correlação entre o teor de oxigênio e o índice de acidez de transformadores com sistema de preservação do óleo com membrana ou bolsa.

A Figura 11 mostra a correlação entre o índice de acidez e a tensão interfacial dos óleos. Ao observar a figura, pode-se constatar que há uma correlação muito clara entre ambos os ensaios.

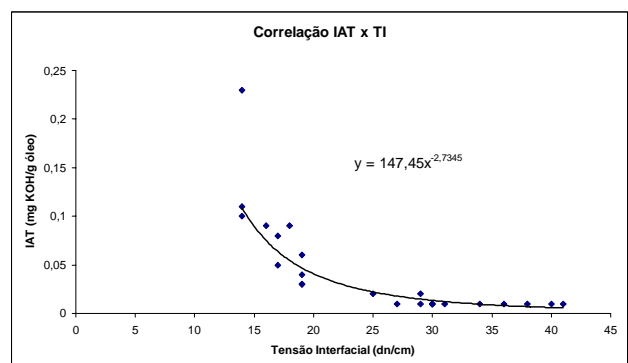


Figura 11: Correlação entre índice de acidez e tensão interfacial.

As Figuras 12 e 13 mostram os gráficos de correlação entre a acidez e a banda de carbonila em 1710 cm^{-1} e entre a tensão interfacial e a banda de carbonila em 1710 cm^{-1} , respectivamente. Em estudo de laboratório, observou-se que medição da banda diferencial de carbonila, entre uma amostra de óleo novo qualquer e outra de óleo envelhecido em 1710 cm^{-1} por espectroscopia no infravermelho, é muito útil para avaliação da oxidação do óleo em complementação aos ensaios físico-químicos convencionais [5].

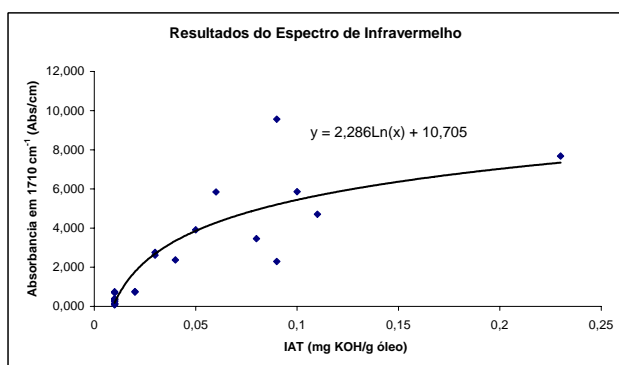


Figura 12: Gráfico de correlação entre a acidez e a banda de carbonila em 1710 cm^{-1} .

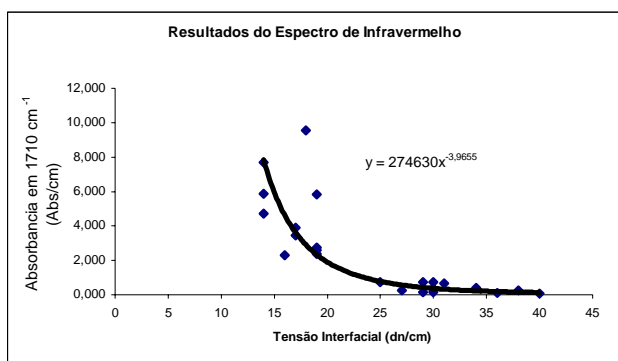


Figura 13: Gráfico de correlação entre a tensão interfacial e a banda de carbonila em 1710 cm^{-1} .

As figuras demonstram que há uma certa correlação entre os resultados dos ensaios de acidez e tensão interfacial em relação à banda de carbonila em 1710 cm^{-1} . Isto é evidenciado no estágio inicial de oxidação dos óleos analisados, principalmente para acidez superior a $0,05\text{ mg KOH/g}$ e tensão interfacial superior a 25 dinas/cm . Entretanto para valores inferiores de tensão interfacial e superiores de acidez, nota-se uma grande dispersão dos resultados.

IV. CONCLUSÃO

Avaliou-se a influência de agentes externos na degradação do sistema isolante sólido de transformadores de potência.

Determinou-se o nível de influência dos agentes externos na velocidade de degradação do óleo isolante. Em uma parte significativa dos transformadores, foi ultrapassado o valor-limite máximo de 3.000 ppm de oxigênio no óleo,

estabelecido na norma ABNT 5416/1997 sobre carregamento de transformadores, independentemente do sistema de preservação do óleo (sílica ou membrana/bolsa). No caso dos transformadores com sílica, os teores observados são muito mais altos, o que confirma a ineficiência deste sistema de preservação de óleo.

Avaliou-se o desempenho dos sistemas de conservação do óleo na preservação da vida útil dos transformadores de potência. O teor de oxigênio do óleo tendeu a cair à medida que o índice de acidez aumentou tanto para os transformadores com sílica quanto para aqueles com membrana. Esta queda do teor de oxigênio pode estar associada a seu consumo pelo óleo e conseqüente aumento do índice de acidez sem que ocorra um suprimento significativo de oxigênio atmosférico. O suprimento do oxigênio atmosférico ocorre principalmente em razão de variações do nível do óleo provocadas por alterações na temperatura de operação do transformador.

Observou-se que há certa correlação entre os resultados dos ensaios de acidez e tensão interfacial em relação à banda de carbonila em 1710 cm^{-1} . Isto é evidenciado no estágio inicial de oxidação dos óleos analisados, principalmente para acidez superior a $0,05\text{ mg KOH/g}$ e tensão interfacial superior a 25 dinas/cm . Entretanto para valores inferiores de tensão interfacial e superiores de acidez, nota-se uma grande dispersão dos resultados.

O ensaio de infravermelho deve ser acrescentado à rotina de ensaios normalmente executados nos óleos isolantes, uma vez que pode indicar contaminantes de oxidação não-detectados pelos ensaios físico-químicos convencionais. Assim, será possível otimizar a tomada de decisão quanto a ações de manutenção como regeneração do óleo, ou mesmo a qualidade do óleo após a regeneração.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Dakin, T.W. "Electrical insulation deterioration treated as a chemical rate phenomenon," *AIEE Transactions*, v.66, p.113-122, 1947.
- [2] McNutt, W.J. "Insulation Thermal Life Considerations for Transformer Loading Guides," *Transactions on Power Delivery*, v. 7, n. 1, Jan. 1992, pp. 392-398.
- [3] Clark, F.M. *Insulating materials for design and engineering practice*. New York, John Wiley, 1962. 1217 p.
- [4] ABNT *Procedimentos para Carregamento de Transformadores de Potência*, NBR 5416/97, Jul. 1997.
- [5] Bassetto F., A. et al. "Assessment of the Optimum Reclamation Time for Uninhibited Insulating Oils by Infrared Spectroscopy," in *Minutes of the Fifty-Eighth Annual International Conference of Doble Clients*, 1991, Sec. 10-4.1.