

ANÁLISE DA DEGRADAÇÃO DE UM ÓLEO MINERAL ISOLANTE POR ESPECTROSCOPIA DE ABSORÇÃO NO INFRAVERMELHO

Ana Luísa de Medeiros Costa (1); Kleberston Ricardo de Oliveira Pereira (2); Rucilana Patrícia Bezerra Cabral (3)

Universidade Federal de Campina Grande

analuisa_medeiros@outlook.com (1); kleberstonric@gmail.com (2); rucilana.cabral@ufcg.edu.br (3)

Resumo: Os óleos minerais isolantes (OMI) são derivados do petróleo, destinados à utilização em transformadores e outros equipamentos. Suas funções básicas são o isolamento e refrigeração durante a execução dos transformadores de potência. Devido às condições de trabalho do equipamento ao longo do tempo, o óleo mineral isolante acaba sofrendo uma degradação térmica, podendo chegar a estados elevados de temperatura. O objetivo deste trabalho consiste em conduzir o tratamento térmico de um óleo mineral isolante virgem e analisar o comportamento do óleo frente a uma degradação térmica. A metodologia compreendeu o aquecimento de uma amostra de óleo em estufa, de 50°C a 250°C. Posteriormente, as amostras foram analisadas visualmente para constatação de mudança de cor e passaram pelo ensaio de espectroscopia de absorção na região do infravermelho (espectroscopia IV). Com isso, constatou-se que a degradação do óleo levou à deposição de sólidos, assim como mudança de cor (transparente para amarelo). Também foi verificado que houve oxidação do óleo, podendo afetar a vida útil dos equipamentos se não monitorados.

Palavras-chave: óleo mineral isolante, degradação térmica, infravermelho.

1. INTRODUÇÃO

Transformadores de potência são equipamentos importantes e de alto custo no contexto dos sistemas elétricos de potência. São máquinas estáticas que transferem energia elétrica de um circuito para outro, mantendo a mesma frequência e variando valores de corrente e tensão. Sua função é reduzir as perdas em transmissão por redução da corrente requerida para transmitir uma determinada potência elétrica (NYNÄS, 2004).

Os transformadores de potência utilizam óleo com a função de isolar e refrigerar o equipamento durante sua operação. Basicamente o óleo, juntamente com o papel *kraft*, constituem a isolação dos transformadores. O líquido isolante mais utilizado atualmente é o óleo mineral naftênico (FRIEDENBERG e SANTANA, 2014), fração do petróleo cuja composição química e a natureza física podem variar significativamente. Esses isolamentos sofrem redução de sua capacidade ao longo do tempo, ainda que sejam submetidos às condições normais de projeto. Quando submetido a condições mais severas, a vida útil estimada é reduzida. Na medida em que

(83) 3322.3222

contato@conepetro.com.br

www.conepetro.com.br

ocorre uma redução de sua capacidade, vários processos podem ocorrer no sentido de acelerar esta redução, levando a uma incapacidade de realizar sua função, ou seja, à falha do isolamento (ZIRBES; ROLIM; ZÜRN, 2005).

Os óleos minerais isolantes são produtos que sofrem degradação por esforços térmicos e elétricos, gerando produtos de decomposição que verificam a ocorrência de falhas nos equipamentos. A temperatura de trabalho que esses óleos operam está entre 60°C e 95°C, assim como sua rigidez dielétrica, a qual está relacionada à capacidade de suportar a solicitação elétrica sem falhar, deve atuar entre 60 kV e 72,5 kV. O acompanhamento e a manutenção da qualidade do óleo isolante são etapas essenciais para assegurar uma operação confiável dos equipamentos elétricos garantindo a confiabilidade do fornecimento de energia. Assim, pretende-se avaliar as condições de envelhecimento forçado do óleo em relação ao tempo.

Dentre os objetivos deste trabalho estão:

- Induzir o envelhecimento forçado de um óleo isolante virgem, em estufa;
- Analisar a degradação do óleo a altas temperaturas;
- Avaliar o potencial da técnica de infravermelho para investigar a degradação térmica de óleos minerais isolantes utilizados em transformadores.

2. METODOLOGIA

Um estudo inicial de investigação da degradação do óleo mineral isolante foi desenvolvido através de aumento convencional de temperatura em estufa sem fluxo de ar, de 50 a 250°C, variando em 50°C. Este trabalho foi discorrido baseado em Omido (2014).

2.1. Preparação das Amostras

Uma amostra de 250mL de óleo mineral virgem isolante de base naftênica, dividida em cinco béqueres de 50mL cada, foi condicionada em estufa (modelo FANEM, Orion® 515) durante cinco horas, para efetivação de um envelhecimento forçado por degradação térmica. O óleo foi adquirido na empresa Montex – Montagem e Manutenção de Equipamentos Elétricos, em João Pessoa – Paraíba.

Inicialmente todas as amostras permaneceram sob temperatura de $50^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$, após uma hora nesta temperatura, o primeiro recipiente com 50mL foi retirado da estufa e acondicionado em dessecador até atingir novamente a temperatura ambiente. Após o seu resfriamento a amostra foi acondicionada em um frasco de vidro. A temperatura foi, então, elevada para 100°C , após estabilidade as amostras permaneceram por mais uma hora. Após esse tempo, o segundo bécher foi retirado e, então, acondicionado conforme amostra anterior. As outras 3 amostras seguiram o mesmo procedimento, nas temperaturas de 150°C , 200°C , 250°C . Também foi separada para análise uma amostra de 50mL de óleo virgem à temperatura ambiente.

2.2. Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho com Transformada de Fourier

As medições de absorção na região do infravermelho foram realizadas em um espectrofotômetro modelo Vertex 70 da marca BRUKER, no intervalo entre 4000 cm^{-1} e 400 cm^{-1} (infravermelho médio) e resolução 4 cm^{-1} e 20 varreduras. O ensaio foi realizado no Laboratório de Síntese de Materiais Cerâmicos – LabSMac, da Unidade Acadêmica de Engenharia de Materiais - UAEMa/CCT/UFCG. A utilização de espectrofotômetros com Transformada de Fourier permite a obtenção dos espectros de absorção em um intervalo de tempo mais rápido. A composição básica de um espectrofotômetro é uma fonte, um interferômetro, um compartimento para posicionamento da amostra, um detector e um sistema de tratamento e análise do sinal.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Aspecto Visual

Na Figura 1 são apresentados os aspectos dos óleos antes e após o tratamento térmico. A diferença de coloração entre os óleos antes e após o processo de degradação é um forte indicativo termo oxidativo. A partir da temperatura de 150°C já foi possível identificar uma suave mudança de coloração do óleo, que se tornou mais evidenciada a 250°C . Além disso, durante a coleta da amostra, foi possível observar a formação de pequenos fragmentos de borra do óleo, devido à degradação térmica, nas temperaturas de 200°C e 250°C , o que seria mais um indicativo da oxidação resultante do processo de degradação térmica, divergindo do que diz a NBR 14483, onde

o óleo deve ter aspecto transparente e límpido (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS, 2005).



Figura 1: Amostras antes e após o tratamento térmico.

Fonte: Própria

3.2. Espectroscopia de Absorção na Região do Infravermelho

As Figuras apresentadas a seguir são referentes aos espectros de absorção no infravermelho para a temperatura ambiente 25°C e 50°C (Figura 2), 100°C e 150°C (Figura 3), 200°C e 250°C (Figura 4). Ao analisar os espectros observou-se que quanto maior a temperatura, a que foi submetido o óleo, maior o nível de absorbância do infravermelho pelos compostos presentes no neste.

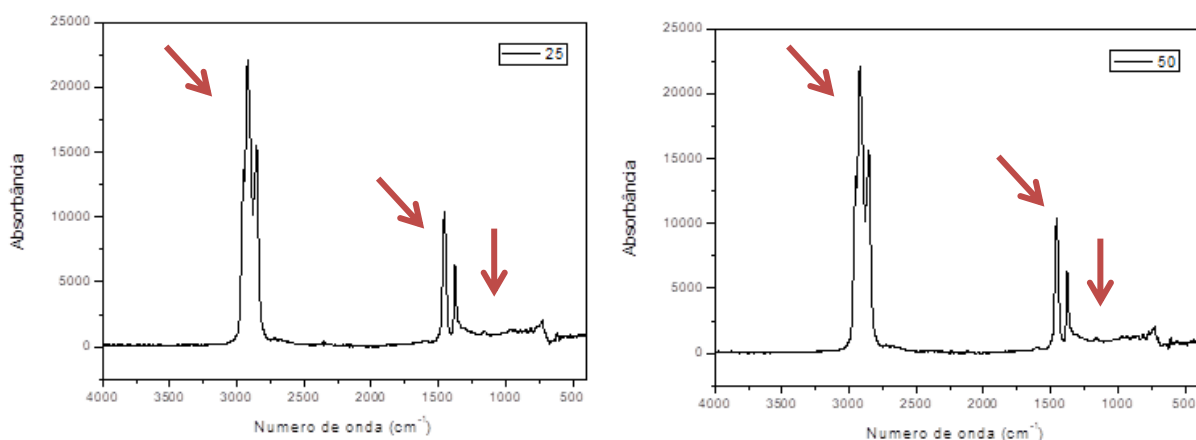


Figura 2: Espectro de absorção na região do infravermelho para a temperatura ambiente 25°C e 50°C.

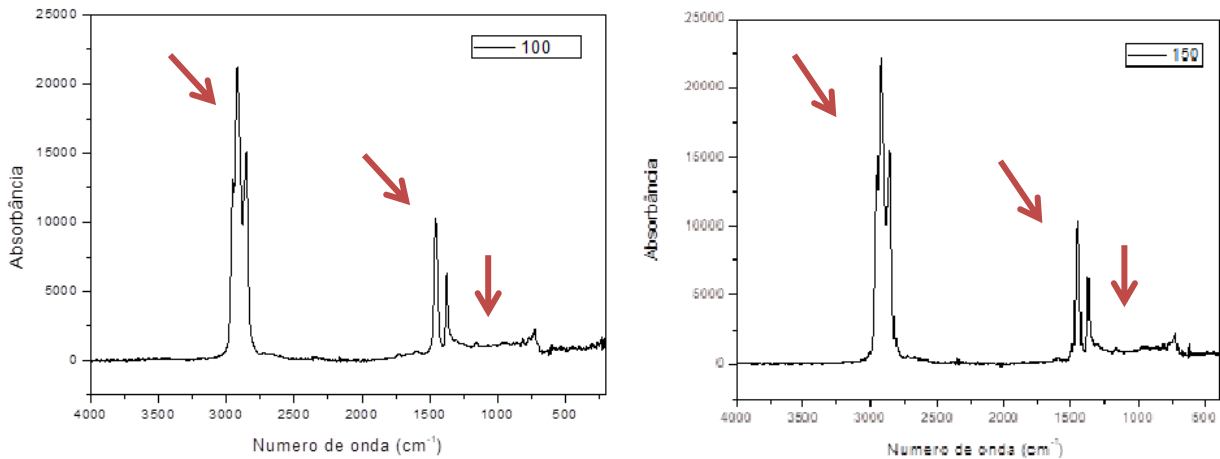


Figura 3: Espectro de absorção na região do infravermelho para as temperaturas 100°C e 150°C.

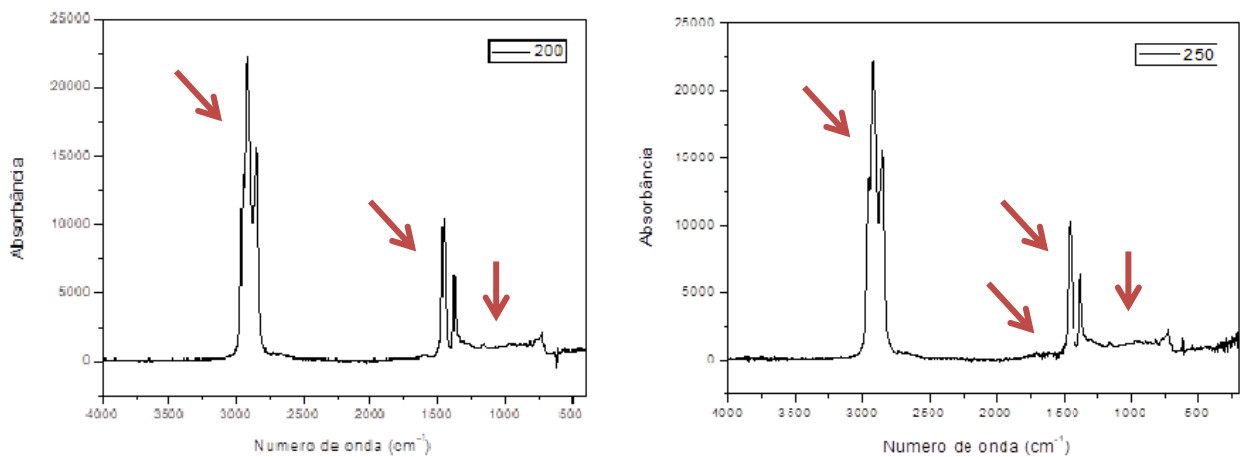


Figura 4: Espectro de absorção na região do infravermelho para as temperaturas 200°C e 250°C.

Óleos de transformadores são suscetíveis à oxidação, o que leva à formação de compostos como ácidos orgânicos (RCOOH), aldeídos (RCHO), ésteres (RCOOR'), cetonas (RCOR'), álcoois (ROH) e peróxidos orgânicos (ROOH). Além disso, quando o óleo do transformador é degradado, aumenta a acidez, o que resulta no aumento das ligações C=O e ligações C=C. Durante a degradação térmica, os compostos naftênicos desidrogenam e formam ligações duplas conjugadas C=C e aromáticos (DEEPA; SARATHI; MISHRA 2006).

Espectros de absorção na região do infravermelho para as diferentes temperaturas do tratamento térmico foram gerados e analisados. As primeiras bandas analisadas estão em um intervalo de comprimento de onda entre 1350 cm⁻¹ e 1500 cm⁻¹. Segundo Kumar (2006), bandas na

região de 1350 a 1650 cm^{-1} indicam a presença de compostos aromáticos devido às vibrações no plano das ligações C=C, resultado da desidrogenação de naftenos.

De acordo com Pavia, Lampman e Kriz (2010), uma forma de confirmar a existência das ligações duplas dos anéis aromáticos é verificar a região associada ao grupo C–H. Omido (2014) mostra que as presenças de compostos alifáticos são identificadas devido às bandas de absorção na região inferior a 3000 cm^{-1} .

Álcoois, fenóis e ácidos carboxílicos são subprodutos da oxidação do óleo mineral isolante (LIPSTEIN e AHAKNOVICH, 1970). Kumar (2006) certifica que o estiramento da ligação C–O de álcoois e fenóis ocorre na região de bandas entre 1000 e 1250 cm^{-1} . O espectro da Figura 4 aponta para um ameno surgimento desses compostos. As bandas referentes ao comprimento de 1620 cm^{-1} demonstram o surgimento de vibrações relativas ao grupo carbonila (C=O), que pode estar associada à vibração do grupo OH de ácidos carboxílicos (NOGUEIRA *et al.* 2016). A existência dessas bandas de absorção pode ser atribuída a reações de oxidação sofrida pelo óleo por descargas parciais. De modo geral, a absorção na região 1.500 a 600 cm^{-1} é associada a diversos tipos de vibração: deformações axiais e angulares de ligações C-O, C-N, C-C e C-X (onde, X são compostos halogênicos).

Diante disso, avaliando os espectros na região do infravermelho, houve evidências da eficiência do procedimento de degradação do OMI, indicadas pelo aumento (mesmo que suave) na quantidade de compostos, evidenciadas pelo aumento de absorção, à medida que avançou a temperatura de tratamento térmico, até 250°C.

4. CONCLUSÃO

O envelhecimento da amostra de óleo mineral isolante foi realizada satisfatoriamente e pode ser comprovada através da alteração da coloração do óleo e surgimentos de compostos oriundos da degradação do óleo, evidenciados pelo aspecto visual e pelas análises de espectroscopia de infravermelho, respectivamente, como exemplo do aparecimento de compostos aromáticos, identificados pelas vibrações de ligações C=C, em região específica do espectro, bem como a presença de vibrações de ligações referente a presença de álcoois, fenóis e ácidos carboxílicos, produtos oriundos das reações ocorridas durante a degradação do OMI novo. Portanto, a utilização de técnicas espectroscópicas, como o infravermelho, são confiáveis e indicadas para avaliação da

degradação termo oxidativa de quaisquer tipos de óleo, a exemplo dos óleos minerais isolantes estudados nesse trabalho.

5. AGRADECIMENTOS

Os méritos deste trabalho são dedicados à Professora Rucilana Cabral, que aceitou orientar-me neste artigo e por sempre dar o seu melhor, fazendo o possível e o impossível para que tudo desse certo. Devo agradecer também ao Professor Dr. Kleber Ricardo de Oliveira Pereira, que tanto nos ajudou no desenvolvimento deste trabalho, seu auxílio com as análises de infravermelho foi fundamental, assim como a Professora Ana Cristina Figueiredo de Melo Costa, coordenadora do LabSMac.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

DEEPA, S.; SARATHI, R.; MISHRA, A. K. Synchronous fluorescence and excitation emission characteristics of transformer oil ageing. *Talanta*, v. 70, n. 4, p. 811- 817, 2006.

FRIEDENBERG, L. E. SANTANA, R. M. C. Propriedades de óleos Isolantes de Transformadores e a Proteção do Meio Ambiente. IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental. 2014.

KUMAR, S. Spectroscopy of organic compounds. Amritsar: Guru Nanak Dev University, 2006. 36 p.

LIPSTEIN, R. A. AHAKNOVICH, M. I. Transformer Oil. Jerusalém, 1970. 225 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14483: Produtos de Petróleo – Determinação da cor – Método colorímetro ASTM. Rio de Janeiro, p. 24. 2005.

NYNÅS, NAPHTENICS AB. Transformer Oil Handbook. 1 ed., Sweden: Linderoths in Vingaker. 2004. 223 p.

NOGUEIRA, I.; SANTOS, M. M. M.; NOGUEIRA, T. A.; NETO, E. T. W.; SALLES, C.; CARNEIRO, T. M. C.; QUEIROZ, A. A. A. Avaliação da Qualidade de Óleos de Transformadores

por Espectroscopia FTIR/ATR e Análise Termogravimétrica. In: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciências dos Materiais, 22, 2016, Natal.

OMIDO, A. R. Monitoramento da Degradação Térmica de óleo Mineral Isolante de Transformador Utilizando Espectroscopia de Absorção e Fluorescência UV-Vis. 2014. 165 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira.

PAVIA, D. L.; LAMPMAN, G. M.; KRIZ, G. S. Introdução à espectroscopia. São Paulo, 2010. 700 p.

SARAIVA, A. C. F. Análise do Enxofre Corrosivo em Óleo Mineral Isolante e Remoção do Dibenzil Dissulfeto com Nanotubos de Carbono Baseados em Matriz Metálica. 2012. 128 p. Dissertação (Doutorado em Engenharia Elétrica). Universidade Federal do Pará, Belém.

ZIRBES, R., ROLIM, J. G., ZÜRN, H. H. Metodologias para Avaliação e Diagnóstico do Estado de Isolamentos de Papel Impregnado com Óleo Mineral. SBA: Controle & Automação. 2005.