

ESTUDO DAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO ÓLEO MINERAL ISOLANTE NA MANUTENÇÃO DE TRANSFORMADORES ELÉTRICOS

Renata Éline de Brás Fontes¹; Eduarda Colares Barbosa Ferreira²; Rucilana Patrícia Bezerra Cabral³

¹ Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo-
renataeline@gmail.com

² Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo-
Eduarda_colares@hotmail.com

³ Universidade Federal de Campina Grande - UFCG, Unidade Acadêmica de Engenharia de Petróleo-
rucilana.cabral@ufcg.edu.br

Resumo

O óleo mineral isolante (OMI) é largamente utilizado em transformadores elétricos com a finalidade de proporcionar a manutenção preditiva do mesmo, evitando falhas ou paradas. A fim de garantir a eficácia da manutenção, é necessário que se conheça as características físico-químicas do OMI, assim como sua reação quando submetido a condições de envelhecimento e desgaste, para que se possa prever quando trocá-lo. O presente trabalho tem por objetivo realizar um estudo sobre alguns tipos de ensaios que são de fundamental importância na detecção de anormalidades das propriedades físico-químicas do óleo mineral isolante, tais como: alto teor de borra, presença de substâncias polares, coloração inadequada, diminuição da capacidade dielétrica e grau de constituintes ácidos. E a partir dos resultados obtidos, pode-se perceber a eficácia e importância desses ensaios para descobrir a qualidade do óleo e a necessidade de substituí-lo ou regenerá-lo a depender das desconformidades apresentadas, evitando assim, prejuízos quanto ao funcionamento dos transformadores.

Palavras-chave: Óleo Mineral Isolante (OMI), Transformadores Elétricos, Manutenção, Ensaios.

1. INTRODUÇÃO

Os transformadores são equipamentos chaves nos sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica, sendo, portanto extremamente essenciais para o padrão de vida e consumo do mundo atual. Qualquer que seja a matriz energética predominante nos diversos países, hídrica, nuclear, eólica ou fóssil, a transmissão e distribuição da energia gerada requer o uso de transformadores elétricos (FERNANDES, 2009).

A manutenção é uma técnica que objetiva a conservação do equipamento, tanto estrutural quanto funcional, no caso de transformadores a manutenção se aplica por meio de suas vertentes corretiva, preventiva e preditiva, de modo a garantir

que o transformador mantenha uma depreciação natural a sua vida útil e não interrompa o fornecimento de energia para a máquina ou sistema que este alimenta (FONSECA, 2014).

Por mais de cem anos, o OMI (Óleo Mineral Isolante) proveniente do refino do petróleo tem sido usado como líquido isolante em transformadores. Muitos bilhões de litros de óleo estão em uso em equipamentos elétricos pelo mundo. A popularidade do OMI é devido a sua disponibilidade e baixo custo. Adicionalmente ele é um excelente meio de isolamento e de resfriamento (CLAIBORNE e CHERRY, 2006).

Durante o funcionamento dos transformadores de potência vários processos de desgaste e de envelhecimento ocorrem no sistema de isolamento. Os efeitos de fadiga térmica, química, elétrica e mecânica, tais como, pontos quentes, sobreaquecimentos, sobre-tensões e vibração são responsáveis por alterações do sistema isolante e devem ser monitorados para garantir a eficiência do equipamento, permitindo intervenções de manutenção preventiva e preditiva, a fim de evitar paradas de máquina e, conseqüentemente, aumento de custos (TULIO, 2008).

O óleo isolante mineral, de base parafínica ou naftênica, é utilizado devido as suas propriedades dielétricas e refrigerantes. Resinas e fibras são empregadas com a finalidade de fixação de componentes isolantes e ferromagnéticos (SCHOLZ, 2013).

Os efeitos de fadiga térmica, química, elétrica e mecânica, tais como, pontos quentes, sobreaquecimentos, sobre tensões, e vibrações são responsáveis por mudanças no sistema isolante e devem ser monitorados a fim de garantir a eficiência do equipamento, permitindo intervenções de manutenção preditiva, para evitar paradas na máquina e, conseqüentemente, aumento de custos (SARAIVA, 2012).

Deste modo, este trabalho tem por objetivo realizar um estudo sobre a importância do óleo mineral isolante, assim como algumas características físico-químicas, para garantir a manutenção de transformadores elétricos.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Transformadores

De acordo com Mamede Filho (2011), transformador é um equipamento de operação estática que por meio de indução eletromagnética transfere energia de um circuito, chamado primário, para um ou mais circuitos denominados, respectivamente, secundário e terciário, sendo, no entanto, mantida a mesma frequência, porém com tensões e correntes diferentes.

O princípio básico de funcionamento de um transformador é o fenômeno conhecido como indução eletromagnética: quando um circuito é submetido a um campo variável, aparece nele uma corrente elétrica cuja intensidade é proporcional às variações do fluxo magnético. Os transformadores, na sua forma simples, consistem de dois enrolamentos de fio (o primário em azul e o secundário em vermelho), que geralmente envolvem os braços de um quadro metálico (o núcleo). Quando uma corrente alternada é aplicada ao primário, produz um campo magnético proporcional à intensidade dessa corrente e ao número de espiras do enrolamento (número de voltas do fio em torno do núcleo). Através do metal, o fluxo magnético quase não encontra resistência e, assim, concentra-se no núcleo, em grande parte, e chega ao enrolamento secundário com um mínimo de perdas. Ocorre, então, a indução eletromagnética: no secundário surge uma corrente elétrica, que varia de acordo com a corrente do primário e com a razão entre os números de espiras dos dois enrolamentos (SIGMA TRANSFORMADORES, 2018).

Com intuito de garantir a sua elevada vida útil de operação os transformadores recebem constantes atividades de manutenção, dentre as mais importantes podemos citar as inspeções semestrais e trienais em buchas, tanques e radiadores, conservadores, termômetros de óleo e/ou enrolamento, sistema de ventilação forçada, sistema de circulação de óleo, comutadores de derivação, caixas de terminais de controle e proteção e ligações externas (Werner Ricardo Voigt - WEG, 2004).

A correta inspeção dos transformadores, é feita através da monitoração do óleo mineral isolante, que são utilizados com a finalidade dielétrica de refrigerar as bobinas do enrolamento, com a retirada do calor das mesmas.

2.2. Óleo Mineral Isolante (OMI)

O óleo mineral é originado da destilação do óleo cru (petróleo), da fração de 300 a 400°C, e pode ser de caráter naftênico (tipo A) ou parafínico (tipo B), dependendo do tipo de petróleo do qual o mesmo é originado, sendo o tipo A mais utilizado em equipamentos de manobra e transformadores. No óleo são realizados diversos ensaios físico-químicos para identificação de alterações no mesmo, tais como: rigidez dielétrica, aparência, teor de água, fator de potência, tensão interfacial, ponto de fulgor, densidade, acidez e a análise de gases dissolvidos em óleo (cromatografia gasosa). Importante na manutenção de transformadores, o óleo mineral tem a função de remover o calor gerado nas bobinas do enrolamento e tem a finalidade dielétrica (isolante elétrico).

Segundo Silva (2013) durante a operação do equipamento, o OMI degrada e mudanças consideráveis ocorrem nas suas propriedades físicas, químicas e elétricas. Como consequências ocorre: alteração nas propriedades isolantes do óleo, aceleração do processo de degradação da celulose e formação de borra (material que se deposita na parte ativa dos transformadores, dificultando a transferência de calor).

Na Tabela 1 são apresentadas algumas características padrões dos OMI, para os óleos tipo A e B, e suas respectivas normas específicas NBR (Normas Brasileiras, aprovadas pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), ASTM (*American Society for Testing and Materials*) e IEC (*International Electrotechnical Commission*).

Características	Norma	Unidade	Valores Garantidos			
			Tipo A		Tipo B	
			Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Densidade 20/4°C	NBR 7148	-	0,861	0,900	-	0,860
Índice de neutralização	ASTM D 974	mgKOH/g	-	0,03	-	-0,03
Tensão interfacial a 25°C	NBR 6234	mN/m	40	-	-	-
Rigidez dielétrica	NBR 6869	kV	30	-	30	-
	IEC 156		-	-	42	-
Teor de inibidor de oxidação DBPC/DBP	ASTM D 2668	% massa	-	0,08	Não Detectável	
Teor de carbonos	ASTM D 2140	%	Anotar		7,0	-
Estabilidade à oxidação		mgKOH/g		0,4		0,4
Índice de neutralização - borra	IEC 74	% massa	-	0,1	-	0,1
Fator de dissipação a 90°C		%		20,0		20,0

Tabela 1: Algumas características padrões do óleo mineral isolante.

Fonte: Adaptado de CARDOSO, 2005a

2.3. Ensaios Físico-Químicos

2.3.1. Índice de Neutralização – ASTM D 974

O Índice de Neutralização é a medida da quantidade de hidróxido de potássio (KOH) necessária para neutralizar os constituintes do óleo. Verificam-se quantos miligramas de KOH são necessários para cada grama de óleo. É uma medida indireta do grau de oxidação do óleo (PAIXÃO, 2006).

2.3.2. Tensão Interfacial – ABNT NBR 6234

Na superfície de separação entre o óleo e a água forma-se uma força de atração entre as moléculas dos dois líquidos que é chamada de tensão interfacial, sendo medida em N/m. Uma diminuição da tensão interfacial indica, com bastante antecedência em relação aos outros métodos, o início da deterioração do óleo (CARDOSO, 2005b).

2.3.3. Estabilidade à Oxidação - IEC 74

Resistência dos óleos minerais isolantes oxidação, quando submetidos a condições aceleradas de envelhecimento.

2.3.4. Teor de Inibidor - ASTM D 2668

Consiste em verificar a presença e o teor de aditivo antioxidante (DBP - di-terc-butil-fenol ou DBPC - di-terc-butil-paracresol) na amostra de óleo. O óleo isolante contendo este tipo de aditivo irá apresentar excelentes resultados no ensaio de estabilidade oxidação, impedindo a verificação da real estabilidade química do produto original (ABNT NBR 12134, 2018).

2.3.5. Rigidez Dielétrica

É a tensão alternada na qual ocorre a descarga disruptiva na camada de óleo situada entre dois eletrodos e em condições perfeitamente determinadas. A rigidez dielétrica do óleo é pouco afetada pela água nele dissolvida. Por outro lado, a água livre em suspensão no óleo diminui acentuadamente sua rigidez dielétrica, sendo que em um óleo deteriorado, a água livre tem maior possibilidade de ficar em suspensão que no óleo novo. Outro fator que contribui para a redução da rigidez dielétrica são as partículas sólidas em suspensão (CARDOSO, 2005b).

2.3.6. Aparência

A aparência do óleo é importante, pois é onde pode-se analisar a cor do óleo, se o óleo é de caráter límpido (novo) ou não, assim como também a presença de impurezas e deposição de sólidos possíveis de serem vistos a olho nu.

3. METODOLOGIA

A realização desse trabalho consistiu em uma análise do estudo, em que Laurentino, Fávere e Martins (2003); Bauer e Veiga (2006) e Neto e Cabral (2017), onde foram analisados dados a respeito do óleo mineral isolante, na manutenção de transformadores, assim como suas propriedades físicas, químicas e elétricas quando submetidos a diversas condições de funcionamento.

4. ESTUDO DE CASO

Laurentino, Fávere e Martins (2003) realizaram ensaios físico-químicos para determinar a resistência de óleos minerais isolantes à oxidação, sob condições aceleradas de envelhecimento, como: determinação do teor de borra, índice de neutralização e tensão interfacial. O óleo mineral isolante do tipo A foi fornecido pela CELESC (distribuidora de energia em Santa Catarina). O ensaio de estabilidade à oxidação foi medido através da tendência de formação de borra, produtos ácidos e polares, formados durante um período pré-estabelecido de envelhecimento. Foi feita a análise de sete amostras, uma em cada tempo: 24, 48, 72, 96, 140, 284 e 306 horas. A tensão interfacial óleo-água é um ensaio usado para se detectar contaminantes polares solúveis. Isso se dá no decorrer dos períodos de envelhecimento do óleo e preserva-se relativamente estável quando a deterioração é ainda moderada, com isso, se a formação de compostos polares aumenta, a interação óleo-água aumenta e a tensão interfacial diminui. Sabe-se que o índice de neutralização de um óleo é a medida dos constituintes ácidos no óleo, dessa forma, à medida que o valor aumenta o óleo vai oxidando, sendo utilizado como parâmetro em conjunto com outros ensaios para determinar o grau de oxidação e quando o óleo deverá ser trocado ou regenerado. Nesse estudo percebeu-se que o índice de neutralização vai aumentando com o tempo de oxidação e a tensão interfacial vai diminuindo; examinando o teor de borra vê-se que ele se mantém constante durante determinado tempo, pois o óleo em presença de DBPC (resultados não comentados) oxida lentamente, a partir do momento que o óleo não apresenta mais aditivos antioxidantes, tende a oxidar rapidamente. Deste modo, pode-se compreender que a partir das análises feitas, que a amostra de óleo estudada após o tempo de 284 horas está fora dos valores padrões aceitáveis, tendo sofrido maior grau de oxidação com deterioração de aditivos, maior concentração do teor de borra e formação exacerbada de compostos polares, o que causou a queda da tensão interfacial.

Segundo Bauer e Veiga (2006) entre uma medição e outra, o óleo deve ficar em repouso por 1 minuto. A partir dos resultados obtidos pode-se concluir que as medidas possuem algum tipo de erro, principalmente as medidas das tensões de ruptura, pois elas possuem, além do erro de medida do ensaiador, erros associados à interferência humana. Isso se deve ao fato de que o óleo apresentou rigidez dielétrica nominal igual a 25kV, mas como a norma exige valor mínimo de 30kV, o óleo foi caracterizado como não conforme. Além de que o mostrador para a leitura das tensões é analógico, com isso erros de leitura causados por um desvio óptico pelo ângulo de visão do observador estão presentes, assim como a menor precisão de um instrumento analógico em comparação a um digital.

Neto e Cabral (2017) realizaram o ensaio de aparência, baseados na Norma MB-351 que diz que a cor muda e escurece à medida que o óleo envelhece, se deteriora ou é contaminado. Com isso, os autores avaliaram três amostras, uma de óleo virgem e as outras duas coletadas de transformadores (A-2016 e A-2017) para serem analisadas. A amostra de óleo virgem continha uma coloração amarelo-pálido transparente, sem nenhum tipo de impurezas e não possuía sólidos em suspensão, indicando que o óleo não está deteriorado ou oxidado. O óleo A-2016, apresentava cor amarelo-alaranjado e similarmente ao óleo virgem estava livre de impurezas ou sólidos em suspensão, mas diferentemente do óleo A-2016, óleo A-2017 de cor alaranjada, mostrou-se bastante deteriorado, devido a alteração da sua cor e presença de sólidos em suspensão e de acordo com os parâmetros exigidos, o óleo A-2017 não pode ser usado em transformadores a fim de evitar falhas ou degradação precoce dos mesmos.

5. CONCLUSÃO

Devido sua elevada importância na manutenção dos transformadores, o óleo mineral isolante (OMI) tem um papel fundamental na vida útil dos equipamentos, pois além de remover o calor gerado nas bobinas ele é um importante elemento isolante. Porém, o OMI está sujeito a sofrer mudanças em suas propriedades físicas, químicas e elétricas com o passar do tempo. Dessa forma, para que ocorra o pleno funcionamento dos transformadores, é necessário que haja uma análise físico-química do óleo utilizado através de ensaios como: índice de neutralização, teor de água, tensão interfacial, rigidez dielétrica e entre outros para a verificação do estado de envelhecimento do óleo.

6. REFERÊNCIAS

BAUER, F. P.; VEIGA, T. N. A. **Experiência 04 Rigidez Dielétrica de Óleo Mineral** Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Elétrica. 2006.

Neto, H. J. F. L.; Cabral, R. P. B. **Avaliação de Óleos Minerais Isolantes de Transformadores Elétricos Através de Técnicas Físico-Químicas e Dielétricas**. XIV CONGRESSO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE. 2017.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 12134. Óleo mineral isolante – Determinação do teor de 2,6 – di – terciário – butil paracresol. 2018. Disponível em: <<https://www.target.com.br/produtos/normas->

tecnicas/28804/nbr12134-oleo-mineral-isolante-determinacao-do-teor-de-26-di-terciario-butil-paracresol> Acesso em: 09 de julho de 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas: NBR 10504. Determinação da Estabilidade a Oxidação. Rio de Janeiro: ABNT, 1988.

CARDOSO, P. M. Adaptação de um Sistema de Medição de Gases Dissolvidos em Óleo Mineral Isolante para Monitoração de Múltiplos Transformadores de Potência. Dissertação submetida à Universidade Federal de Santa Catarina para obtenção do Grau de Mestre em Metrologia, 2005a.

CARDOSO, B. P. Eficiência de Transformadores de Média Tensão. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal de Itajubá. 2005b.

CLAIBORNE, C. C.; CHERRY, D. B. A status update on the use of natural ester (vegetable oil) dielectric fluids in transformers. Anais do 74th Doble International Client Conference, Boston, MA, 2006.

FERNANDES, P. O. Manutenção Preventiva e Preditiva de Transformadores. Apostila SDM do Brasil Ltda, ano 2009.

FONSECA, J. F. Elementos de manutenção de transformadores de potência. 2014. 97 f. Trabalho de Graduação (Graduação em Engenharia Elétrica) – Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá, 2014.

LAURENTINO, C. A., FÁVERE, V. e MARTINS, R. A. Estudo do Comportamento da Oxidação de Óleo Mineral Isolante. Universidade Federal de Santa Catarina. Centro de Ciências Físicas e Matemáticas. Departamento de Química. 2003.

MAMEDE FILHO, J. Manual de equipamentos elétricos. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2011. 778 p.

PAIXÃO, L. A. Avaliação da qualidade do óleo em transformadores com o emprego da função discriminante quadrática. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Paraná. 2006.

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.

SCHOLZ, C. R. Avaliação do Comportamento Dielétrico dos Materiais Isolantes Utilizados
em Transformadores de Distribuição por meio de Espectroscopia Dielétrica -
UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ, 2013.

SIGMA TRANSFORMADORES. Disponível em: <www.sigmatransformadoes.com.br>
Acesso: 27 de junho de 2018.

SILVA, C. D. Avaliação da Interação de Materiais Internos do Transformador com Fluidos
Isolantes Tipo Éster e Óleo Mineral. Universidade Federal do Paraná. 2013.

TULIO, L. Estudo do envelhecimento acelerado de OVI em escala laboratorial. Curitiba, 2008.
123 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante – PRODETEC) – Instituto de Tecnologia para
o Desenvolvimento e Instituto de Engenharia do Paraná.

WEG. Manual de instalação e de manutenção de transformadores. Catálogo. 16p. Blumenau,
2004.