

PALAVRAS-CHAVE

Óleo vegetal isolante, Ésteres naturais, Normalização, COBEI, CE-03:010.02

1.0 - INTRODUÇÃO

Desde a sua criação, em 1908, o Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicação (COBEI) tem se destacado no trabalho de normalização. Em 1940, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) incorporou o COBEI à sua estrutura, como ABNT CB-03, que paralisou suas atividades em 200/2001. Em 2002 o COBEI foi reativado por meio de uma sociedade civil de direito privado, sem fins lucrativos, com prazo de duração indeterminado, sendo mantido por empresas da área Eletro-Eletrônica (Galdeano, 2006). E, no final de 2002 o COBEI passou a representar o Brasil na IEC por intermédio de um acordo com a ABNT. Desde que o COBEI se transformou em entidade jurídica, já produziu mais de 300 normas técnicas (ABNT, 2009).

Os objetivos e finalidades da sociedade são (COBEI, 2009):

- Mobilizar recursos junto às empresas e entidades do complexo eletroeletrônico e afins para sustentação da sociedade visando apoiar as atividades de normalização do complexo eletroeletrônico e afins, no País.
- Prover de suporte técnico e financeiro às atividades de normalização, disponibilizando recursos materiais e humanos para esse fim.
- Incentivar e promover o desenvolvimento e difusão da normalização técnica no País.
- Colaborar com as autoridades no estudo e solução dos problemas que se relacionem com a normalização técnica, no âmbito do complexo eletroeletrônico e afins.
- Firmar convênios ou contratos com instituições e órgãos governamentais no Brasil ou no exterior, que estejam relacionados com os objetivos sociais da sociedade.
- Atuar junto aos órgãos oficiais visando a intensificação do processo de elaboração e revisão de normas técnicas.
- Participar de organismos, sociedades, entidades ou associações nacionais e internacionais, governamentais ou privadas, cujas atividades estejam relacionadas aos objetivos sociais da sociedade.

O processo de elaboração de uma norma se inicia com a manifestação da sociedade brasileira sobre uma determinada necessidade. O comitê brasileiro (CB) ou o organismo de normalização setorial analisa e encaminha a demanda para o sub-comitê (SC) adequado (os sub-comitês são organizados por setores de atividades), que inclui a necessidade no seu Programa de Normalização Setorial (PNS). A seguir é criada uma comissão de estudo (CE) com a participação voluntária dos diversos segmentos da sociedade (produtores, consumidores, universidades, laboratórios, centros de pesquisas e Governo). Esta comissão de estudo (CE) elabora um projeto de norma, com base no consenso de seus participantes. Após, o projeto de norma é submetido à votação nacional entre os associados da ABNT e demais interessados (sociedade). As sugestões recebidas após a votação nacional são analisadas pela CE, após o que é aprovada como norma brasileira, seguindo para a publicação pela ABNT. A norma publicada ser adquirida nos diversos postos de venda da ABNT (MIOMEGA, 2009).

Dados recentes mostram que o COBEI possui, em 2009, 63 sub-comitês ativos (COBEI, 2009). Um destes é o SC de "Isolantes elétricos, gasosos, líquidos e sólidos", designado CE-03:010, que possui 6 comissões de estudo cadastradas, entre estas a de "Outros óleos isolantes (sintéticos e naturais)", designada por CE-03:010.02. Enquadram-se como outros óleos isolantes o PCB (bifenilas policloradas), silicone, ésteres vegetais sintéticos ou naturais, por exemplo. É nesta comissão de estudos, portanto, que são conduzidos os processos de normalização

do OVI. Participam desta comissão representantes de empresas, fabricantes de OVI, fabricantes de equipamentos elétricos, concessionárias de energia elétrica, centros de pesquisa e laboratórios de ensaios em líquidos isolantes, a saber: ABB, ACS, AES, AREVA, BRASTRAFO, CEEE, CELESC, CELG, CELPA, CELTA BRASIL, CEMIG, CEPTEL, CHESF, COOPER POWER SYSTEMS, COPEL, CTEEP, DIAGNO, ELETRONORTE, ELETROSUL, EMAE, FURNAS, ITAIPU, LABOIL, LACTEC, LORENCINI, MGM, MINERALTEC, NYNAS, OILFLEX, SIEMENS, SM CONTROLE DE QUALIDADE, TECLAB, TOSHIBA, TRAFO, TRIBOLAB e WEG.

De acordo com Uhren encontravam-se em operação na América do Sul, até maio de 2007, cerca de 410 transformadores isolados com Envirottemp® FR3™, nas tensões primárias de 440 a 230.000 V e de potência nominal entre 10 a 40.000 kVA (Uhren, 2007). Em 2008, McShane informou que havia mais de 120.000 transformadores de distribuição e mais de 120 transformadores de potência em serviço no mundo (McSchane, 2008). Este panorama mostra claramente a necessidade de elaboração de metodologias de ensaios como ferramentas de suporte aos laboratórios e aos usuários do OVI, bem como diretrizes para supervisão e manutenção deste fluido durante seu uso, em equipamentos elétricos.

2.0 - ATIVIDADES DESENVOLVIDAS PELA COMISSÃO CB-03:010.02

2.1 Especificação de óleo vegetal isolante novo

O primeiro documento elaborado pela CE-03:010.02 foi a norma ABNT NBR 15422 que trata da especificação de OVI para equipamentos elétricos (ABNT NBR 15422, 2006). Esta norma foi elaborada com base no estudo realizado pela força tarefa FT-02 do grupo GT D1.01 do CIGRÉ, responsável pela definição dos ensaios de aceitação deste fluido, e na norma ASTM D6871, publicada em 2003. O início da elaboração do projeto se deu em maio de 2004 sendo o projeto finalizado em dezembro de 2004. A norma foi publicada em novembro de 2006, após submissão a três consultas públicas.

Os óleos vegetais isolantes novos quando ensaiados segundo os métodos indicados na norma ABNT NBR 15422, devem apresentar características com valores limites especificados na Tabela 1.

No PNS de 2009 está prevista a revisão da norma ABNT NBR 15422 pela comissão de estudo. Um dos itens que voltará a mesa de discussão será o ensaio de estabilidade a oxidação. Óleos vegetais isolantes de diferentes fabricantes atendem a especificação da norma ABNT NBR 15422, mas não é esperado o mesmo desempenho para estes óleos frente a agentes de envelhecimento. Pois, a estabilidade a oxidação está relacionada com a composição química do óleo base, a concentração e o(s) tipo(s) de aditivo(s) adicionado(s) pelos fabricantes. Não existe ainda um procedimento nacional ou internacional normalizado para avaliar a estabilidade à oxidação de óleos vegetais isolantes. Como no mercado existem óleos vegetais isolantes de diferentes procedências, a elaboração, validação e divulgação de um procedimento técnico adequado para avaliar a estabilidade a oxidação comparativa destes é importantíssima para as empresas usuárias destes produtos, por exemplo. Segundo Wilhelm e Stocco o método condutivimétrico, testado no equipamento Rancimat, pode ser utilizado como ferramenta analítica para análise comparativa da estabilidade à oxidação de óleos vegetais isolantes (Wilhelm e Stocco, 2009).

Existe uma força tarefa internacional do Comitê Internacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica (CIGRE), a FT 17, do SC D1.01, que está investigando a estabilidade a oxidação de óleos isolantes para transformadores (CIGRE, 2009). Nesta força tarefa diferentes óleos, incluindo os ésteres, estão sendo investigados por diferentes métodos de ensaio.

Tabela 1 - Características do OVI novo (ABNT NBR 15422, 2006).

Características	Unidade	Método de ensaio	Valor especificado
Aspecto visual	-	-	O óleo deve ser claro, límpido e isento de materiais em suspensão
Cor	-	ABNT NBR 14483	1,0 máximo
Densidade relativa a 20/4°C	-	ABNT NBR 7148	0,96 máximo
Viscosidade cinemática 20°C 40°C 100°C	cSt	ABNT NBR 10441	150 máximo 50 máximo 15 máximo
Ponto de fulgor	°C	ABNT NBR 11341	275 mínimo
Ponto de combustão	°C	ABNT NBR 11341	300 mínimo
Ponto de fluidez	°C	ABNT NBR 11349	- 10 máximo
Rigidez dielétrica Eletrodo de disco Eletrodo de calota	kV	ABNT NBR 6869 ABNT NBR IEC 60156	30 mínimo 42 mínimo
Rigidez dielétrica a impulso	kV	ASTM D 3300	130 mínimo
Fator de perdas dielétricas 25°C 90°C 100°C	%	ABNT NBR 12133	0,20 máximo 3,6 máximo 4,0 máximo
Enxofre corrosivo	-	ABNT NBR 10505	Não corrosivo
Índice de neutralização	mg KOH/g	ABNT NBR 14248	0,06 máximo
Teor de água	mg/kg	ABNT NBR 10710 - Método B	200
Teor de PCB (bifenila policlorada)	mg/kg	ABNT NBR 13882 - Método B	Não detectável

FONTE: ABNT NBR 15422, 2006.

2.2 Diretrizes para supervisão e manutenção de óleo vegetal isolante em uso, em equipamentos elétricos

Em 2007 a CE-03:010.02 iniciou a elaboração de um documento contendo as diretrizes para supervisão e manutenção de OVI em uso, em equipamentos elétricos (projeto 03:010.02-028). A elaboração do projeto foi iniciada tendo como base, na época, a 11ª versão do draft da norma IEEE. Em 2008 foi dada continuidade a elaboração deste documento pela comissão. Em 14 de julho de 2008 a IEEE publicou o documento "Guia IEEE para aceitação e manutenção de fluidos de ésteres naturais em transformadores" (IEEE, 2008). Ambos os documentos, o publicado pela IEEE e o em elaboração pela CE-03:010.02, contemplam desde a citação e descrição dos ensaios realizados no OVI e de seu significado, até as práticas de enchimento, manuseio e de manutenção do fluido isolante durante seu uso. Valores de referência para óleos vegetais isolantes novos, após o enchimento e em uso também são apresentados nesses documentos.

Na Tabela 2 estão mostrados os valores limites sugeridos para o OVI em equipamentos novos, após a energização (IEEE, 2008). Os parâmetros cujos valores diferem para o OVI novo, sem contato ainda com o equipamento (Tabela 1), são a rigidez dielétrica, o fator de perdas dielétricas e o teor de água.

Tabela 2 - Valores limites para ésteres naturais recebidos em equipamentos novos, abaixo de 230 kV, após energização^a.

Testes e métodos ASTM	Classe de Tensão	
	≤ 69 kV	> 69kV < 230kV
Características		
Rigidez dielétrica ^b , ASTM D1816 kV, mínima, espaçamento 1 mm	25	30
espaçamento 2 mm	45	52
Fator de perdas dielétricas (fator de dissipação), ASTM D924, %, máximo, a 25 °C	0,5	0,5
Cor, ASTM D1500, unidades ASTM, máximo	L1,0	L1,0
Inspeção visual, ASTM D1524	Claro e límpido	Claro e límpido
Número de neutralização (acidez), ASTM D974, mg KOH/g, máximo	0,06	0,06
Teor de água, ASTM D1533, mg/kg, máximo	300	150
Ponto de combustão, ASTM D92, °C	300	300
Viscosidade cinemática, ASTM D445, mm ² /s (cSt) a 40 °C, máximo	50	50

^a Os valores limites apresentados nesta tabela aplicam-se aos óleos vegetais isolantes. Devido às diferenças na sua composição química, certos valores são significativamente diferentes dos limites para óleo mineral isolante. Valores típicos para cada fluido podem ser obtidos junto ao fabricante. Se os resultados dos ensaios, embora em conformidade com esta tabela, forem significativamente diferentes dos valores típicos publicados, recomenda-se que o fabricante do óleo seja contatado.

FONTE: IEEE, 2008.

Túlio indicou três principais parâmetros para monitorar o envelhecimento do OVI: viscosidade, índice de neutralização e fator de perdas dielétricas (Túlio, 2008), que estão em acordo com os publicados pela IEEE (IEEE, 2008). Na Tabela 3 estão mostrados os parâmetros recomendados pela IEEE, que devem ser monitorados para o OVI em uso e os valores limites para estes (IEEE, 2008). Dentre os parâmetros citados, somente o teor de água varia com a classe de tensão dos equipamentos, numa faixa de 400 ppm (≤ 69 kV) a 150 ppm (230 kV e acima). Intervenções devem ser conduzidas quando qualquer um dos parâmetros citados na Tabela 3 for atingido. Por exemplo, quando o fator de perdas dielétricas alcançar valores iguais ou superiores a 3%, a 25 °C; ou o aumento da viscosidade for igual ou superior a 10% do valor do óleo no momento da energização inicial; ou quando o índice de neutralização foi superior ou igual a 0,3 mg KOH/g óleo. O monitoramento do ponto de fulgor é importante em processos de substituição do óleo mineral isolante pelo OVI.

Quanto ao monitoramento do conteúdo de inibidor, não existe, por enquanto, um procedimento nacional ou internacional normalizado para este ensaio.

Tabela 3 - Diretrizes provisórias para os valores das principais propriedades de óleos vegetais isolantes em uso para intervenção em campo^{a,b}.

Ensaio e Método ASTM	Classe de Tensão		
	≤ 69 kV	> 69kV < 230kV	230 kV e acima
Fator de dissipação (fator de potência), ASTM D924, a 25°C, %	≥3	≥3	≥3
Teor de água, ASTM D1533, mg/kg	≥400	≥200	≥150
Aumento de viscosidade a partir do valor no momento da energização inicial, ASTM D445, a 40°C, %	≥10	≥10	≥10
Índice de Neutralização, ASTM D974, mg KOH/g	≥0,3	≥0,3	≥0,3
Ponto de fulgor, ASTM D92, °C	≤275	≤275	≤275
Cor, ASTM D1500	≥1,5	≥1,5	≥1,5
Conteúdo de Inibidor	c	c	c

^a Aplica-se somente a transformadores originalmente projetados e enchidos com óleo vegetal novo.

^b Estes valores estão baseados em ensaios de envelhecimento acelerado muito limitados e em amostras de campo coletadas em um período de 10 anos.

^c Contate o fabricante do óleo para conhecer o método de ensaio e os valores limites do inibidor.

FONTE: IEEE, 2008.

2.3 Compatibilidade do óleo vegetal isolante com materiais internos do transformador

Até o momento não existe um procedimento testado, validado e normalizado para o ensaio de compatibilidade em OVI. Wilhelm e colaboradores realizaram ensaios de compatibilidade usando o procedimento da norma ABNT NBR 14274 e observaram, que alguns dos materiais testados mostraram-se incompatíveis com o OVI quando aplicados os critérios descritos nesta norma, específicos para óleo mineral isolante (Wilhelm, 2006 e 2008). Os autores sugeriram a criação de um procedimento de ensaio específico para OVI e a definição de valores de referência para o OVI envelhecido na ausência e na presença dos corpos de prova.

Em 2008, foi iniciado na comissão da CE-03:010.02 o projeto de norma "Determinação da compatibilidade de materiais empregados com óleo vegetal isolante" (projeto 03:010.02-029). Neste projeto estão sendo avaliados:

- Os procedimentos a serem adotados na execução do ensaio.
- Os ensaios que deverão ser realizados no óleo e/ou nos corpos de prova.
- Os valores de referência para o OVI envelhecido na ausência e na presença do material em teste (prova branca).
- Os valores limites para emissão de diagnóstico.

Foi criado um grupo de trabalho (GT) na comissão para avaliar e discutir em conjunto com os demais participantes da comissão os itens acima descritos. Até o momento foi definido pelo GT que os materiais secos deverão ser imersos no fluido isolante, em frascos de boca larga (capacidade de 1000 ml), com tampa esmerilhada (Figura 1). Também foi definido o tempo de borbulhamento do gás nitrogênio. Foi constatado que a eficiência

máxima na remoção do oxigênio no OVI é atingida após 10 minutos de borbulhamento do gás nitrogênio com auxílio de uma pipeta, independente da concentração inicial de oxigênio dissolvido no fluido dielétrico.



Figura 1 - Exemplo de um frasco de boca larga (capacidade de 1000 ml), com tampa esmerilhada.

Ensaios de envelhecimentos estão sendo conduzidos pelo GT utilizando as seguintes condições e proporções entre os materiais testados e o fluido isolante, baseado na norma ABNT NBR 14274, parte B:

- Prova em branco (somente o óleo): 800 ml de óleo vegetal isolante;
- tinta: 1300 cm² de placas pintadas com a tinta teste em 800 ml de óleo vegetal isolante;
- papel: 52 cm² em 800 ml de óleo vegetal isolante;
- presspan: 52 cm² em 800 ml de óleo vegetal isolante;
- borracha: 65 cm² em 800 ml de óleo vegetal isolante.

Esses testes permitiram identificar, num primeiro momento, os ensaios que devem ser realizados no óleo vegetal envelhecido, após os ensaios de compatibilidade, sendo estes: cor; viscosidade; índice de neutralização e fator de perdas dielétricas.

A finalização do projeto está prevista para a última reunião de 2009, sendo a submissão para consulta pública prevista para o final de 2009.

2.4 Determinação de PCB em líquidos isolantes elétricos

Em 2008, a comissão submeteu para publicação o projeto de revisão da norma ABNT NBR 13882, intitulado "Líquidos isolantes elétricos - Determinação do teor de bifenilas policloradas (PCB)". Nesta revisão foi excluído o método de determinação de PCB por potenciometria ficando o ensaio limitado ao método cromatográfico. Também foi incluído um procedimento especial para o ensaio de determinação de PCB em OVI. Para realização deste ensaio no OVI, a extração do PCB deve ser feita com ácido sulfúrico. A referida norma entrou em vigor a partir de outubro de 2008, data da sua publicação (ABNT NBR 13882).

3.0 - CONCLUSÃO

A CE-03:010.02 vem somando esforços para disponibilizar metodologias de ensaios como ferramentas

de suporte aos laboratórios e aos usuários OVI, bem como diretrizes para supervisão e manutenção deste fluido durante seu uso, em equipamentos elétricos. O uso do OVI é uma realidade no setor elétrico nacional. Seu uso em transformadores de distribuição está consolidado. O uso em equipamentos de potência está sendo investigado por várias concessionárias de energia e instituições de pesquisa. O trabalho da comissão CE 03:010.02 é fundamental para garantir a expansão sustentada do OVI no setor elétrico.

4.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. www.abnt.org.br, acessado em 02/03/2009.
- (2) ABNT NBR 13882. **Líquidos isolantes – Determinação do teor de bifenilas policloradas (PCB)**. 2008, 10 p.
- (3) ABNT NBR 15422. **Óleo vegetal isolante para equipamentos elétricos**. 2006, 8 p.
- (4) CIGRE - Comitê Internacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica. www.cigre.org, acessado em 26/02/2009.
- (5) COBEI - Comitê Brasileiro de Eletricidade, Eletrônica, Iluminação e Telecomunicações. www.cobei.org.br, acessado em 23/02/2009.
- (6) Galdeano, C. **III WORKSHOP DE QUÍMICA E MEIO AMBIENTE DA ELETRONORTE**. 2006.
- (7) IEEE - INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, INC. C57.147™. Guide for acceptance and maintenance of natural ester fluids in transformers. 2008, 31p.
- (8) MIOMEGA, http://www.miomega.com.br/miomega/html/normas/normalizacao/filosofia_da_normalizacao.htm. acessado em 27/02/2009.
- (9) Tulio, L. **Dissertação de Mestrado**. Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia do LACTEC em parceria com o IEP. 2008, 105 p.
- (10) Uhren, W. **Dissertação de Mestrado**. Mestrado Profissional do Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento de Tecnologia do LACTEC em parceria com o IEP. 2007, 124 p.
- (11) Wilhelm, H. M. **Workshop CEPTEL - Óleo Vegetal Isolante**, Rio de Janeiro – RJ jun, 2008.
- (12) Wilhelm, H. M., Stocco, G. **Brochura submetida para publicação pelo CIGRE**, 2009, 7 p.
- (13) Wilhelm, H. M. et al. **III Workshop de Química e Meio Ambiente**, Belém – PA, ago/set, 2006.

5.0 - AGRADECIMENTOS

Ao COBEI, aos membros participantes da comissão CE – 03:010.02; ao CNPq, pela concessão da bolsa de produtividade em pesquisa a Helena Maria Wilhelm.