



**XXIV SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

CB/GTM/17

22 a 25 de outubro de 2017
Curitiba - PR

GRUPO -13

**GRUPO DE ESTUDO TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES -
GTM**

**ENSAIOS DE COMPATIBILIDADE DE ÓLEO À BASE DE CANA-DE-AÇÚCAR COM PAPÉIS ISOLANTES,
VEDAÇÕES E TINTAS**

**Armando Bassetto Filho
ZHZ P&D**

**Milton Marques Júnior
MGM**

**Lázaro Partamian Carriel (*)
ZHZ P&D**

**Claudio Aparecido Galdeano
MGM**

**José Hugo Aguiar
ZHZ P&D**

**Eduardo Heraldo dos Santos Silva
AES Tietê Energia**

RESUMO

Novos óleos isolantes foram desenvolvidos por meio da fermentação do caldo de cana-de-açúcar e da obtenção de óleo base constituído pelo β -farnaceno ($C_{15}H_{24}$). Dentre o conjunto de ensaios para avaliação mais detalhada dos óleos à base de cana-de-açúcar, o presente estudo visou a avaliar, em ensaios de envelhecimento acelerado de laboratório, a compatibilidade de dois tipos de óleo à base de cana-de-açúcar desenvolvidos (aqui denominados "Óleo 1" e "Óleo 2") com os principais materiais empregados em transformadores. Para tanto, foram utilizados diferentes tipos de isolamento sólido (papel *kraft* neutro, termoestabilizado e poliaramida), tintas (mono e bicomponentes) e elastômeros (nitrílico, fluorossilicone e sintético PTFE), o que permitiu determinar o efeito de cada um desses materiais sobre as condições físico-químicas dos óleos à base de cana-de-açúcar. Com base nos resultados obtidos, observou-se que o elastômero fluorossilicone é incompatível com os dois tipos óleos. Ao passo que o elastômero nitrílico (dureza 65) é incompatível com o Óleo 1. Todos os demais materiais ensaiados foram compatíveis com os dois tipos de óleo.

PALAVRAS-CHAVE

Transformador, isolamento, envelhecimento, papel isolante, vedações, tintas, óleo à base de cana-de-açúcar.

1.0 - INTRODUÇÃO

A partir da fermentação do caldo de cana, utilizando leveduras cujo metabolismo é geneticamente programado para converter em óleo os açúcares presentes no caldo (e não em etanol, como no processo convencional de fermentação), obtém-se um óleo base, constituído pelo β -farnaceno ($C_{15}H_{24}$), um hidrocarboneto que pode ser hidrogenado para produção de óleo diesel ou combustível de avião, bem como ser usado como precursor químico em uma variedade de mais de 50.000 aplicações. Dentre estas aplicações está o óleo isolante de transformadores, objeto do presente estudo.

Estudos de laboratório preliminares (realizados pelo fabricante) mostraram que o óleo possuía atributos que podem diminuir o custo de operação e melhorar o desempenho de sistemas de distribuição de energia elétrica, ressaltando a biodegradabilidade, que poderia reduzir os impactos ambientais; a estabilidade oxidativa, que garante maior vida útil do óleo e dos materiais do transformador, assim como permitiria eventual reutilização, reduzindo assim a quantidade total de óleo usado; a alta eficiência como óleo isolante, em razão da capacidade de transferência de calor, que possibilitaria, eventualmente, o aumento de carga nos equipamentos existentes ou novos.

Para iniciar a comercialização, o óleo precisava ser testado e validado em campo (aplicado em transformadores de diferentes classes de tensão), assim como deveriam ser feitos ensaios de compatibilidade com materiais internos.

(*) ZHZ Pesquisa e Desenvolvimento Ltda. – Rua Inês de Castro, 201 – Campinas (SP) – CEP 13.075-370 Tel.: (19) 3242-0840 – E-mail: lpcarriel@uol.com.br

Portanto, o óleo básico está em desenvolvimento, mas suas características não haviam ainda sido analisadas em condições de envelhecimento acelerado de laboratório simulando as condições de campo. Tampouco tinha sido feito algum estudo de campo.

Para dar início aos estudos, desde logo o fabricante forneceu duas pequenas amostras dos dois tipos de óleo isolante à base de cana-de-açúcar (dois baldes de aproximadamente 17 litros cada um). Estas amostras eram compostas por um balde de Óleo 1 e um balde de Óleo 2, as quais foram utilizadas em ensaios físico-químicos dos óleos e em outros ensaios previstos no presente estudo. A diferença básica entre estes dois tipos de óleo é que o Óleo 1 é mais viscoso que o Óleo 2, conseqüentemente o ponto de combustão do Óleo 1 é mais elevado do que o do Óleo 2.

Dentre o conjunto de ensaios para avaliação mais detalhada dos óleos à base de cana-de-açúcar, o presente estudo visou a avaliar, em ensaios de envelhecimento acelerado de laboratório, a compatibilidade dos dois tipos de óleo à base de cana-de-açúcar desenvolvidos com diferentes tipos de isolamento sólido (papel *kraft* neutro, termoestabilizado e poliaramida), tintas (mono e bicomponentes) e elastômeros (nitrílico, fluorossilicone e sintético PTFE), determinando o efeito de cada um desses materiais sobre as condições físico-químicas dos óleos à base de cana-de-açúcar.

2.0 - PARTE EXPERIMENTAL

A norma brasileira NBR 14274-2013 [1] estabelece o método de ensaio para determinação da compatibilidade dos materiais utilizados em equipamentos elétricos isolados com óleo mineral isolante. Assim, utilizou-se essa norma como referência para a execução dos ensaios de compatibilidade empregando os fluidos à base de cana-de-açúcar Óleo 1 e Óleo 2.

Essa norma determina que o óleo seja envelhecido a 100 °C durante 164 horas. O óleo deve ser envelhecido tanto sem a adição de nenhum material (ensaio denominado de “**prova em branco**” ou “**óleo em branco**”) quanto com a inclusão do material a ser avaliado. A quantidade de material sólido deve ter 52 cm² de área superficial para 800 ml de óleo, de acordo com o estabelecido na norma NBR 14274. O ensaio foi feito para cada um dos materiais separadamente.

Ao fim do envelhecimento devem ser feitos quatro ensaios em duplicata (fator de perdas a 90 °C, índice de neutralização, tensão interfacial e cor), cujos resultados devem atender aos requisitos da norma (TABELA 1) tanto para o óleo em branco quanto para o óleo em contato com o material sendo avaliado.

TABELA 1. Valores limites após o ensaio de compatibilidade conforme NBR 14274.

Ensaio	Método	Unidade	Final Para o Óleo em Branco	Varição Máxima Admissível no Final Entre a Amostra e o Branco
Fator de perdas a 90 °C	NBR 12133 [2]	%	1,1 máximo	Aumento máximo de 0,5
Índice de neutralização	NBR 14248 [3]	mg KOH/g óleo	0,03 máximo	Aumento máximo de 0,02
Tensão interfacial	NBR 6234 [4]	mN/m	38,0 mínimo	Decréscimo máximo de 10%
Cor	NBR 14483 [5]		0,5 máximo	Aumento de 0,5

A TABELA 2 apresenta as informações dos materiais empregados nos ensaios de compatibilidade.

TABELA 2. Materiais empregados nos ensaios de compatibilidade.

Nome	Composição
Tinta monocomponente	Epóxi modificado
Tinta bicomponente	Epóxi amina
Elastômero sintético PTFE	Politetrafluoretileno reestruturado
Elastômero fluorossilicone	Fluorossilicone
Elastômero nitrílico (dureza 65)	Borracha de acrilonitrila-butadieno
Elastômero nitrílico (dureza 70)	Borracha de acrilonitrila-butadieno
Papel <i>kraft</i> neutro (0,10 mm de espessura)	Celulose
Papel <i>kraft</i> termoestabilizado (0,06 mm de espessura)	Celulose
Papel (0,06 mm de espessura)	Poliaramida

A FIGURA 1 apresenta amostras de elastômero nitrílico (dureza 65), elastômero nitrílico (dureza 70), elastômero fluorossilicone, elastômero sintético PTFE, tinta monocomponente e tinta bicomponente antes do ensaio de envelhecimento acelerado. A FIGURA 2 apresenta amostras de papel *kraft* neutro, papel *kraft* termoestabilizado e papel poliaramida antes do ensaio de envelhecimento acelerado.

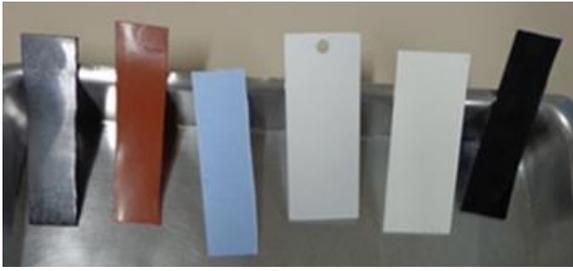


FIGURA 1

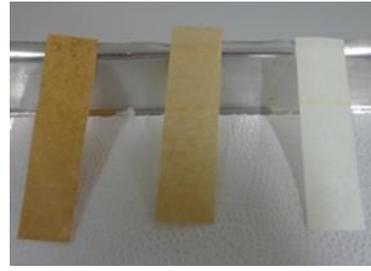


FIGURA 2

Na FIGURA 3, pode-se ver alguns frascos com amostras de material antes de serem colocados em estufa. A FIGURA 4 mostra o interior da estufa com os frascos colocados para início do ensaio de envelhecimento acelerado.



FIGURA 3



FIGURA 4

A FIGURA 5 apresenta amostras de elastômero nitrílico (dureza 65), elastômero nitrílico (dureza 70), elastômero fluorossilicone, elastômero sintético PTFE, tinta monocomponente e tinta bicomponente após o ensaio de envelhecimento acelerado. A FIGURA 6 apresenta amostras de papel *kraft* neutro, papel *kraft* termoestabilizado e papel poliamida após o ensaio de envelhecimento acelerado.

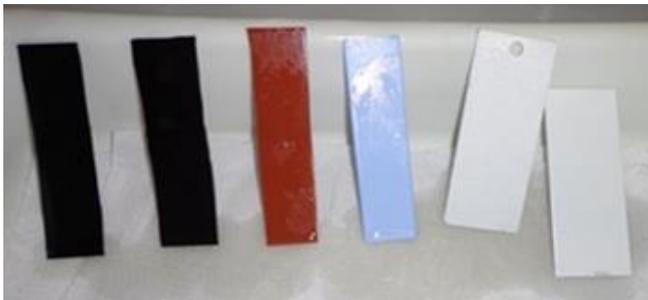


FIGURA 5

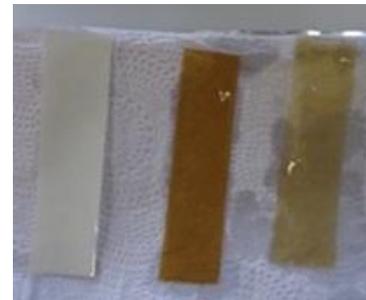


FIGURA 6

3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Resultados do Ensaio de Compatibilidade dos Materiais Analisados com o Óleo 1

As FIGURAS 7 a 9 apresentam os resultados obtidos no ensaio de compatibilidade de materiais com o Óleo 1.

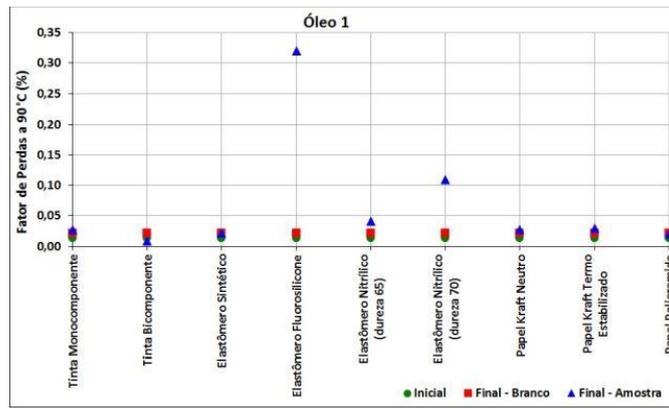


FIGURA 7. Efeito dos diferentes materiais testados sobre o fator de perdas do Óleo 1.

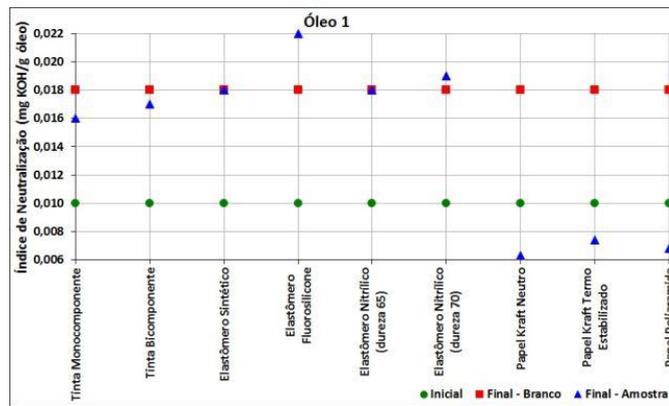


FIGURA 8. Efeito dos diferentes materiais testados sobre o índice de neutralização do Óleo 1.

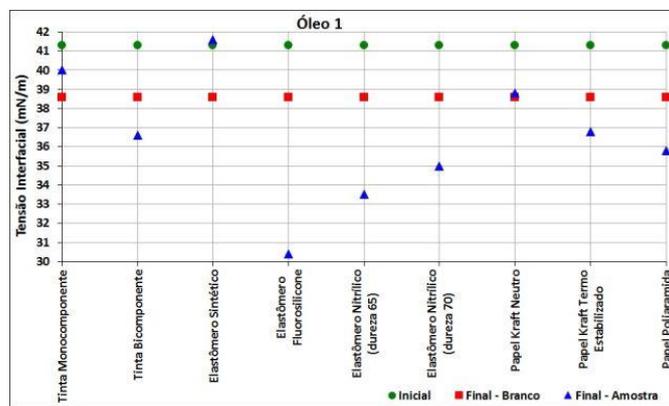


FIGURA 9. Efeito dos diferentes materiais testados sobre a tensão interfacial do Óleo 1.

3.2 Resultados do Ensaio de Compatibilidade dos Materiais Analisados com o Óleo 2

As FIGURAS 10 a 12 apresentam os resultados obtidos no ensaio de compatibilidade de materiais com o Óleo 2.

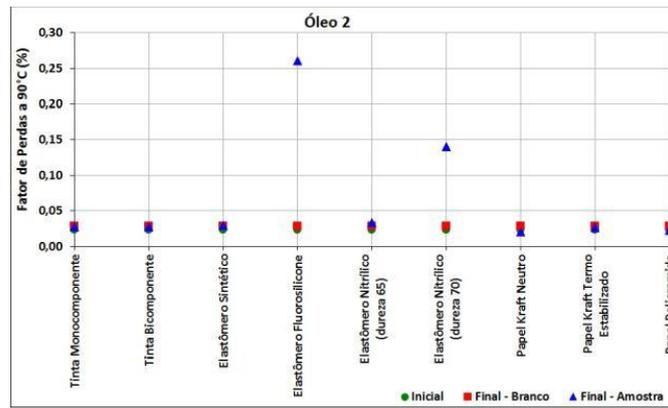


FIGURA 10. Efeito dos diferentes materiais testados sobre o fator de perdas do Óleo 2.

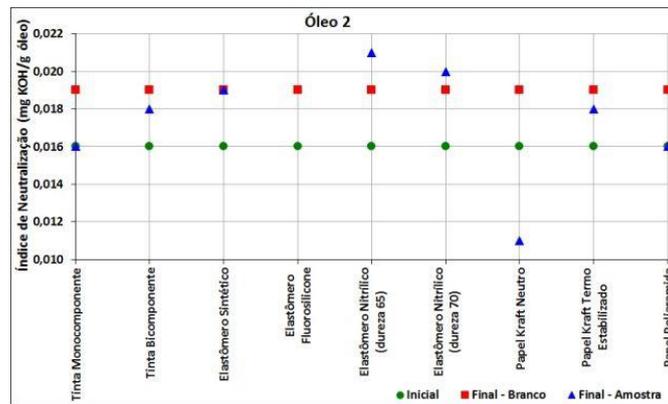


FIGURA 11. Efeito dos diferentes materiais testados sobre o índice de neutralização do Óleo 2.

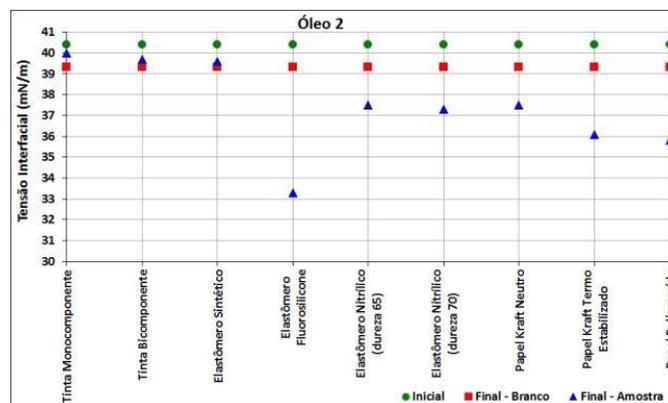


FIGURA 12. Efeito dos diferentes materiais testados sobre a tensão interfacial do Óleo 2.

3.3 Variação de Parâmetros

3.3.1 Variação do Fator de Perdas

As FIGURAS 13 e 14 apresentam as variações dos fatores de perdas a 90 °C dos dois tipos de óleo na presença de cada um dos materiais analisados.

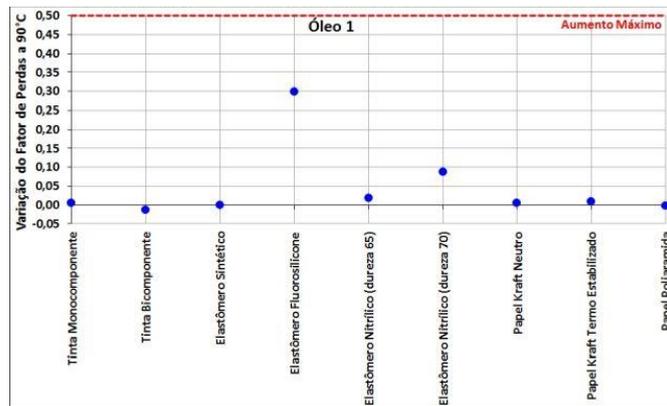


FIGURA 13. Variação do fator de perdas do Óleo 1.

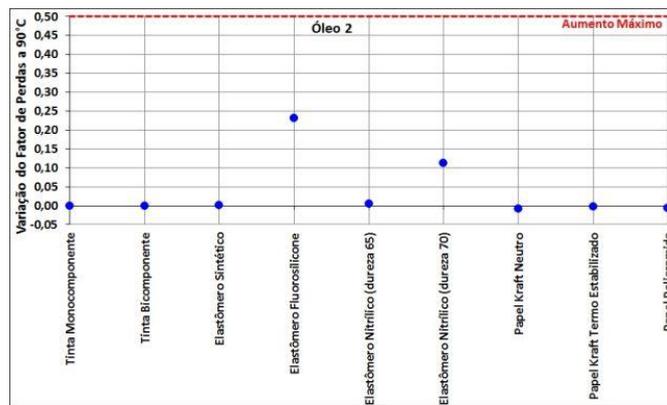


FIGURA 14. Variação do fator de perdas do Óleo 2.

3.3.2 Variação do Índice de Neutralização

As FIGURAS 15 e 16 apresentam as variações dos índices de neutralização dos dois tipos de óleo na presença de cada um dos materiais analisados.

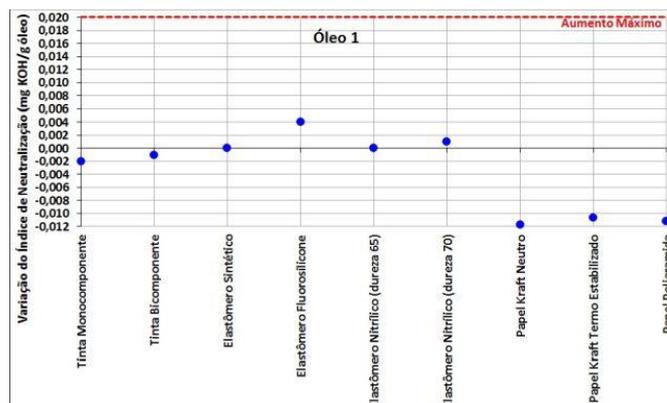


FIGURA 15. Variação do índice de neutralização do Óleo 1.

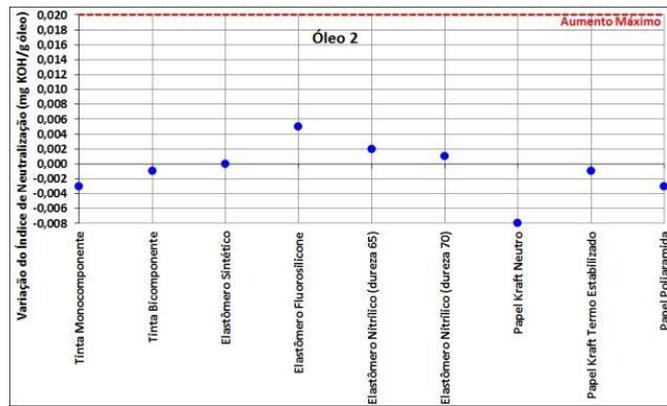


FIGURA 16. Variação do índice de neutralização do Óleo 2.

3.3.3 Variação da Tensão Interfacial

As FIGURAS 17 e 18 apresentam as variações das tensões interfaciais dos dois tipos de óleo na presença de cada um dos materiais analisados.

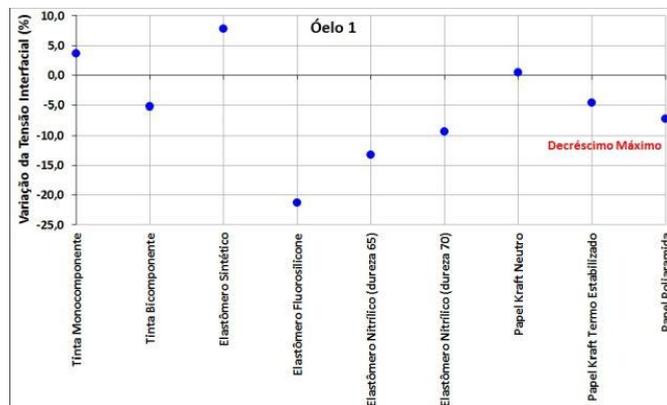


FIGURA 17. Variação da tensão interfacial do Óleo 1.

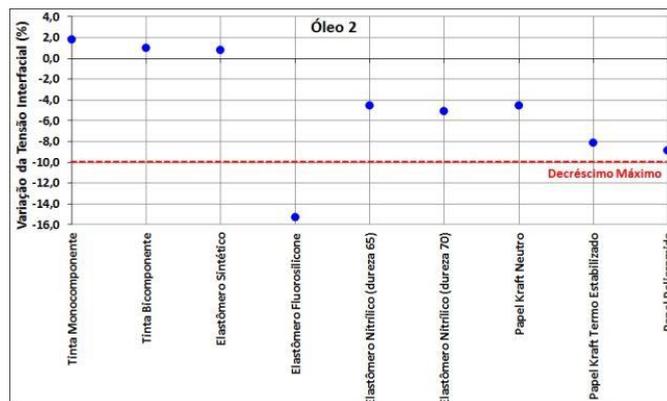


FIGURA 18. Variação da tensão interfacial do Óleo 2.

A TABELA 3 apresenta os resultados dos ensaios de compatibilidade para os materiais analisados.

TABELA 3. Materiais empregados nos ensaios de compatibilidade com os dois tipos de óleos de cana-de-açúcar.

Material	Compatibilidade	
	Óleo 1	Óleo 2
Tinta monocomponente	Compatível	Compatível
Tinta bicomponente	Compatível	Compatível
Elastômero sintético PTFE	Compatível	Compatível
Elastômero fluorossilicone	Incompatível	Incompatível
Elastômero nitrílico (dureza 65)	Incompatível	Compatível
Elastômero nitrílico (dureza 70)	Compatível	Compatível
Papel <i>kraft</i> neutro (0,10 mm de espessura)	Compatível	Compatível
Papel <i>kraft</i> termoestabilizado (0,06 mm de espessura)	Compatível	Compatível

Com base nos resultados obtidos, observou-se que o elastômero fluorossilicone é incompatível com os dois tipos de óleos. Ao passo que o elastômero nitrílico (dureza 65) é incompatível com o Óleo 1.

Os materiais compatíveis com os dois tipos de óleos foram elastômero nitrílico (dureza 70), elastômero sintético PTFE, tinta monocomponente tinta bicomponente e os papéis *kraft* neutro, *kraft* termoestabilizado e poliaramida.

4.0 - CONCLUSÃO

Tendo como base a norma brasileira NBR 14274-2013 [1], no presente estudo avaliou-se, em ensaios de envelhecimento acelerado de laboratório, a compatibilidade dos dois tipos de óleo à base de cana-de-açúcar desenvolvidos com diferentes tipos de isolamento sólido (papel *kraft* neutro, termoestabilizado e poliaramida), tintas (mono e bicomponentes) e elastômeros (nitrílico, fluorossilicone e sintético PTFE), determinando o efeito de cada um desses materiais sobre as condições físico-químicas dos óleos à base de cana-de-açúcar.

Dentre os materiais analisados, o elastômero fluorossilicone foi incompatível com os dois tipos de óleos, bem como o elastômero nitrílico (dureza 65) o foi com o Óleo 1.

Os resultados obtidos permitiram concluir que os materiais ensaiados e considerados “incompatíveis” podem afetar a qualidade dos óleos à base de cana-de-açúcar e, portanto, não são recomendados para uso em equipamentos isolados com esse tipo de fluido.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Óleo Mineral Isolante - Determinação da Compatibilidade de Materiais Empregados em Equipamentos Elétricos, NBR 14274:2013. Rio de Janeiro, Out/2013. p. 4.
- [2] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Líquidos Isolantes Elétricos - Determinação do Fator de Perdas Dielétricas e da Permissividade Relativa (Constante Dielétrica) - Método de Ensaio, NBR 12133:1992. Rio de Janeiro, Jan/1992. p. 8.
- [3] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Produtos de Petróleo - Determinação do Número de Acidez e de Basicidade - Método do Indicador. NBR 14248:2009. Rio de Janeiro, Jun/2009. p. 15.
- [4] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Óleo mineral isolante - Determinação da Tensão Interfacial de Óleo-Água Pelo Método do Anel - Método de Ensaio, NBR 6234:2015. Rio de Janeiro, Jan/2015. p. 8.
- [5] ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas - Produtos de Petróleo - Determinação da Cor - Método do Colorímetro ASTM, ABNT 14483:2015. Rio de Janeiro, Abr/2015. p. 7.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Armando Bassetto Filho nasceu em Campinas (SP) em 1958. Possui graduação em Ciências Químicas pela Universidade Metodista de Piracicaba (1992), graduação em Engenharia Civil pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (1982) e doutorado em Química (Química Analítica) pelo Instituto de Química de São Carlos (1998), da Universidade de São Paulo. Trabalhou 23 anos no Departamento de Manutenção da CPFL. Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Sistemas Elétricos de Potência, atuando principalmente nos seguintes temas: transformador de potência, vida útil, envelhecimento, papel isolante e óleo isolante. Atualmente é coordenador de P&D da ZHZ Pesquisa e Desenvolvimento Ltda..



Milton Marques da Silva Junior nasceu em Campinas (SP) em 1966. Possui graduação em Química pela Universidade Estadual de Campinas (1989), mestrado em Química RMN pela Universidade Estadual de Campinas (1992) e ex-professor universitário. Atualmente é Químico (Sócio-Gerente) da MGM Consultoria e Diagnósticos em Equipamentos Elétricos Ltda., tem larga experiência na área de Química, com ênfase em Espectroscopia, análises de PCB em óleos isolantes e emissão de diagnósticos de análises de materiais isolantes (óleos e papéis) para aplicações em equipamentos elétricos.



Lázaro Partamian Carriel nasceu em São Paulo (SP) em 1950. Possui graduação em Administração de Empresas pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas (1992), graduação em Engenharia Elétrica pela Escola de Engenharia de Mauá (1974) e mestrado em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (2012). Especialista em planejamento de sistemas elétricos de potência, trabalhou 12 anos na Themag Engenharia e 17 anos na CPFL. Colaborou com todos os GTs da RESEB (Reestruturação do Setor Elétrico Brasileiro) e mais dois depois de encerrado. Atualmente é sócio-diretor e coordenador de pesquisa da ZHZ Pesquisa e Desenvolvimento Ltda. e professor de pós graduação da UNISAL.



Claudio Aparecido Galdeano nasceu em Jundiaí (SP) em 1955. Possui graduação em Engenharia Química pela Faculdade Oswaldo Cruz(1982), especialização em Legislação Ambiental pela Universidade de São Paulo (2000), especialização em Manutenção pelo Núcleo de Treinamento Tecnológico (1999), especialização em Análise de Custos pelo Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas (1995), especialização em Qualidade Para Laboratórios pelo Instituto Brasileiro de Petróleo(1994), especialização em Implantação de Qualidade Para Laboratórios pelo Instituto Brasileiro de Petróleo(1994) e especialização em Gerência de Laboratório pelo Instituto Brasileiro de Petróleo(1990). Trabalhou na TUSA (atual Siemens) e no Departamento de Manutenção (Laboratório de Óleo Isolante) da ELETROPAULO. Atualmente é Químico (Sócio-Gerente) da MGM Consultoria e Diagnósticos em Equipamentos Elétricos Ltda..

José Hugo Aguiar nasceu em Campinas (SP) em 1954. Possui graduação em Engenharia Elétrica pela Universidade Estadual de Campinas (1977). Tem experiência na área de Engenharia Elétrica, com ênfase em Planejamento da Expansão. Atualmente é sócio-diretor e pesquisador da ZHZ Pesquisa e Desenvolvimento Ltda.

Eduardo Heraldo dos Santos Silva nasceu em 1984. Possui graduação em Ciências Econômicas pelo Centro Universitário das Faculdades Metropolitanas Unidas (2011) e graduação em Farmácia pela Faculdades Oswaldo Cruz (2007). Atualmente é Analista de P&D da AES Tietê Energia/ANEEL.