



Dieléctricos Usados em Transformadores de Distribuição

Afonso Oliveira
EFACEC DT - R&D

Breve História dos Transformadores a Óleo

- 1880s - Patente do conceito de isolamento e refrigeração a óleo
- 1892 - Primeiro protótipo construído pela G.E.
- 1899 - Refinaria fabrica 1º Óleo exclusivo para transformadores
- 1930s - Introdução do Ascarel, Não - Inflamável
 - Ponto de combustão não mensurável

- 1970s - Promulgadas Restrições ao PCB
 - Restrições ambientais e de Saúde
 - Introdução aos Fluídos Alternativos
- 1978 - Óleo R-Temp (hidrocarbonetos)
 - Alto Flash and Fire point
 - Mais de 120000 instalações sem nenhuma ocorrência de incêndio
- Silicones (sintético)
- 1984 - Éster sintético (Envirotemp 200)
 - Excelente Performance
 - Alto custo – Aplicações Especiais
- 1996 - Éster Natural

Tipos de Transformadores

- Imersos em:
 - Óleo
 - ❖ Mineral
 - ❖ Biodegradável
 - Silicone
- Encapsulados em resina

Tipos de Dielétricos

- Óleo mineral

- Dielétrico com maior utilização em DT
- Boas características que associadas ao isolante e preço Dielétrico por excelência
- Existem vários tipos de óleo mineral consoante o respectivo fabricante:
 - NYNAS; Shell; ...

- Silicone

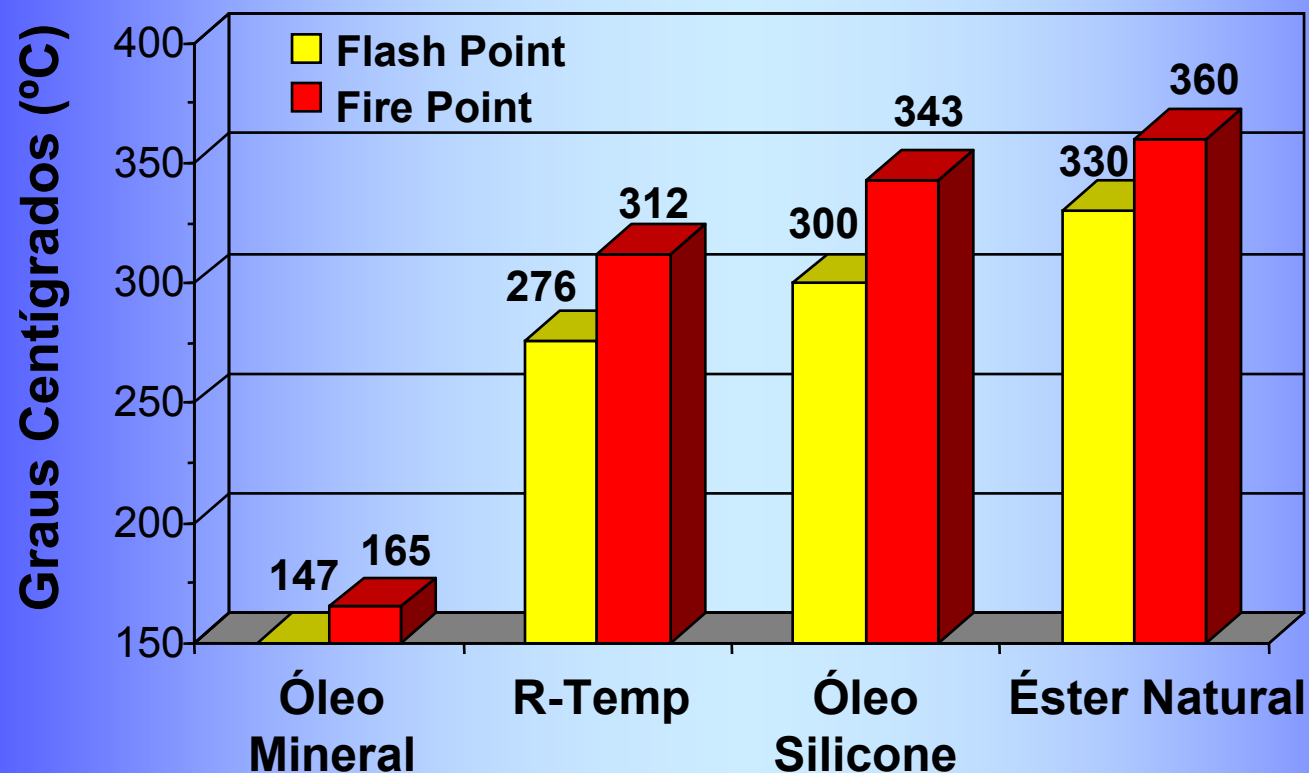
- Alternativa aos “piralenos”
- Elevada segurança em caso de incêndio
- Problemas ambientais, não é biodegradável
- Um derrame accidental provoca contaminação do solo

Tipos de Dielétricos cont.

- Encapsulados em resina epóxica
 - Alternativa aos transformadores em óleo mineral ou silicone
 - Sucesso deve-se às restrições legais do DL n.º 61/90
 - Aplicados onde são exigidas segurança em caso de derrame accidental ou incêndio
- Óleo Biodegradável
 - Alternativa ambiental
 - Elevada resistência ao fogo
 - Preço actualmente Elevado
- Tipos de óleos biodegradáveis:
 - FR3 (Éster Natural)
 - MIDEL 7131
 - BioTrans1000
 - ECO Fluid
 - BIOTEMP
 - ...

Flash and Fire points of oils

**** Líquidos Classificados como resistentes ao fogo devem possuir um fire point superior a 300 °C**



Dieléctricos Líquidos



Óleo Mineral



vs

FR3



Óleo Mineral

- Proveniente dos combustíveis fósseis, mais propriamente do petróleo
- Obtido por Hidrogenação Catalítica e Tratamento ácido
- Constituído por moléculas de carbono e hidrogénio em diferentes estruturas
- Tem duas funções no transformador:
 - Arrefecimento
 - Isolamento

- Ao desempenhar as suas funções, as suas características têm tendência a perder qualidade em face da humidade e do carbono 
 - Diminuição das capacidades dieléctricas e maior exposição a curto-circuitos
- Contacto com o oxigénio do ar provoca uma contaminação lenta mas eminente no óleo 
 - Origina resíduos nas superfícies de refrigeração, elevando a temperatura em funcionamento e encurtando a duração de vida, quando em operação.
 - Cada aumento de 10 °C, diminui o tempo de vida útil para metade

Óleo FR3

- Fabricado a partir de fontes naturais
 - Óleo de sementes combinado com aditivos de classe alimentar de forma a aumentar a sua eficácia.
- Não contém materiais à base de petróleo, halogéneos ou silicones
 - Torna-se um amigo do ambiente
- Tingido de verde para reflectir um perfil favorável ao ambiente

Ambiente



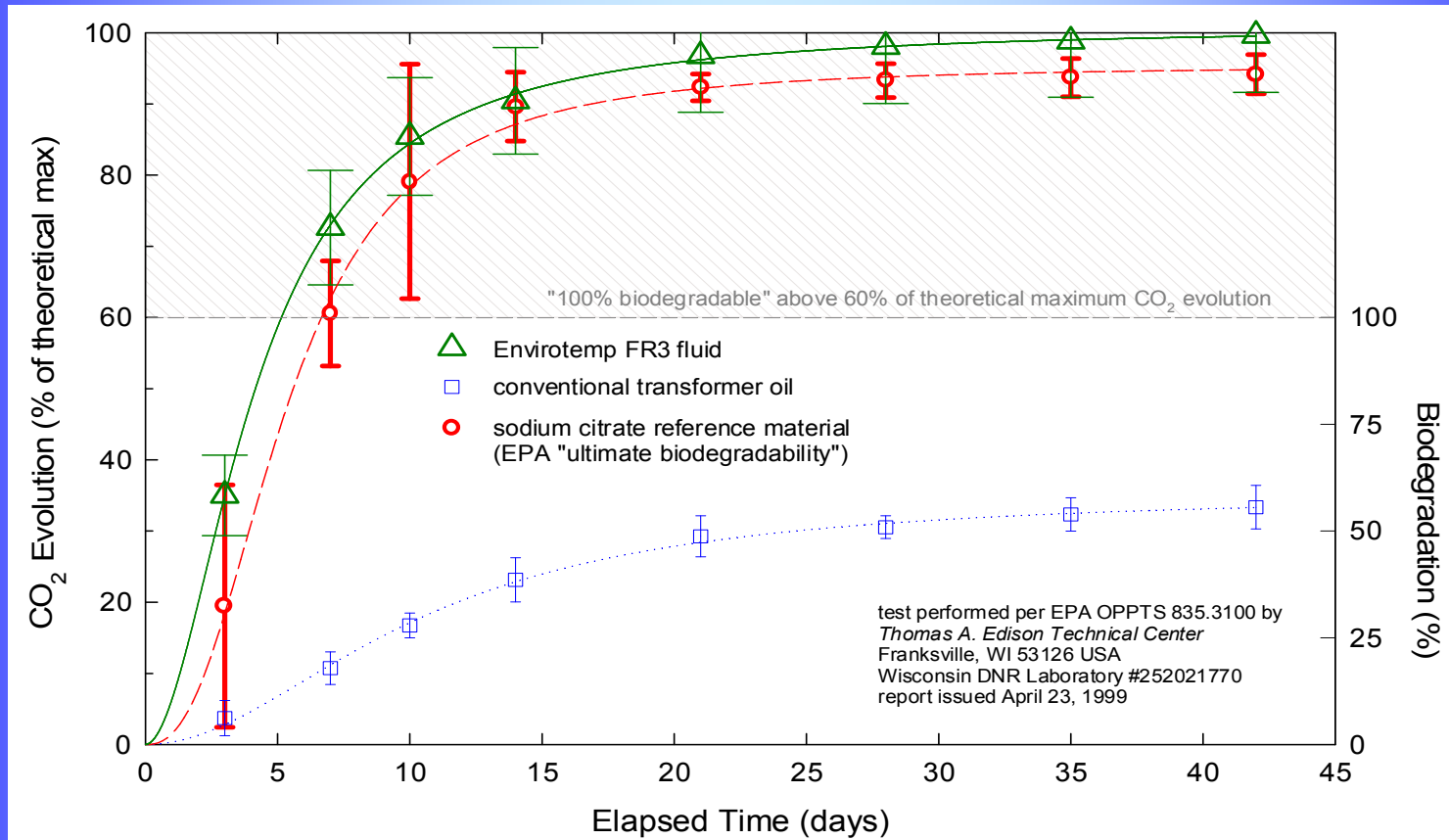
- **FR3**

- Biodegrada-se totalmente de forma rápida tanto em ambientes sólidos como aquáticos
- Comprovado como não tóxico em testes de toxidez aquática



- Obtido a partir de uma fonte renovável tornando-se facilmente reciclável ou reutilizável
- Substitui o petróleo não renovável e óleos sintéticos tornando-se um amigo do ambiente

Gráfico da Biodegradação do **FR3**



Manutenção

- **FR3**

- Testes periódicos para verificação do óleo
- A mesma programação usada em transformadores com óleo convencional

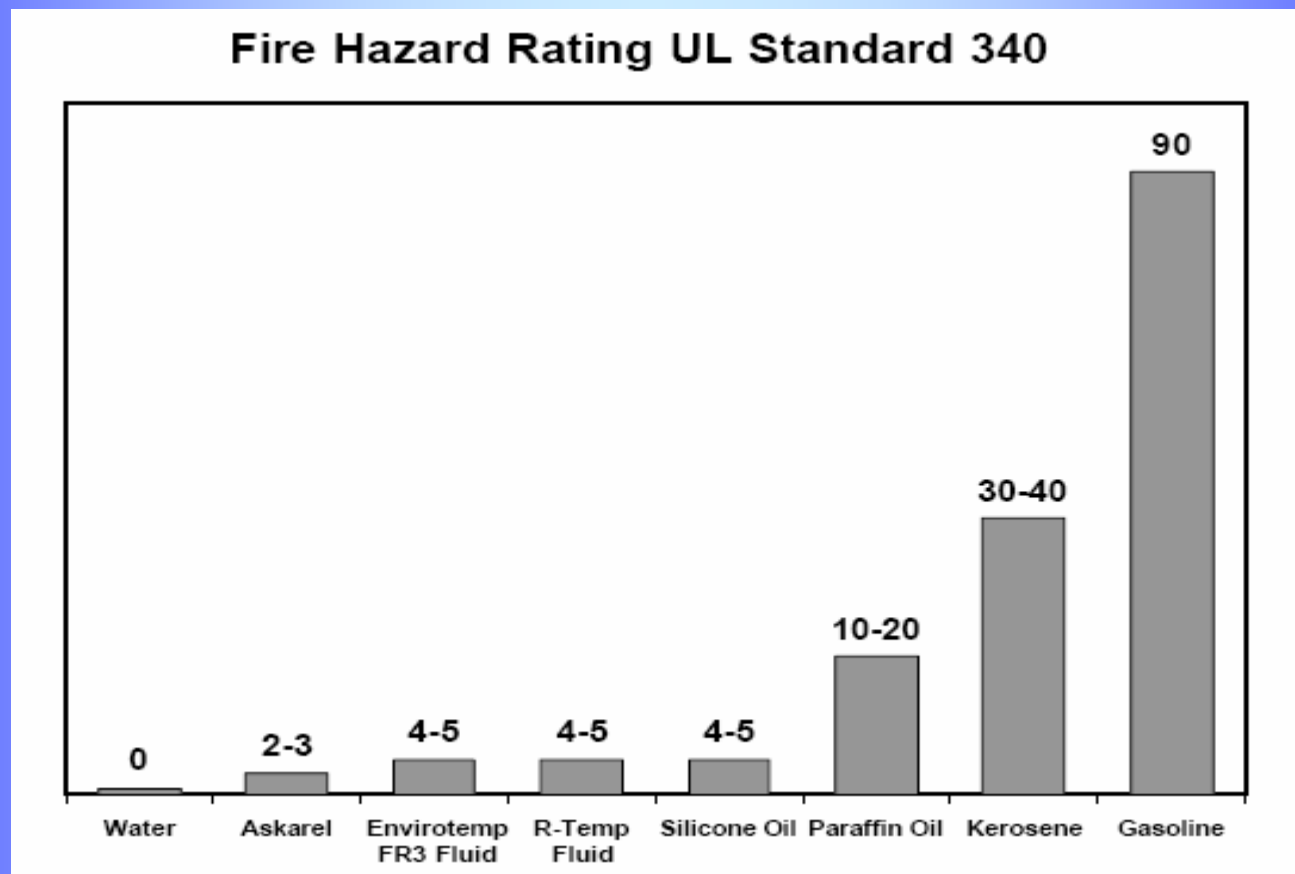
Testes Recomendados ao FR3

- Rigidez Dielétrica
- Flash and Fire Points
- Análise de Gás dissolvido
- O teste de uma ou mais propriedades abaixo fornecem uma boa indicação de uma possível contaminação ou degradação anormal do óleo:
 - Factor de dissipação
 - Índice de Neutralização
 - Tensão interfacial

Comportamento em caso de Incêndio

- **FR3** é certificado como óleo refrigerante dielétrico resistente ao fogo pela FM[®] e UL[®]
- Não há relatos de incêndios ou explosões envolvendo transformadores preenchidos com **FR3**
- Probabilidade de um incêndio envolvendo o **FR3** é tão baixa que não exige a determinação de libertação de calor, nem determinação de requisitos para instalação do **FR3**
- Protegem as pessoas e os edifícios nas zonas que circundam o transformador

Taxa de perigo ao fogo conforme norma UL340



Aplicações de Transformadores com FR3

- Instalações Internas, sem extintores ou poços de contenção de fogo, com distância mínima às paredes de apenas 914 mm
- Exteriores junto dos edifícios sem necessidade de colocar protecção contra incêndios adicional
- Zonas pedonais
- Telhados
- Ideal para aplicações em locais sensíveis a incêndio (complexos comerciais e industriais, edifícios de escritórios, escolas, parques e locais ecologicamente sensíveis)

Ruído

- Transformadores secos são mais ruidosos que os imersos



- parte activa exposta

- Locais onde o ruído é um requisito importante, o transformador terá de ser projectado para o efeito (hospitais ou caves de edifícios)

Comportamento em caso de derrame de óleo

- **FR3**

- Quando derramado transforma-se essencialmente em CO₂ e H₂O, dependendo da temperatura e disponibilidade de oxigénio
- Não tóxico para os animais
- Desenvolvido para minimizar riscos de saúde e ambientais
- A taxa de biodegradação é tão boa quanto o material de referência da norma EPA (USA Environmental Protection Agency) * secção ambiente

- A viscosidade um pouco maior do que o óleo mineral, combinado com a sua habilidade de polimerização, quando camadas finas são expostas ao fluxo de ar quente, ajudam a prevenir a migração do fluído da superfície para o subsolo.
- Candidato a “Produto Ambientalmente Preferido”, perigo nulo para a saúde quanto à reactividade, e negativo para efeitos cancerígenos.

Características Térmicas

- **FR3**

- Viscosidade próxima ao óleo convencional
- Melhor rigidez dieléctrica em aplicações novas e existentes
- Excelente estabilidade química ao longo do tempo

Características Físicas

Testes Físicos					
ASTM test (Método de Ensaio)	Mineral Oil Typical Values	Envirotemp FR3	BIOTEMP	Coconut Oil	ECO Fluid
Data source		Cooper / dobre	Doble	Producer	Producer
Aniline Point, D616, °C	≤ 80	2,4	25		
Color, D1500	≤ 0,5	L0,5 (Green)	L0,5		1
Flash Point, D92, °C	> 145	330/326	328	225	321
Fire Point, D92, °C	180 ^a	360/362	358		341
Interfacial Tension, D971, mN/m	> 40	27/24	26		26
Pour Point, D97, °C	≤ (-40)	-21(=)	-12 ^a	20	-12
Relative Density, D1298, 60/60	≤ 0,910	0,92/0,923	0,919	0,917	0,920 ^b
Viscosity at 40 °C, D 445	≤ 11	33/33,8	41,4	29	92 ^c
Refractive Index at 20 °C, D 1807	1,4808	1,475	1,4708		1,46
Visual, D 1524	Clear/Bright	Clear/Bright	Clear/Bright	Clear	Clear/Bright

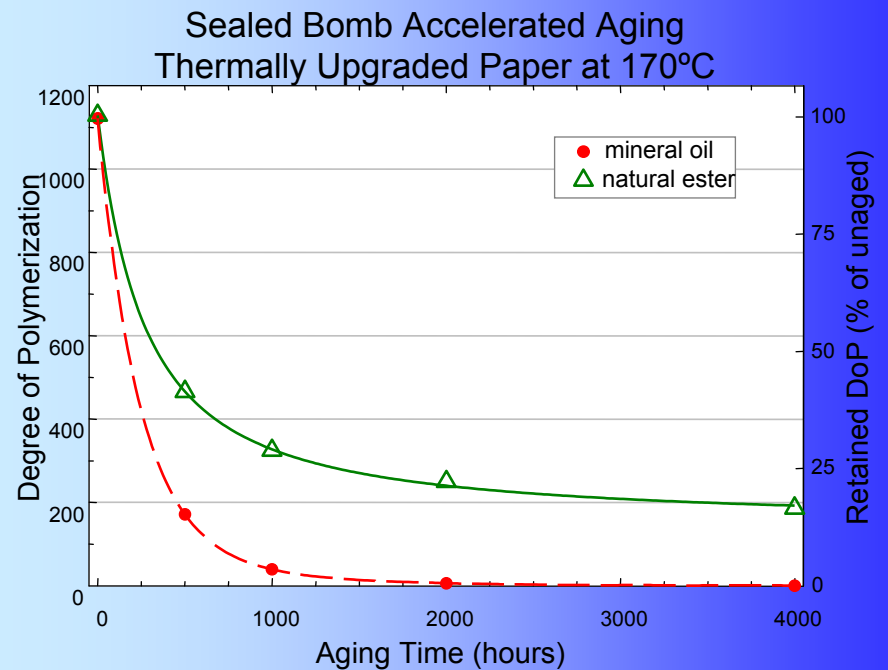
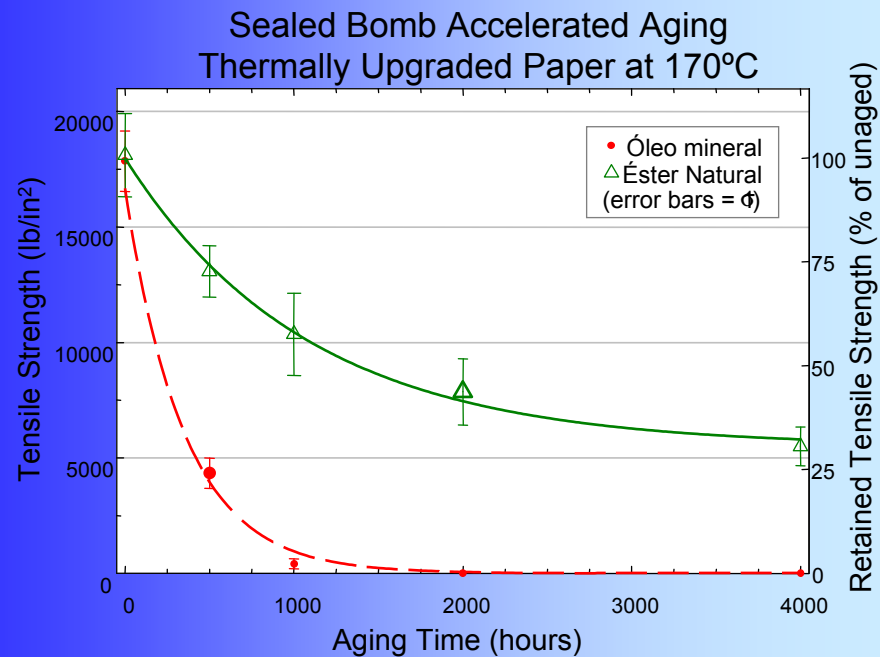
- Uma maior viscosidade do FR3 relativa ao óleo mineral deve ser tida em consideração em instalações com temperaturas ambientes muito baixas

Características Químicas

Testes Químicos					
ASTM test (Método de Ensaio)	Mineral Oil Typical Values	Envirotemp FR3	BIOTEMP	Coconut Oil	ECO Fluid
Data source		Cooper / Doble	Doble	Producer	Producer
Corrosive sulfur D1275	Non-corrosive	Non-corrosive	Non-corrosive		Non-corrosive
Water Content, D 1533, ppm	≤ 30	20/< 80	< 80	1,0	110
Neutralization Number, D 974, mg KOH/g	≤ 0,015	0,022/0,02	0,02		0,05
Oxidation Inhibitor; D2668, %	≤ 0,30	ND	ND		0,15
Furanic Compounds, D 5837, µg/L	all < 5	654 HMF	all < 5		
Benzotriazole, Double, µg/L	≤ 10 ^a	≤ 10	≤ 10		
Polychlorinated Biphenyls, D4049, ppm	< 2	< 2	< 2		< 2

- Exclusiva estrutura química do **FR3** proporciona excelentes características de performance
- Grande capacidade de extrair humidade retida e absorver água libertada pelo envelhecimento do papel
- Previne as moléculas do papel de se desfazerem quando expostas ao calor
- Minimiza a taxa de envelhecimento do papel isolante
- Testes:
 - **FR3** leva 5 a 8 vezes mais tempo para alcançar o mesmo ponto de final de vida do papel (kraft termo-estabilizado) envelhecido com óleo mineral, e até 10 vezes mais tempo que o papel kraft regular

Aumento de vida do papel

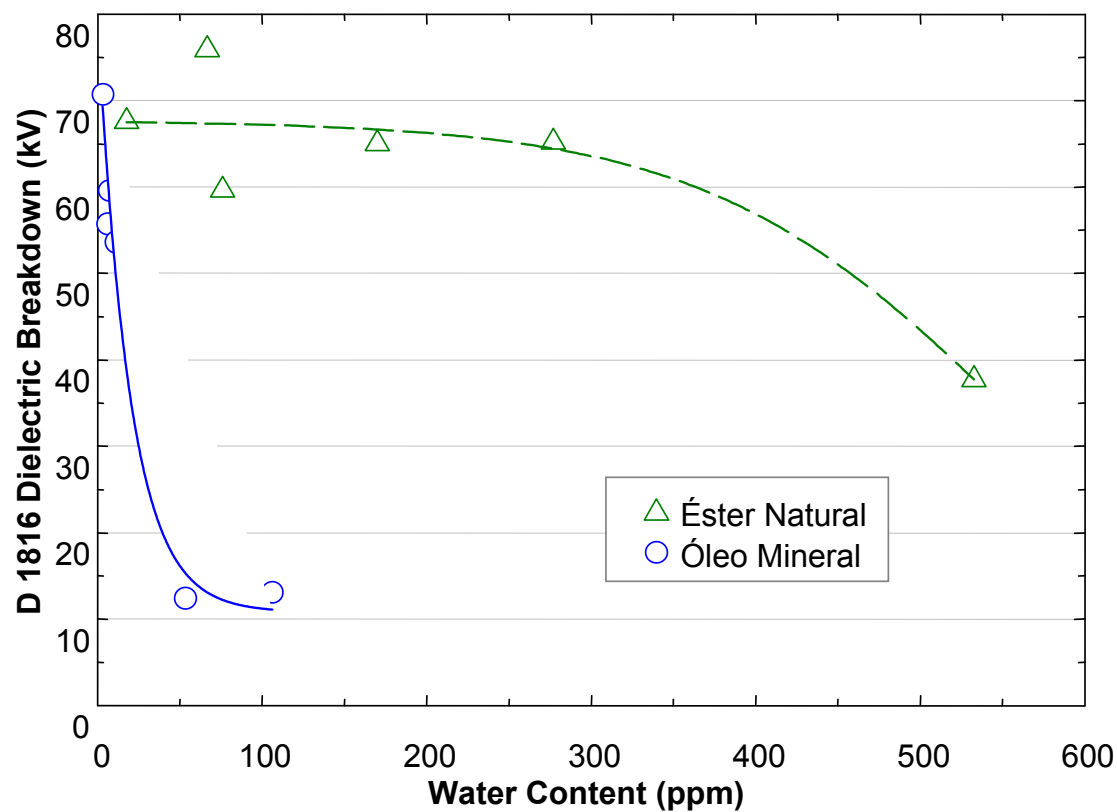


Características Eléctricas

Testes Eléctricos				
ASTM test (Método de Ensaio)	Mineral Oil Typical Values	Envirotemp FR3	BIOTEMP	ECO Fluid
Data source		Cooper / Doble	Doble	Producer
Dielectric Breakdown, D 877, kV	≥30	47/51	38	45
Dielectric Breakdown, D 1816 kV, 1mm gap	≥20	56/36	33	61
Power Factor at 20-25 °C, D924, %	≤ 0,05	0,05/0,0610	0,0093	0,09
Power Factor at 100 °C, D924, %	≤ 0,30	1,850	0,59	0,30
Dielectric Constant at 25 ° C, D924	2,2 ^a	3,2/3,1	3,1	2,86
Impulse Breakdown, D 3300, kV	≥145	Insufficient Sample	134 ^b	148
Gassing Tendency, D2300, µL/min	negative	-79/-80,5	-52,7	+22,0

Rigidez dielétrica vs conteúdo de humidade

- Ponto de saturação de 1057 ppm



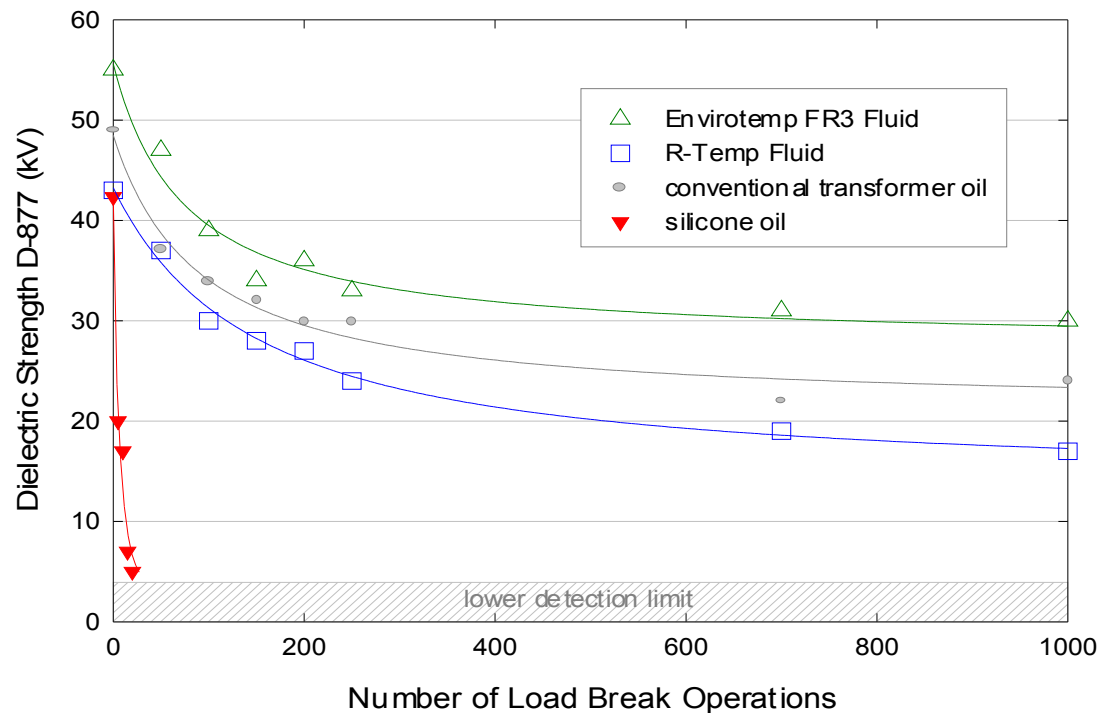
Características dos dielétricos

Propriedades	Óleo mineral	Silicone	Óleo vegetal (FR3 Cooper)
Viscosidade @ 40 °C cSt	9,4	37	33
Densidade @ 25°C	0,869	0,96	0,92
Coef. Exp. Térmica K ⁻¹	0,000795	0,00104	0,00074
Cond. Térmica kJ/kg.k	0,135	0,151	0,18
Ponto de Fluidez °C	-50	-55	-21
<i>Flash</i> point °C	150	300	330
<i>Fire</i> point °C	165	343	360
Conteúdo de lama ppm	12	-	12
Rigidez dielétrica kV ASTM D1816 25°C	62	43	56
tg d @ 25 °C, 50 Hz	0,01	0,0001	0,055


	Mineral Oil-Filled	High Firepoint Less-Flammable Liquid-Filled			VPI Dry	Cast Resin
		HMWH R-Temp	Silicone Oil	Natural Ester Envirotemp FR3		
INSTALLATION						
Outdoor	Good	Good	Good	Excellent	Poor	Poor
On Rooftop	Poor	Good	Good	Excellent	Poor	Poor
Adjacent/Attached to Building	Poor	Good	Good	Excellent	Poor	Poor
Public Access	Good	Excellent	Excellent	Excellent	Poor	Poor
Indoor	Poor	Good	Good	Good	Good	Excellent
Code Requirements	Moderate	Low	Low	Low	Low	Low
Environmental Impact	Moderate	Moderate	Moderate	Low	Low	Moderate
PERFORMANCE						
Efficiency	High	High	High	High	Low	Moderate
Design Flexibility	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Fair
Reliability	High	High	High	High	Low	Moderate
Overload Capacity	Good	Excellent	Good	Excellent	Poor	Fair
Life Expectancy	High	High	High	High	Moderate	Moderate/High
Repairability	High	High	Moderate	High	Moderate	Low
Operating Temperature	Low	Low	Low	Low	High	High
Sound Level	Low	Low	Low	Low	High	Moderate
CAPABILITIES						
Standard Impulse Rating	High	High	High	High	Low	Low
Partial Discharge	Excellent	Excellent	Excellent	Excellent	Fair	Good
Harmonic Withstand	Good	Good	Good	Good	Poor	Fair
TRANSFORMER ACCESSORIES						
Integrated Protection Devices	Excellent	Good	Good	Good	Fair	Fair
Other Integrated Components	Excellent	Good	Fair	Good	Poor	Poor
TOTAL LIFE CYCLE COST						
First Cost	Low	Low/Moderate	Moderate	Moderate	Low/Moderate	High
Energy Costs	Low	Low	Low	Low	High	Moderate
Installation Cost Indoor	High	Low	Low	Low	Low/Moderate	Low/Moderate
Installation Cost Outdoor	Low	Low	Low	Low	High	High
Maintenance Costs	Low	Low	Low	Low	Moderate	Moderate
Recycle/Disposal Costs	Low	Low	High	Low	Low	High
Total Life Cycle Cost	Low	Low	Low/Moderate	Low	High	High

Manobras em carga

- Excelente conservação de rigidez dielétrica, lubricidade, principalmente sem formação de resíduos (borra) e a baixa tendência para formação de gás, tornam o **FR3** óptimo para aparelhos de manobra em carga



Tempo de vida útil

- Exposição ocasional ao ar, pode ocorrer sem a detecção da degradação das propriedades do FR3
 - O FR3 é mais susceptível á oxidação do que produtos baseados em petróleo, logo é recomendada exposição mínima ao ar
- 
- Não recomendado em aplicações em contacto contínuo com o ar
 - FR3 proporciona maior isolamento térmica ao longo da vida

Outras aplicações, caso o **FR3** não possa ser reutilizado:

- Venda a processadores para reciclagem/refinação
- Conversão:
 - ❖ Em óleo Biodiesel
 - ❖ Em óleo combustível para fundição com caldeiras e fornos industriais

Aplicações do FR3

- Transformadores de Distribuição e Potência
- Seccionadores imersos em óleo
- Transformadores rectificadores electromagnéticos
- Circuitos de alimentação de luminárias
- Substituição de outros isolantes em equipamentos de distribuição

Potenciais Aplicações do FR3 sob estudo

- Reguladores de Tensão
- Cabos de Alta Tensão
- Condensadores

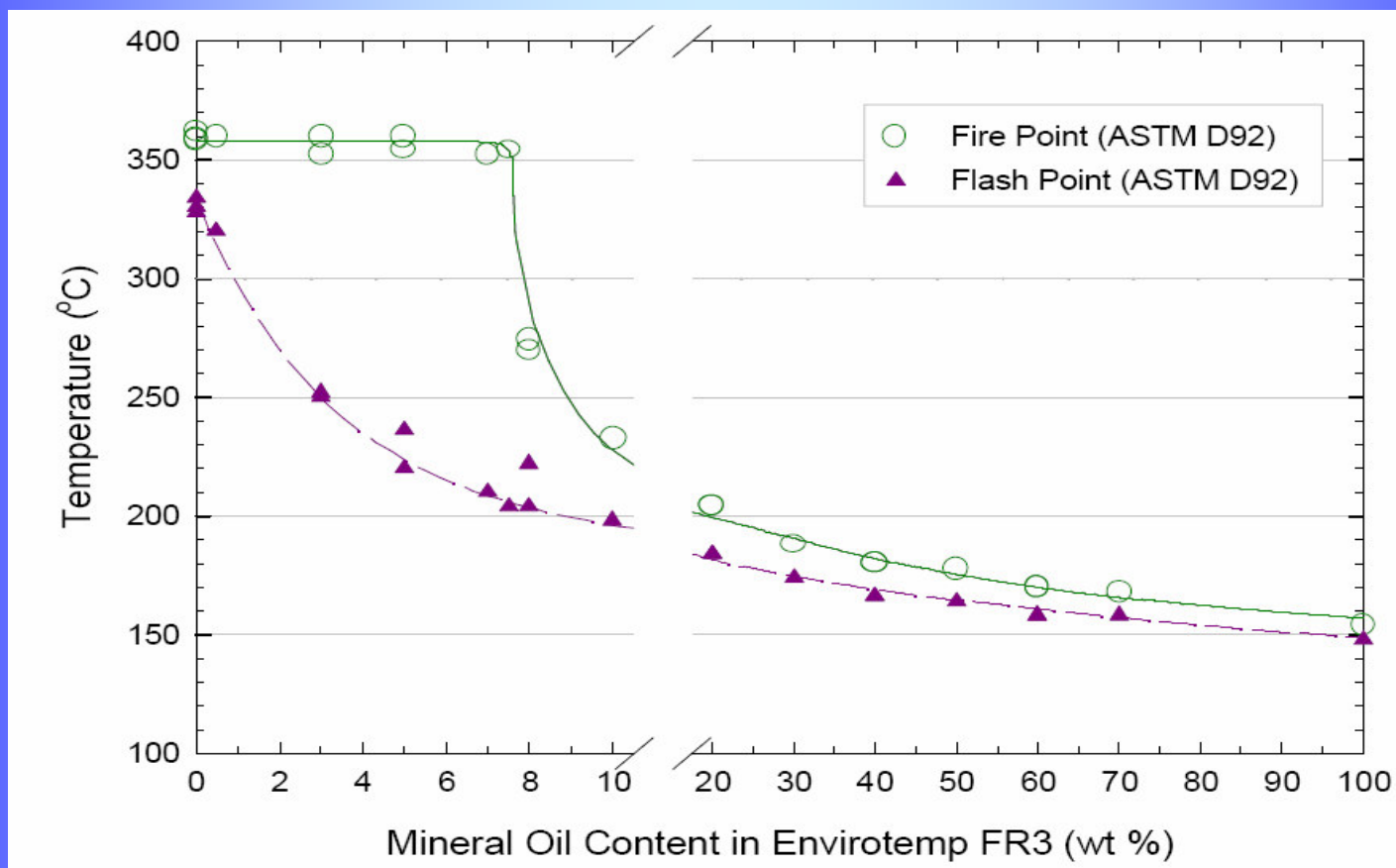
Substituição em transformadores usados com óleo mineral

- Adequado como óleo de reposição para actualização e elevação da margem de segurança
 - Aspecto ambiental
 - Segurança contra incêndio
- O **FR3** é totalmente miscível ao óleo mineral, hidrocarbonetos de alto peso molecular e muitos outros substitutos do askarel
- O óleo que permanece no transformador não reduz o fire point do FR3 abaixo do mínimo de 300°C exigido pela NEC

Vantagens adicionais da substituição

- Alta rigidez dieléctrica
- Excelente lubricidade
- Compatibilidade de material
- Coeficiente de expansão similar ao óleo mineral
- **FR3** actua como agente de secagem do papel de isolamento, que se tornou húmido devido ao envelhecimento, prolongando-lhe a vida útil

Variação do valor do Fire Point vs quantidade de óleo mineral



Transformadores em FR3 vs *Cast resin*

- Maior
 - Capacidade de sobrecarga
 - Eficiência
 - Arrefecimento
 - Tempo de vida
- Menor
 - Ruído em operação
 - Espaço ocupado
 - Perdas em operação
 - Custo total do ciclo de vida

Presença de Harmónicos

- **FR3**
 - Os transformadores podem ser concebidos especificamente para satisfazer cargas com harmónicos sem haver alterações no isolamento
- *Cast Resin*
 - Pode provocar estragos irreparáveis se os níveis de harmónicos ultrapassarem determinados limites

Qualidade/Preço

- Os transformadores com **FR3** conseguem competir, em termos de qualidade/preço, directamente com transformadores:
 - Silicone
 - *Cast Resin*
- Estudo indica que os transformadores em **FR3** são 10 a 20% mais baratos a longo prazo que os de óleo mineral, dada a sua duração de vida típica de 40 anos face aos 30 dos de óleo mineral, no entanto o seu custo inicial é elevado

Instalações com Transformadores em FR3

- Transformadores de poste nos EUA, no estado do Indiana
- Waverly (Iowa) Light and Power and California's Sacrament Municipal prometeram usar somente transformadores com óleos vegetais...decisão passa por diversos incentivos
- ...
- Uma lista de Envirotemp® FR3™ OEM users (USA & Internacional), fornecida pela Cooper Power systems será entregue no fim da apresentação.