



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

Versão 1.0
XXX.YY
14 a 17 Outubro de 2007
Rio de Janeiro - RJ

GRUPO VIII

GRUPO DE ESTUDO DE SUBESTAÇÕES E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS

ÓLEO VEGETAL – APLICAÇÃO EM TRANSFORMADORES DE 145kV, 100% A ÓLEO VEGETAL

Adilton Santos *

Elaine Cristina Nogawa

Dr. José Carlos Mendes

ABB Ltda

RESUMO

Atualmente o desenvolvimento de novos produtos, que minimizam o descarte de poluentes no meio ambiente, é de extrema importância para o nosso desenvolvimento sustentável.

Em função da crescente demanda de energia elétrica, os transformadores de potência são instalados no centro de grandes cidades, no meio de patrimônios históricos, locais onde a iminência de incêndio pode causar um grande prejuízo.

Foi com esse objetivo que a **ABB** desenvolveu o óleo vegetal **BIOTEMP®**. O óleo vegetal **BIOTEMP®** é um meio isolante dielétrico avançado, desenvolvido pela **ABB** para ser compatível com o meio ambiente. [1]

PALAVRAS-CHAVE

Transformadores. Óleo Vegetal. Biodegradabilidade. Umidade. Estabilidade a Oxidação.

1.0 - INTRODUÇÃO

O primeiro fluido refrigerante e isolante utilizado em transformadores na época da sua invenção foi o óleo vegetal, porém por problemas de viscosidade e oxidação neste fluido, foi substituído pelo óleo mineral, que atendia satisfatoriamente as principais necessidades técnicas deste novo equipamento.

Com a utilização de transformadores em ambientes confinados, dentro de edificações ou próximos a grandes centros populacionais, houve a necessidade de se ter um equipamento mais seguro contra incêndio e explosão, assim na década de 30, iniciou a comercialização do óleo ascarel, bifenila policlorada (PCB) que por ter uma boa estabilidade química, era capaz de resistir a altas temperaturas, não inflamável, minimizando risco de explosão e incêndios. O ascarel começou a ser muito utilizado nos transformadores instalados em ambientes confinados como: subestações subterrâneas, instalações de shopping centers, hospitais, fábricas, escolas, etc... e acabou sendo abandonado e proibido o seu uso a partir de 1976 por ser cancerígeno, não biodegradável e quando lançado ao meio ambiente pode chegar até o homem, pois é tóxico bioacumulativo.

Bilhões de litros de óleo para transformador são utilizados no mundo todo. Eles são de vários tamanhos: grande, médio e de pequena potência assim como de distribuição, cada um usando uns quarenta mil litros por fase em um grande transformador de potência e uns oitenta litros para um pequeno transformador de distribuição. As unidades menores são mais numerosas que as unidades maiores porque a distribuição é mais espalhada por definição, e portanto as unidades menores carregam, no total, muito mais líquido que as unidades maiores. [2]

A popularidade do óleo mineral para transformador é devido à disponibilidade e baixo custo, além de ser um excelente meio dielétrico e refrigerante. Desde que as reservas mundiais de óleo foram descobertas nos anos quarenta, produtos de petróleo têm sido disponibilizados amplamente. Produtos derivados de petróleo são tão vitais no mundo de hoje que não podemos imaginar a vida sem tê-los disponíveis. Transformadores e outros equipamentos com óleo usam somente uma pequena fração do consumo total de petróleo, ainda que esta pequena fração seja quase insubstituível. Há duas razões porque devemos pensar em fontes alternativas naturais de líquidos:

- o óleo mineral do transformador é pouco biodegradável. Eles podem contaminar o solo e os cursos d'água se ocorrerem grandes vazamentos. Órgãos regulatórios do governo já estão olhando para este problema e estão impondo severas multas para vazamentos. Milhares de transformadores estão localizados em áreas povoadas, shopping centers, e perto de cursos d'água. [2]
- produtos de petróleo poderão eventualmente acabar, e poderá haver escassez no meio do século XXI. Conservar as reservas de petróleo e reciclagem são vitais para produtos derivados de petróleo – plásticos, farmacêuticos, químico-orgânicos, e assim por diante. Até se desenvolvem uma alternativa viável de fontes de energia, não há um substituto para a gasolina, combustível para aviação e óleo para aquecimento. Óleos vegetais são produtos disponíveis em abundância. Eles são usados freqüentemente para propósitos comestíveis, mas óleos especiais são usados para secagem e corte. O único uso significativo de óleo vegetal sugerido antes do fim dos anos 90 foi em capacitores de potência. Mesmo lá, o uso foi mais experimental que comercial. [2]

Em anos recentes, preocupações ambientais têm sido levantadas quanto ao uso de líquidos pouco biodegradáveis em equipamentos elétricos em regiões onde vazamentos e falhas podem contaminar as imediações. [2]

A última grande evolução que está emergindo é a troca de óleo mineral pelo óleo vegetal, trazendo consigo mudanças positivas tanto na área técnica como para o meio ambiente que nos cerca.

Com a evolução da engenharia de materiais das últimas décadas, e com a necessidade do mercado ter um produto alternativo e amigável ao meio ambiente que atendesse totalmente os requisitos técnicos para esta aplicação, viabilizando maior segurança na instalação, surgiu o óleo vegetal **BIOTEMP[®]** desenvolvido pela **ABB**, para aplicação em transformadores elétricos, que conseguiu agregar em um único fluido todas as melhores características do óleo mineral isolante, do óleo silicone e do PCB (difícil inflamabilidade), possuindo assim excelentes características dielétricas com alta estabilidade de temperatura, excelente resistência à explosão e ao incêndio, além de ser biodegradável.

2.0 - ÓLEO VEGETAL

A **ABB** desenvolveu o óleo vegetal preocupado principalmente no meio ambiente, além de possuir várias vantagens sobre os demais fluídos derivados de petróleo, silicone e halogênios.

O **BIOTEMP[®]** é um fluido isolante dielétrico, desenvolvido pela **ABB** para aplicação em transformadores elétricos e compatível ao meio ambiente. O fluído possui excelentes características dielétricas com alta estabilidade à combustão e explosão. O **BIOTEMP[®]** possui excelente compatibilidade com materiais isolantes sólidos, sendo biodegradável em um breve período de tempo.

O óleo vegetal não é tóxico para pássaros, animais e seres humanos. Ele tem um ponto de ignição maior que o óleo mineral e outros líquidos resistentes ao fogo usados atualmente em transformadores.

O **BIOTEMP[®]** tem como base agrícola a semente de girassol, de todas as bases agrícolas pesquisadas, a semente de girassol foi a que mais atendeu aos critérios de biodegradabilidade, estabilidade, pureza elétrica, propriedades físicas e disponibilidade.

3.0 - VANTAGENS

A tabela 1 mostra as principais vantagens da utilização do óleo vegetal **BIOTEMP®** da **ABB**.

Tabela 1 – Vantagens do Óleo Vegetal **BIOTEMP®**

Item	Vantagens
01	Biodegradável
02	Não tóxico
03	Menor risco de acidentes no manuseio e no armazenamento
04	Menor risco patrimonial
05	Difícil inflamabilidade / Segurança contra incêndios
06	Boa rigidez dielétrica
07	Estabilidade a alta temperatura
08	Estabilidade na oxidação
09	Compatibilidade com outros materiais
10	Melhor tolerância a umidade
11	Maior vida operacional em transformadores
12	Absorção e evolução de gases
13	Excelentes características térmicas

4.0 - CARACTERÍSTICAS ESPECIAIS

A tabela 2 mostra as características principais do óleo vegetal **BIOTEMP®** da **ABB**.

Tabela 2 – Características Específicas do Óleo Vegetal **BIOTEMP®**

		UNIDADE	BIOTEMP
ELÉTRICAS			
Rigidez Dielétrica (ASTM D877)		kV	45
FÍSICAS			
Viscosidade	100°C	cSt	10
	40°C		45
	0°C		300
Ponto de Fulgor (ASTM D92)		°C	330
Ponto de Combustão (ASTM D92)		°C	360
Calor Específico (ASTM D2766)		cal/gm/°C	0.47
Coeficiente de Dilatação		/°C	6.88×10^{-4}
Ponto de Fluidez		°C	-15 a -25
Cor		-	Transparente/Brilhante
AMBIENTAIS			
Taxa de Biodegradação % 21 – dias CEC –L– 33		%	97

5.0 - CONDIÇÕES ESPECIAIS

O óleo vegetal **BIOTEMP®** é biodegradável (>97% de biodegradação em 21 dias pela CEC L33/A94), não se bioacumula e é não tóxico. A formulação específica usada em aplicações elétricas utiliza uma quantidade muito pequena de estabilizadores de oxidação, (menos que 1% de cada ingrediente e menos que 1.5% do total), suficiente para atender a norma de oxidação ASTM D 2440.

5.1 Biodegradabilidade

A figura 1 mostra um gráfico de biodegradabilidade do óleo vegetal e outros líquidos de transformadores [16].

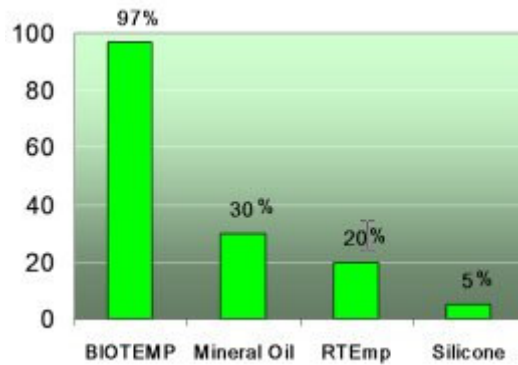


Figura 1 - Biodegradabilidade

5.2 Risco de Incêndio

O **BIOTEMP**[®] possui vantagens diferenciais sobre outros fluídos dielétricos para altas temperaturas com pontos de combustão e de fulgor bem acima de 300°C. Embora o **BIOTEMP**[®] possa pegar fogo, ele é mais difícil de se inflamar e produz somente dióxido de carbono e água sem derivados poliaromáticos ou silicatos prejudiciais quando queimado.

5.3 Ensaio de Vida Útil

Envelhecimento ao longo prazo tem mostrado que o óleo vegetal prolonga a vida do papel isolante consideravelmente mais que o óleo mineral quando usado em transformadores (aproximadamente 2 vezes). É possível que a grande afinidade de óleos vegetais por umidade manterá o papel mais

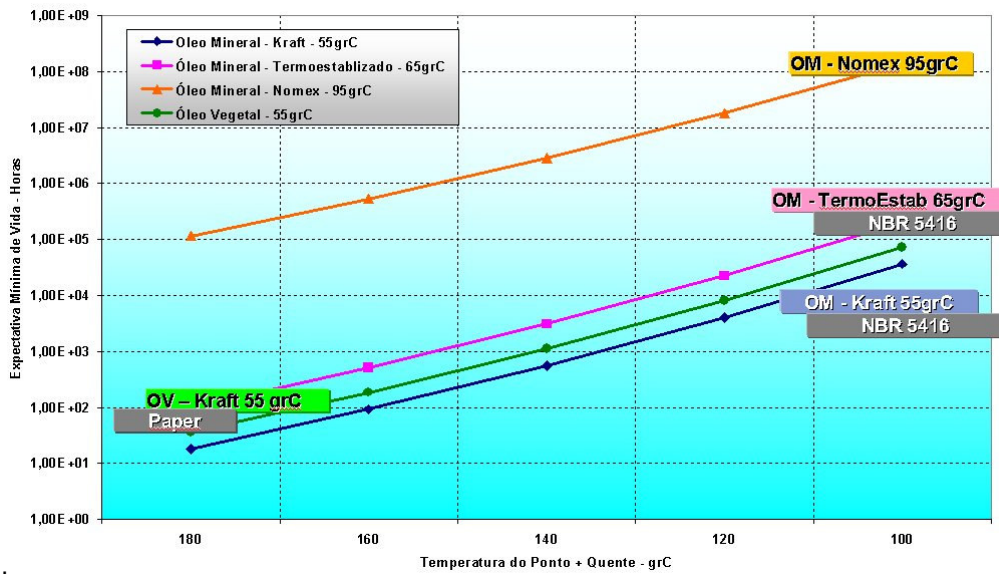


Figura 2 – Curva de Arrhenius – Curva de Expectativa de Vida

6.0 - ESTABILIDADE DE OXIDAÇÃO

A estabilidade a oxidação foi originalmente projetada para verificar a quantidade de borra e ácido no óleo mineral do transformador sob as condições de ensaios especificados.

Uma boa estabilidade a oxidação minimiza a formação de borra e ácido, e em contrapartida maximiza a vida de serviço do óleo.

O óleo que atende a especificação do método ASTM D2440 tende a minimizar a condução elétrica, assegura uma aceitável transferência de calor e preserva a vida do sistema.

6.1 Inibidor de Oxidação

O óleo vegetal **BIOTEMP**[®] é fornecido com inibidores de oxidação. Os mesmos inibidores são usados em muitos outros tipos de produtos de consumo que não são considerados tóxicos para os seres humanos nos níveis presentes no líquido. Estes inibidores fornecem proteção suficiente para manter o líquido livre de oxidação prematura no equipamento.

6.2 Ensaio ASTM 2240 – Estabilidade de Oxidação

De acordo com o método ASTM D2440, há uma provada correlação entre a performance do ensaio e a performance em serviço, o ensaio não modela o sistema de isolamento como um todo (óleo, papel, pressphan, etc). Entretanto, o ensaio é utilizado para o controle de evolução de inibidores de oxidação e verifica a consistência da estabilidade na produção no óleo.

Foi realizado ensaio para verificação de formação de borra e acidez depois do envelhecimento do óleo na presença de oxigênio depois de 72 horas. Se não ocorrer formação de borra depois de 164 horas, pode-se dizer que o óleo passou no ensaio. O óleo vegetal **BIOTEMP**[®] passou no ensaio e de fato não houve formação de borra no óleo. A figura 3 mostra o resultado.

Este ensaio é importante para estabelecer a estabilidade em longo prazo do óleo vegetal no transformador. Na presença de oxigênio e temperatura, a oxidação do óleo ocorrerá. A formação de borra ou a solidificação irreversível é prejudicial à operação segura do transformador.

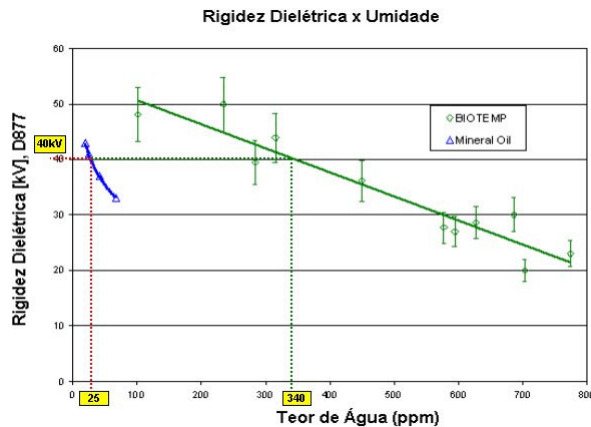


Figura 3 – Efeito da Umidade x Rigidez Dielétrica no óleo **BIOTEMP**[®] e no Óleo Mineral



Observa-se na figura 3 que quando o teor de água é superior a 100ppm a rigidez dielétrica do óleo vegetal mantém-se muito superior que a do óleo mineral.

7.0 - BIOTEMP E GASES DISSOLVIDOS NO ÓLEO ISOLANTE

O óleo vegetal **BIOTEMP**[®] tem muitas vantagens sobre líquidos isolantes existentes em relação à adsorção de gás e evolução de gás sob arco. Ensaios têm confirmado que somente um quarto (25%) do total de gases gerados por líquidos derivados de petróleo são produzidos pelo **BIOTEMP**[®] quando submetido à arco.

Adicionalmente, os gases produzidos não contêm muitos dos hidrocarbonos poliaromáticos associados aos líquidos derivados de petróleo. Quando submetido à arco, o **BIOTEMP**[®] produz dióxido de carbono, monóxido de carbono, hidrogênio e traços detectáveis de que pequenas moléculas de hidrocarbonos.

8.0 - MISTURA DE DIFERENTES TIPOS DE LÍQUIDOS DIELETRICOS

Embora, na maioria dos casos de diferentes tipos de líquidos dielétricos são miscíveis (exceção: líquido silicone), estas misturas devem ser evitadas em transformadores e em equipamentos de tratamento do líquido quando possível, devido ao impacto negativo nas características chaves de meio ambiente ou segurança de incêndio. Obviamente, um pequeno percentual de contaminação não pode ser evitado no enchimento, particularmente transformadores e outros equipamentos com celulose impregnada.

O óleo vegetal **BIOTEMP**[®] se mistura em qualquer proporção com óleos minerais mas não se mistura em líquidos de silicone. Concentrações de óleo mineral com excesso de 10% em peso pode baixar o ponto de combustão para menos de 300°C.

9.0 - PROJETO ABB / CEMIG

Primeiro transformador no mundo na classe de tensão de 145kV desenvolvido pela **ABB** em conjunto com a **CEMIG**, um projeto pioneiro de cooperação tecnológica. A utilização do óleo vegetal **BIOTEMP®** compartilhada com a tecnologia de isolamento híbrida **Nomex®**, trazendo todas as vantagens técnicas, econômicas e ambientais que o projeto permite, é um avanço importante e um passo efetivo para um futuro menos dependente do óleo mineral isolante. É o único transformador com óleo vegetal no tanque, nas buchas e no comutador sob-carga, 100% com óleo vegetal.

Instalado no centro da capital mineira, o transformador **ABB/CEMIG** esta capacitado para atender uma sobrecarga de até 150% da potência nominal num período de 6 horas, ou se for necessário no horário de pico de até 170% de sobrecarga num período de 4 horas, sem risco para o equipamento ou perda de vida operacional.

A figura 4 mostra a vista geral do transformador 100% a óleo vegetal ABB/CEMIG.

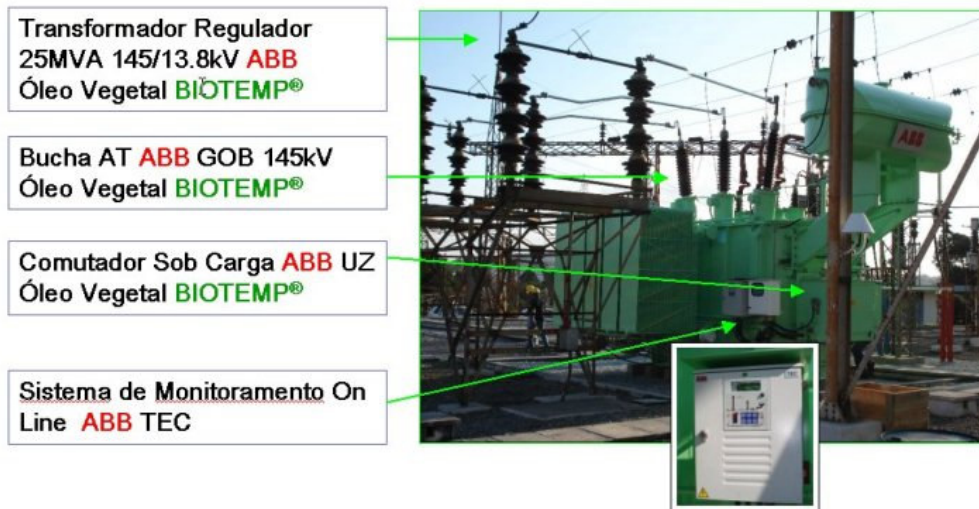


Figura 4 – Vista Geral Transformador 145kV – 100% a Óleo Vegetal

9.1 Dados Gerais

A tabela 3 mostra os dados gerais do transformador 100% a óleo vegetal.

Tabela 3 – Dados Gerais

	Unid	Original	Revitalizado
Ano	-	1974	2006
Frequência	Hz	60	60
Tensão	kV	138 ±2x2.5% / 13.8 ± 16 x 0.625	
Potência	MVA	15 (ONAF 2)	25 (ONAF 2)
Sobrecarga	-	-	37.5 (6h, 150%)
			42 (4h, 170%)
OLTC	-	UZERN 250/300	UZF 250
Isolação	-	Celulose	Híbrido (Nomex + Celulose)
Tipo do Óleo	-	Mineral	BIOTEMP®

9.2 Custo

A figura 5 mostra a comparação de um transformador novo e um transformador revitalizado. Observa-se que houve economia em relação ao transformador novo (25MVA) e uma economia maior ainda quando comparado a um transformador de 42MVA.

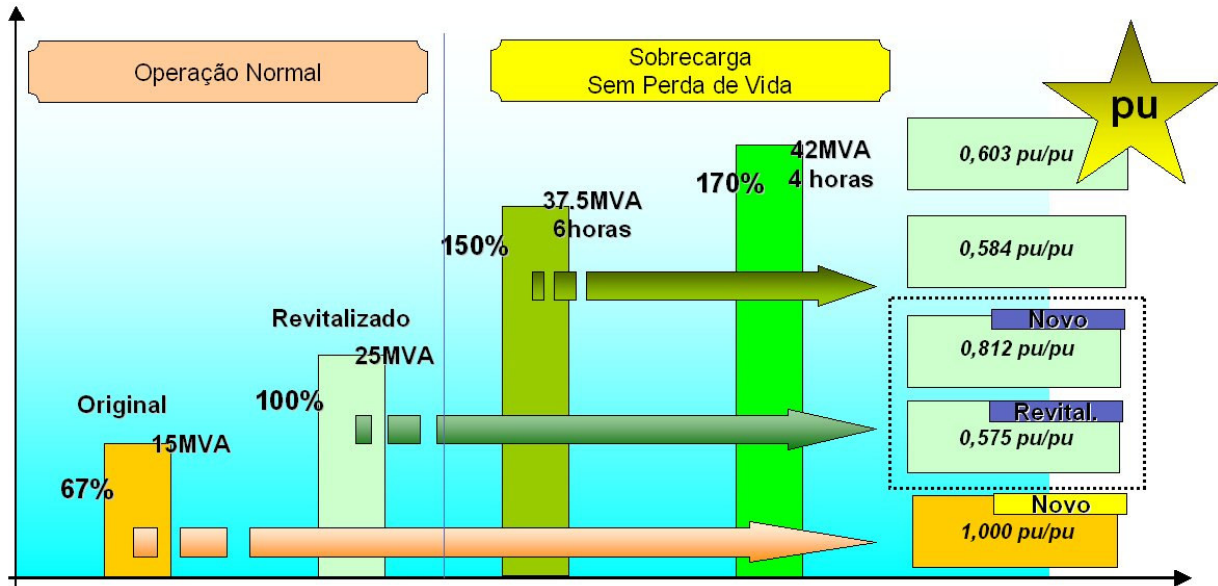


Figura 5 – Custo – MVA x pu

9.3 Projeto

Para o uso da tecnologia do óleo vegetal em transformadores, pequenos detalhes no projeto, cálculo e fabricação são considerados, pequenos, porém não menos importantes para sua garantia de performance.

Tabela 4 – Alteração no Projeto

Item	Descrição
01	Tamanho do Conservador de Óleo aumentou em função da sobrecarga
02	Comutador – Apenas atualização
03	Buchas – Foi utilizado o mesmo do óleo mineral
04	Aumentou o número de radiadores em função da viscosidade

9.4 Ensaio

9.4.1 Ensaio de Aquecimento

Ensaio de Aquecimento - Transformador 15MVA – ONAF: Não houve diferença significativa para os valores calculados e os medidos.

Ensaio de Aquecimento - Transformador 25MVA – ONAF 2: Não houve diferença significativa para os valores calculados e os medidos.

Ensaio de Aquecimento - Transformador 37.5MVA – ONAF 2: Naturalmente, em função da viscosidade do óleo vegetal ser menor em altas temperaturas, quando o transformador está operando em 37.5 MVA (mais quente), o valor medido no ensaio de aquecimento é inferior ao valor calculado.

10.0 - NORMAS

Atualmente há normas específicas para a utilização de óleo vegetal em transformadores e outras estão em fase de projeto.

11.0 - CONCLUSÃO

Atualmente a utilização de meio isolante, dielétrico compatível com o meio ambiente em transformadores de potência já é uma realidade. A **ABB** em conjunto com a **CEMIG** desenvolveu o primeiro transformador de 145kV , 100% a óleo vegetal (incluindo buchas e comutador sob carga). Foram abertas as portas para a utilização de óleo vegetal em transformadores com classe de tensão maior.

Com a utilização da isolação híbrida (NOMEX® – temperatura do ponto + quente 95grC e Celulose – temperatura do ponto + quente 65grC) foi possível o repotenciamento do transformador de 15MVA para 25MVA, podendo se sobrecarregado em 37.5 MVA (150% em 6horas) e 42MVA (170%) em 4 horas, sem redução da vida útil.

Os resultados obtidos após os ensaios elétricos no transformador e no óleo vegetal, foram os esperados, uma vez que o óleo vegetal tem características superiores ao óleo mineral isolante.

Naturalmente, ainda há muito do que se aprender com a utilização do óleo vegetal. Com a utilização dessa nova tecnologia, as empresas fabricantes de transformadores e fornecedoras de óleo vegetal estarão adquirindo experiência e assim adequando seus projetos de transformadores de potência para o uso do óleo vegetal .

12.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) Catálogo ABB **BIOTEMP®**, Fluido Isolante Dielétrico Biodegradável.
- (2) T.V. OOMMEN. Vegetable Oils for Liquid-Filled Transformers. ; IEEE Electrical Insulation Magazine. Janeiro/Fevereiro 2002.
- (3) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Óleo Vegetal Isolante para Equipamentos Elétricos. NBR15422. Brasil.
- (4) ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Proteção Contra Incêndio em Subestações Elétricas de Geração, Transmissão e Distribuição. NBR 13231. Brasil.
- (5) IEEE PC57.147/FD7. IEEE Guide for Acceptance and Maintenance of Natural Ester Fluids in Transformer. New York, USA, 2005.
- (6) IEC 61936-1. Power Installations Exceeding 1kV AC. Outubro / 2002.
- (7) CLAIBORNE.C.C, WALSH. E.J, OOMMEN. T.V. An Agriculturally Based Biodegradable Dielectric Fluid. IEEE. 1999.