



**XX Seminário Nacional de Distribuição de Energia Elétrica**  
**SENDI 2012 - 22 a 26 de outubro**  
**Rio de Janeiro - RJ - Brasil**

<b>LINDOLFO JUNIOR DE OLIVERIRA SALES</b>	<b>JOSE MAK</b>	<b>FLAVIO FARIA</b>
<b>Companhia Energética do Rio Grande do Norte</b>	<b>CENTRO DE GESTAO DE TECNOLOGIA E INOVACAO</b>	<b>CENTRO DE GESTAO DE TECNOLOGIA E INOVACAO</b>
<a href="mailto:lindolfo.oliveira@cosern.com.br">lindolfo.oliveira@cosern.com.br</a>	<a href="mailto:josemak@buenomak.com.br">josemak@buenomak.com.br</a>	<a href="mailto:ffaria@buenomak.com.br">ffaria@buenomak.com.br</a>

<b>IGOR MATEUS DE ARAUJO</b>	<b>JOSE FRANCISCO DOS SANTOS NETO</b>
<b>Companhia Energética do Rio Grande do Norte</b>	<b>Companhia Energética do Rio Grande do Norte</b>
<a href="mailto:igor.araujo@cosern.com.br">igor.araujo@cosern.com.br</a>	<a href="mailto:jose.neto@cosern.com.br">jose.neto@cosern.com.br</a>

**A experiência da COSERN com a inserção de óleo vegetal em equipamentos da transmissão**

**Palavras-chave**

Envirotemp® FR3TM  
ENSAIOS LABORATORIAIS  
MEIO AMBIENTE  
MISTURA ÓLEO VEGETAL E OLEO MINERAL  
OLEO VEGETAL

**Resumo**

Este trabalho tem por finalidade apresentar a experiência da COSERN com a inserção de óleo vegetal em equipamentos de suas subestações. A COSERN realizou um estudo pioneiro, em parceria com o CGTI, Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação em Campinas/SP, que tem como principal produto a utilização segura de um novo fluido isolante, a mistura de óleo vegetal e mineral. A pesquisa testou e aprovou a mistura em diferentes proporções, através da inserção em equipamentos da transmissão da COSERN de classe tensão 15KV, bem como, de inúmeras análises laboratoriais.

Com o foco principal na sustentabilidade, levando-se em consideração os custos envolvidos, o significativo

volume de óleo mineral existente nos equipamentos das concessionárias de energia, e os resultados alcançados pelo projeto, percebe-se a imensa aplicabilidade do estudo às empresas nacionais e estrangeiras distribuidoras de energia elétrica, no que tange à substituição de um material de origem fóssil, nos procedimentos de reposição de óleo, por um material produzido por biomassa renovável, com melhores características ambientais.

Os resultados alcançados vêm consolidando uma importante massa crítica na utilização de óleos biodegradáveis o que permitirá a substituição gradual do Óleo Mineral Isolante (OMI) pelo Óleo Vegetal Isolante (OVI).

## **1. Introdução**

Em sintonia com as novas questões ambientais que recentemente e de forma crescente tem sido motivo de preocupação pela comunidade mundial, a COSERN em parceria com o CGTI (Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação), desenvolveu uma linha de pesquisa inédita, objetivando a substituição gradual da carga de óleo mineral, existente nos equipamentos da transmissão e distribuição, pelo óleo vegetal a base soja, utilizando nas misturas, o fluido Envirotemp® FR3TM que é 100% derivado de sementes e possui aditivos de classe comestível.

O perfil ambiental e de saúde do Envirotemp® FR3TM é imbatível frente a outros fluidos dielétricos e sua taxa de biodegradação atende os requisitos para a classificação de “Máxima Biodegradabilidade” pela Agencia de Proteção Ambiental dos EUA (EPA). Além disso, os testes de toxidez aquática aguda e LD50 oral provaram à qualidade não tóxica e não bio-acumulativa deste fluido.

Podemos citar ainda outras vantagens do óleo vegetal (OVI) em relação ao óleo mineral (OMI), como por exemplo, menor risco de contaminação durante o manuseio e armazenamento, maior segurança contra incêndios, proporcionando menor risco patrimonial, maior tolerância à umidade que juntamente com a maior estabilidade à oxidação minimizam a formação de borra e ácido no óleo e aumentam a vida útil do equipamento.

O grande diferencial dessa pesquisa é o ineditismo de estudar o comportamento da mistura de OVI e OMI, em diferentes proporções, o que permitiria, na prática, a substituição gradual do óleo mineral existente pelo óleo vegetal (OVI) nos processos de manutenção e reposição, reduzindo o impacto ambiental, na medida em que melhora as características do fluido isolante, tornando-a mais biodegradável, e evitando o problema de descarte de grandes quantidades de óleo mineral.

Através do emprego do óleo vegetal (OVI) em mistura ao óleo mineral (OMI), obteve-se a melhoria das características da isolação líquida existente, possibilitando um melhor desempenho dos equipamentos em relação àquele obtido com os óleos convencionais. Dentre as novas características obtidas com a mistura de OVI e OMI, podemos citar: maior biodegradabilidade, maior resistência à oxidação, maior poder de transferência de calor, maior vida útil para os disjuntores, menores temperaturas de funcionamento, estabilidade térmica.

Os custos de implantação envolvidos são razoáveis e será o da diferença de custo da aquisição do óleo vegetal em relação ao óleo mineral isolante que atualmente, para grandes volumes, é 40% maior. O óleo mineral custa atualmente R\$ 5.50/Litro contra R\$7.50 do óleo vegetal. Todos os outros custos de processos (transporte, comissionamento, manuseio, estocagem, tratamento, preenchimento e descarte) serão os mesmos dos processos atuais, não sendo necessárias alterações, tornando a aplicabilidade altamente factível sob o ponto de vista da simples reposição em equipamentos elétricos de distribuição.

Por fim, conclui-se a viabilidade técnica da utilização deste novo fluido isolante (mistura), nos religadores e

disjuntores de 15KV, assim como nos transformadores de serviços das subestações, tendo sido demonstrado indícios de melhoria do desempenho dos equipamentos com maior percentual de OVI, onde este atuou de maneira a preservar os componentes internos dos religadores, aumentando suas vidas úteis. Considerando-se os benefícios ambientais obtidos com a utilização do óleo vegetal e que os custos envolvidos no processo de substituição são plausíveis e possíveis, evidenciou-se a imensa aplicabilidade do projeto às empresas nacionais e estrangeiras, distribuidoras de energia elétrica que utilizam fluido isolante de origem mineral nos procedimentos de reposição de óleo em equipamentos de classe de tensão 15 kV.

## 2. Desenvolvimento

### Plano de Estudo Laboratorial

Como resultado de uma vasta pesquisa bibliográfica em inúmeros artigos publicados, optou-se pela utilização do óleo vegetal a base de soja Envirotemp® FR3TM, tendo sido demonstrado diversas aplicações desse fluido isolante em equipamentos elétricos selados.

Inicialmente foram realizadas as análises em laboratório de cinco diferentes proporções de OVI e OMI, comparando-se os resultados das misturas com os valores para o óleo mineral puro e o óleo vegetal puro. A tabela 1 demonstra os resultados obtidos, as proporções das misturas e quais ensaios foram realizados.

Não foram identificados nestes ensaios valores que caracterizassem alguma não conformidade dos fluidos isolantes e impossibilitasse a continuidade das pesquisas com alguma das misturas.

**Tabela 1 - Definição da misturas pesquisadas e resultados dos ensaios laboratoriais**

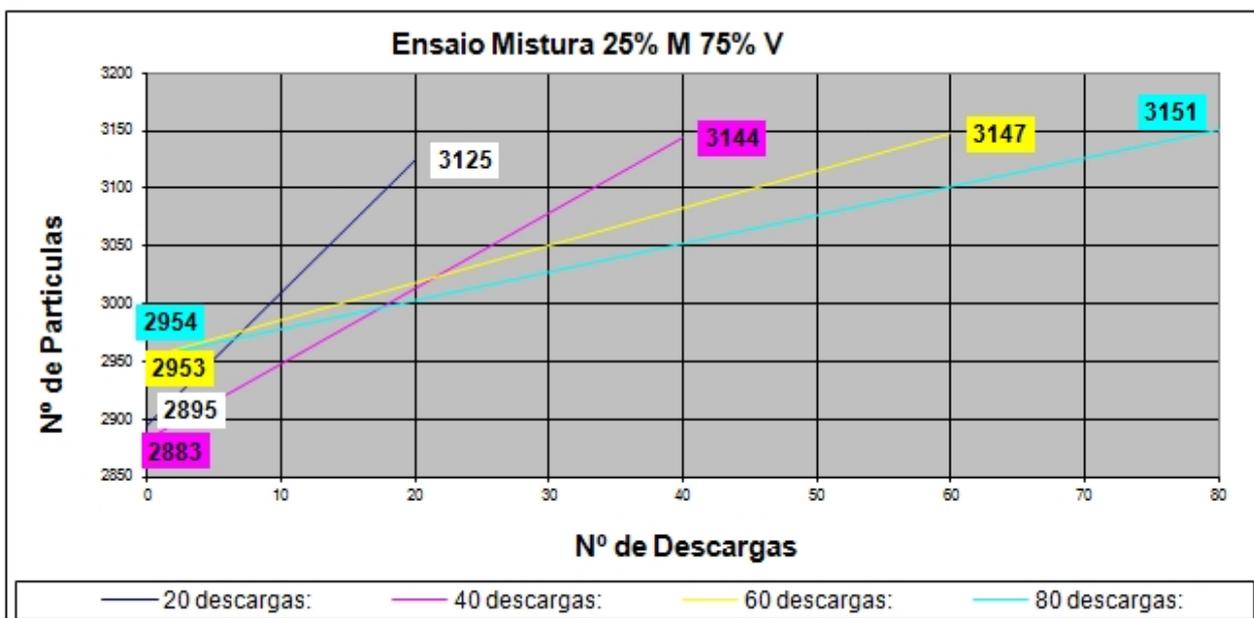
<b>MISTURAS ANALISADAS</b>	<b>100%OMI</b>	<b>100% OVI</b>	<b>10% OVI 90% OMI</b>	<b>25% OVI 75% OMI</b>	<b>50% OVI 50% OMI</b>	<b>75% OVI 25% OMI</b>	<b>90% OVI 10% OMI</b>
Densidade	0,877	0,918	0,88	0,887	0,898	0,908	0,914
Tensão Interfacial	40,1	23,4	26,4	24,8	24,2	24,5	23,7
Teor de Água	22	86	29	44	40	79	90
Rigidez Dielétrica	58	39	55	51	48	47	46
Índice de Neutralização	0,006	0,006	0,011	0,009	0,015	0,009	0,012
Fator de Perdas 20 °C	0,031	0,016	0,026	0,015	0,048	0,029	0,016
Fator de Perdas 100 °C	0,03	0,139	0,09	0,28	0,61	0,574	0,79
Ponto de Fulgor	148	318	153	155	164	171	195
Viscosidade	9,19	36,86	11,85	18,01	18,48	27,2	33,43
Ponto de Fluidez	-55	-18	-42	-46	-41	-27	-23
Contagem de Partículas	1667	6169	1119	993	973	878	6304

Os resultados demonstrados subsidiaram a escolha de três misturas, 10%OVI 90%OMI, 25%OVI 75%OMI e 75%OVI 25%OMI, que apresentaram melhor desempenho, mais próximo do óleo mineral puro.

Na sequência, foi realizada a segunda fase de ensaios laboratoriais com as três misturas escolhidas, a saber, ensaios de resistência ao arco elétrico e contagem de partículas, tendo por finalidade avaliar o comportamento das misturas quanto à formação de partículas após a aplicação de descargas elétricas. Essa simulação em laboratório possibilitou, em tese, verificar o que acontece nos fluidos isolantes dos equipamentos em campo quando estes são exigidos, repetidas vezes, a extinguir um arco elétrico.

Este ensaio foi realizado no instrumento de medição de rigidez dielétrica, com eletrodos de disco à 2,5mm de distância, substituindo a cada sequência de 160 descargas a amostragem da mistura considerada. Foram

realizadas séries de 20, 40, 60, 80, 100, 120, 140 e 160 descargas. Os valores iniciais e finais do número de partículas para cada série foram anotados e analisados. O gráfico abaixo representa os valores encontrados para a mistura 75%OVI 25%OMI, no intervalo de 80 descargas.



**Gráfico 1 – Resultados do ensaio de contagem de partículas. Intervalo de 80 descargas.**

Os resultados dos ensaios de resistência ao arco e de contagem de partículas mostraram que qualquer das três misturas escolhidas atendia às necessidades esperadas para aplicação em campo, porém apenas duas das misturas foram utilizadas para aplicação nos religadores do sistema. Optou-se pela utilização das misturas 25%OVI 75%OMI e 75%OVI 25%OMI, concluindo-se que estas tinham maior probabilidade de resultados práticos e maior significado ambiental.

### **Religadores Protótipos**

Foram definidos inicialmente, três religadores pilotos tipo ESM 560, de fabricação Cooper, com volume de óleo de 175L, de acordo com critérios logísticos e técnicos listados abaixo:

- Equipamentos instalados em circuitos de menor importância, para no caso de imprevistos causarem menos danos aos consumidores.
- A barra de 13.8KV das subestações escolhidas deveriam possuir religador de transferência para dar agilidade na regularização de possíveis ocorrências.
- As subestações deveriam localizar-se o mais próximo possível da base de manutenção da COSERN.
- Equipamentos que não estivessem comprometidos com possíveis falhas incipientes.

Foram escolhidos dois religadores protótipos na Subestação Cearimir (SE CAM), 21C4 e 21C6, o primeiro com 75%OVI 25%OMI, o segundo com 25%OVI 75%OMI, e para o padrão de comparação da pesquisa o religador 21M5 da subestação Macaíba (SE MCB), contendo 100% de óleo mineral.

Para as misturas com o óleo vegetal a base de soja, foi utilizado óleo mineral regenerado do estoque próprio da COSERN, buscando aproximar o estudo, ao máximo, dos processos já estabelecidos da manutenção, principalmente no que tange a complementação do fluido dos equipamentos que rotineiramente é feito com óleo mineral regenerado, ao mesmo tempo se buscava não extrapolar os custos envolvidos com a aquisição de óleos novos.

Dessa forma introduziu-se no estudo mais uma variável de avaliação, a qualidade do óleo mineral utilizado, que foi monitorada ao longo do projeto, através dos resultados do religador padrão 21M5 SE MCB, desconsiderando-se da avaliação geral os efeitos introduzidos por esta escolha.

Com a finalidade de avaliar a condição inicial dos equipamentos, bem como corrigir possíveis falhas nos componentes internos dos religadores garantindo que estivessem em perfeitas condições para a inserção dos novos fluidos, foi realizada a manutenção preventiva geral detalhada. Na ocasião, além dos ensaios para medição da resistência de isolamento, da resistência dos contatos e da rigidez dielétrica, foi realizada inspeção rigorosa interna e substituição de contatos fixos e móveis, de câmaras de extinção ou dos anéis corta chispa avariados.

Após a manutenção foram inseridas, em Março/2009, as misturas programadas, e foram coletadas as amostras V0 para realização dos ensaios físico químicos dos fluidos inseridos.



**Figura 1 – Manutenção Preventiva para avaliação da condição inicial V0**

Os resultados apresentados na condição inicial V0 para as duas misturas, nos religadores 21C4 e 21C6 SE CAM, tanto na manutenção preventiva, quanto nos ensaios físico químico, estão de acordo com os valores estabelecidos pelo fabricante dos equipamentos e com a norma de análise de óleo isolante.

O resultado da manutenção preventiva realizada no religador 21M5 SE MCB também apresentou resultados satisfatórios, dentro das especificações do fabricante, porém, como previsto quando da escolha de utilização do óleo mineral regenerado, os resultados das análises físico químicas apresentaram pequenas alterações nos ensaios de teor de água e rigidez dielétrica.

O acompanhamento das misturas foi realizado a cada três meses, sendo que, no primeiro trimestre, foi realizada apenas a coleta de amostras das misturas nos religadores da SE CAM (amostras V1 em jun/2009), para as análises laboratoriais. Os resultados apresentados das amostras V1 permaneceram dentro dos valores esperados e não apresentaram alterações relevantes das características iniciais.

No segundo trimestre, além da coleta de óleo (amostras V2 em set/2009), foi realizada inspeção interna dos três equipamentos para avaliação e medição dos desgastes na câmara de extinção de arco, anel corta chispa e

dedos dos contatos, comparando-se com as condições iniciais V0. Na ocasião foram repetidos os ensaios de campo para medição da resistência de isolamento, medição da resistência dos contatos e medição da rigidez dielétrica dos fluidos isolantes.

Os resultados dos ensaios físico químicos, nas amostragens V1 e V2, comprovaram as pequenas alterações do óleo mineral regenerado, verificadas na amostragem V0 do 21M5 SE MCB, fato que não inviabilizou as análises e conclusões, em razão da característica comparativa do estudo, tão pouco, a segurança de operação dos equipamentos que continuaram operando normalmente para continuidade das pesquisas.

Nestes momentos, os religadores 21C4 e 21C6 SE CAM que continham as misturas de OVI e OMI, também apresentaram pequenas alterações, dos ensaios de teor de água e fator de potência, verificadas para o óleo mineral regenerado desde a amostragem V0, porém em menor intensidade, concluindo-se que a presença do óleo vegetal na mistura melhorou as características do fluido como um todo.

Na inspeção interna do religador 21C4 SE CAM, que continha a mistura com maior percentual de OVI, observou-se pequeno depósito de borra, característico do processo de oxidação do óleo vegetal em contato com o oxigênio e umidade do ar atmosférico dos religadores não selados, principal razão da sua alta biodegradabilidade.

**Tabela 2 - Resultados da análises laboratoriais das amostras coletadas em V0, V1 e V2**

ENSAIOS FÍSICO QUÍMICOS	SE CAM - 21C4 75%OVI 25%OMI			SE CAM - 21C6 25%OVI 75%OMI			SE MCB -21M5 100%OMI		LIMITES DE NORMA		
	V0	V1	V2	V0	V1	V2	V0	V1	OVI	OMI	Unidades
Aparência	Límpida	Turvo	Turvo	Límpida	Turvo	Turvo	Límpida	Límpida	---	---	
Cor	---	---	---	---	---	---	---	---	---	---	
Índ Neutralização	0,034	0,073	0,08	0,063	0,079	0,06	0,092	0,05	máx 0,06	máx 0,2	mg KOH/g
Rigidez Dielétrica	40	36,5	23	43,6	26,9	17	23,8	12	30 min	35 min	KV
Teor de Água	81,1	470,9	443,7	166,7	170,5	180,1	52	50,7	200	máx 35	ppm
Viscosidade 40°C	35,7	26,5	24	21	13	12,5	9,4	9,4	50	máx 11	mm <sup>2</sup> /s
Ponto de Fulgor	274	198	186	184	170	168	164	166	275	min 140	°C
Tensão Interfacial	28,7	26	21,6	27,4	21,9	19,7	22,9	21	27	min 22	mN/m
Densidade	0,918	0,911	0,897	0,902	0,888	0,886	0,879	0,877	0,96	máx 0,90	---
Fator Perdas 20°C	0,21	0,756	1,13	0,465	1,13	0,73	0,751	0,6	0,2	máx 0,5	%
Fator Perdas 100°C	2,867	8,735	20,1	7,985	11,78	16,8	9,945	13,3	4	máx 20	%

A partir das comparações dos resultados das análises físico químicas nas amostragens V0, V1 e V2, bem como, da análise criteriosa da condição dos componentes internos, encontrada nos equipamentos após seis meses da inserção das misturas, identificou-se tendências nas alterações das características das misturas, concluindo-se, como já se previa que o óleo vegetal é bastante sensível ao contato com o oxigênio e a umidade do ar atmosférico, existente no sistema não selado dos religadores.

Na ocasião foi identificada como mais favorável e de maior potencial a mistura 25%OVI 75%OMI, pela menor quantidade de óleo vegetal, para ser inserida em outros três religadores, visto que proporcionaria um maior tempo de utilização, antes que os efeitos da presença de oxigênio e umidade afetassem as características da mistura.

A boa margem de segurança operacional evidenciada nos ensaios anteriores da SE CAM, incentivaram a escolha de mais três religadores protótipos, idênticos aos iniciais, porém em locais com maior probabilidade de descargas elétricas e maior número de operações em carga. Foram escolhidos três equipamentos, nas

subestações de Natal I (SE NTU) e Macaíba (SE MCB), para receber a mistura de maior potencial 25%OVI 75% OMI, a saber, 21M2 e 21M3 SE NTU e 21M6 SE MCB.

Os religadores 21C4 e 21C6 na subestação Cearamirim (SE CAM), onde foram inseridas as misturas iniciais, continuaram a ser acompanhados, visando à consolidação das informações obtidas em relação ao seu desempenho no decorrer do tempo e totalizando cinco equipamentos operando com diferentes misturas de OVI e OMI.

Como de praxe foi realizada a avaliação da condição inicial nos mesmos moldes da primeira etapa, com a manutenção preventiva completa nos novos religadores protótipos 21M2 e 21M3 da SE NTU e 21M6 da SE MCB, além da inspeção interna, eventual substituição de componentes e todos os ensaios de campo, quais sejam, medição da isolação, resistência de contatos e rigidez dielétrica. Os mesmos procedimentos foram repetidos para o religador 21M5 SE MCB com 100% de óleo mineral, que continuou a servir como padrão de comparação também para os novos equipamentos estudados.

Dessa forma, em Novembro de 2009, a mistura identificada como mais favorável, com 25%OVI e 75%OMI, foi inserida nos novos religadores da SE NTU e SE MCB, onde, na ocasião, foram coletadas as amostras V0 para acompanhamento dos ensaios laboratoriais.

**Tabela 3 - Cronograma de Acompanhamento**

RELIGADORES PROTÓTIPOS - CRONOGRAMA DE ACOMPANHAMENTO						
Equipamento	mar/09	jun/09	set/09	nov/09	fev/10	mai/10
SE CAM - 21C4 75%OVI 25%OMI	V0 manut	V1	V2 manut		V3	V4 manut
SE CAM - 21C6 25%OVI 75%OMI	V0 manut	V1	V2 manut		V3	V4 manut
SE MCB - 21M5 100%OMI	V0 manut		V1 manut	V1	V2	V3 manut
SE NTU - 21M2 25%OVI 75%OMI				V0 manut	V1	V2 manut
SE NTU - 21M3 25%OVI 75%OMI				V0 manut	V1	V2 manut
SE MCB - 21M6 25%OVI 75%OMI				V0 manut	V1	V2 manut

O acompanhamento do desempenho das misturas nos equipamentos pilotos continuou a ser realizado de forma trimestral, conforme detalhado no cronograma exposto tabela 3.

Os resultados das análises laboratoriais das amostras coletadas em Fevereiro/2010 para todos os religadores evidenciaram alterações nos ensaios de Tensão Interfacial, Rigidez Dielétrica e Teor de água, associados à redução das características dielétricas do óleo mineral regenerado, identificadas e acompanhadas desde a primeira amostragem V0, bem como, a elevada característica higroscópica do óleo vegetal, que apesar de possuir maior tolerância à umidade, absorve naturalmente mais água em contato com o ar atmosférico. De forma semelhante os ensaios para medição do fator de perdas, também apresentaram valores alterados, em razão da composição molecular diferente do óleo vegetal e a sua contínua exposição ao oxigênio e umidade do ar atmosférico.

Na sequência dos experimentos em campo, Maio/2010, foram coletadas novas amostras de óleo de todos os religadores, quando foram realizadas, as manutenções preventivas com os ensaios de isolamento, resistência dos contatos e rigidez dielétrica, além da avaliação da condição operativa dos componentes internos dos seis equipamentos, tais como, contatos fixos e móveis, anéis corta-chispa e câmaras de extinção, visando compará-los às condições verificadas por ocasião da manutenção preventiva inicial (V0).

Na ocasião foram coletadas amostras da borra depositada internamente, procurando identificar se alguma das misturas produzia subprodutos mais agressivos que as outras com o passar do tempo, do ponto de vista da umidade e da abrasividade, bem como os contatos fixo e móveis foram removidos para medição microscópica de desgaste. A comparação destes parâmetros foi definida como principal critério para acompanhamento do desempenho dos sistemas mecânico e do isolamento sólido em longo prazo.

**Tabela 4 - Histórico de operações dos equipamentos estudados**

EQUIPAMENTO	INSERÇÃO	HISTÓRICO DE OPERAÇÕES
SE CAM - 21C4	mar/09	3 vezes por defeito permanente e 10 por religamento automático
SE CAM - 21C6	mar/09	operou 9 vezes por religamento automático
SE MCB - 21M5	mar/09	2 vezes por defeito permanente e 2 por religamento automático
SE NTU - 21M2	nov/09	2 vezes por defeito permanente e 3 por religamento automático
SE NTU - 21M3	nov/09	2 vezes por defeito permanente e 1 por religamento automático
SE MCB - 21M6	nov/09	operou 4 vezes por religamento automático

Considerando que neste momento da pesquisa, Maio/2010, havia decorrido 15 meses da inserção das misturas nos primeiros religadores, foi efetuada a filtragem do óleo do 21C4 e 21C6 SE CAM e do 21M5 SE MCB. O procedimento foi realizado através de filtro prensa, sem a utilização de resistência de aquecimento, numa tentativa de retirar a umidade presente tanto no óleo mineral regenerado, quanto no óleo vegetal, bem mais higroscópico, melhorando suas características dielétricas e consequentemente os resultados dos ensaios de teor de água e rigidez dielétrica. A filtragem surtiu efeito apenas para os ensaios de tensão interfacial, índice de neutralização, viscosidade e contagem de partículas.

**Tabela 5 - Resultados dos ensaios físico químico do 21C4 SE CAM X 21M5 SE MCB**

ENSAIOS FÍSICO QUÍMICOS	SE CAM - 21C4 75%OVI 25%OMI					SE MCB 21M5 100%OMI	LIMITES DE NORMA		
	V0	V1	V2	V3	V4	V3	OVI	OMI	Unidades
Contagem de Partículas	335635	105175	84.681	52.084	22258	66728	—	—	
Índ Neutralização	0,034	0,073	0,08	0,12	0,13	0,06	máx 0,06	máx 0,2	mg KOH/g
Rigidez Dielétrica	40	36,5	23	24	27	28	30 min	35 min	KV
Teor de Água	81,1	470,9	443,7	252,8	249,8	57,6	200	máx 35	ppm
Viscosidade 40°C	35,7	26,5	24	23,6	12,6	9,7	50	máx 11	mm <sup>2</sup> /s
Ponto de Fulgor	274	198	186	158	188	186	275	min 140	°C
Tensão Interfacial	28,7	26	21,6	22,9	21,8	25,3	27	min 22	mN/m
Densidade	0,9183	0,9105	0,897	0,8986	0,8947	0,8782	0,96	máx 0,90	—
Fator Perdas 20°C	0,21	0,756	1,13	1,1	1,69	0,46	0,2	máx 0,5	%
Fator Perdas 100°C	2,867	8,735	20,1	20,6	23,32	11,44	4	máx 20	%

A tabela 5 apresenta os resultados de todos os ensaios físico químico efetuados no religador 21C4 SE CAM. Os demais religadores apresentaram tendências semelhantes as do 21C4 SE CAM, sendo este o de maior relevância por conter o maior percentual de óleo vegetal.

Em âmbito geral, os resultados das análises laboratoriais encontrados estão dentro das tendências esperadas, considerando-se os resultados iniciais do óleo mineral regenerado e as características especiais do óleo vegetal, razão de sua alta biodegradabilidade, e que pela sua composição molecular, sofre maiores alterações em suas características quando em contínua exposição a umidade e o oxigênio do ar atmosférico dos sistemas não selados em que foram empregados.

Verificou-se nos ensaios laboratoriais e nas manutenções preventivas, bem como na avaliação dos componentes internos, que o 21C4 SE CAM, com 75%OVI 25%OMI, apresentou resultados semelhantes aos obtidos pelos demais equipamentos, apesar deste conter uma maior proporção de OVI.



**Figura 2 – Avaliação dos componentes internos e coleta da borra do 21C4 SE CAM**

Os resultados dos ensaios de abrasividade e umidade da borra depositada permitiram o diagnóstico de aspectos estratégicos envolvendo o potencial de aplicação do óleo vegetal ao sistema elétrico da COSERN. Na medida em que a concentração de umidade na borra apresentou valores considerados normais para os óleos empregados e a avaliação microscópica dos sulcos encontrados nos contatos, indicou que houve redução na profundidade dos sulcos medidos quanto maior a proporção de OVI na mistura concluiu-se que o OVI atuou de maneira a preservar os componentes internos dos religadores estendendo suas vidas úteis.



**Figura 3 – Imagens microscópicas da análise feitas nos contatos dos religadores estudados**

Como resultado das pesquisas, definiu-se como principal parâmetro de campo para acompanhamento dos sistemas mecânicos e da isolamento sólida dos religadores, a avaliação dos desgastes dos componentes internos, tais quais, contatos fixos e móveis, anel corta chispa e câmaras de interrupção.

Para confirmação da tendência de preservação dos contatos e avaliação da viabilidade econômica da substituição gradual do OMI pelo OVI em todos os disjuntores/religadores de 15KV da COSERN, decidiu-se por aumentar a base de dados, prospectando e avaliando o desempenho de misturas semelhantes em situações de maior risco e de mais alta sensibilidade a falhas elétricas, consolidando uma massa crítica de conhecimentos a cerca de seu uso através da repetição dos resultados.

Dessa forma nesta nova fase da pesquisa, a partir de 2011, a subestação Maísa foi contemplada com 7 equipamentos, dos quais, 3 religadores, 1 disjuntor geral de barra e 2 transformadores auxiliares, contendo a mistura 75%OVI 25%OMI e um disjuntor geral de barra com 100% de OMI. Na subestação Neópolis (SE NEO) foram escolhidos os dois transformadores auxiliares, o primeiro contendo 100% OMI e o segundo a mistura 25%OVI 75% OMI.

Ao longo do mês de Junho/2011 foram realizadas as manutenções preventivas completas, nos novos equipamentos, com as inspeções internas para avaliação das condições iniciais, além dos ensaios de isolamento, medição das resistências de contato, relação de transformação e rigidez dielétrica do óleo. Após as manutenções as misturas planejadas foram inseridas e foram coletadas as amostras para o acompanhamento dos ensaios laboratoriais. Também foram inspecionados internamente todos os equipamentos da etapa anterior, quando foram coletadas amostras para novas análises físico químicas.

Foram adquiridos pela COSERN 10 transformadores de 45KVA novos para instalação nas subestações como transformadores de serviços auxiliares, operando com 9 diferentes misturas, de 10% a 90% de OVI. Foram realizados os ensaios de recepção em campo e coleta de amostras para análises físico químicas e cromatográficas. Em seguida os transformadores foram instalados e encontram-se operando em condições normais continuamente, onde serão acompanhados visando o levantamento de parâmetros dos ensaios Físico-Químicos e Cromatográficos para futura Normatização para Misturas.

A COSERN possui hoje no sistema 13 subestações que contém em alguns dos seus equipamentos a mistura em diferentes proporções. No conjunto desses equipamentos estão incluídos religadores, disjuntores gerais, e transformadores de serviço. Atualmente, a COSERN possui aproximadamente 1.500 litros de óleo vegetal em seus equipamentos.

Os equipamentos estudados que contém as misturas de OVI e OMI continuam a ser acompanhados trimestralmente através de coleta de amostras, ensaios de campo e inspeções internas e vêm apresentando excelentes desempenhos.

A COSERN com esse projeto abriu as portas do mercado para uma maior utilização do óleo vegetal pelas empresas de energia elétrica, na medida em que vem consolidando uma massa de conhecimentos técnicos que dá segurança para a utilização da mistura de OVI e OMI nos equipamentos de classe de tensão 15KV.

### **3. Conclusões**

Os resultados das análises laboratoriais e das manutenções preventivas para avaliação dos componentes internos delinearão tendências já esperadas, em razão da composição molecular do óleo vegetal e de sua contínua exposição a umidade e oxigênio do ar atmosférico, características essas, razão da alta biodegradabilidade do óleo vegetal e intrínseca aos sistemas não selados dos equipamentos estudados.

A umidade manteve-se em patamares considerados normais, para os fluidos empregados, e a avaliação da abrasividade indicou que o óleo vegetal atuou de maneira a preservar os componentes móveis dos religadores uma vez que o aumento na proporção deste fluido (OVI) acarretou em sulcos menos profundos.

Os resultados alcançados pela pesquisa evidenciaram um bom comportamento das misturas em diversos equipamentos de 15KV nas subestações da COSERN. As misturas de OVI com OMI não só cumpriram adequadamente com a função de isolamento dielétrica, como contribuíram para um menor desgaste dos contatos elétricos dos equipamentos, trazendo para a empresa uma redução dos custos de manutenção à médio prazo.

Sendo assim, comprovou-se ser tecnicamente viável e economicamente possível, a substituição gradativa do

óleo mineral pelo óleo vegetal. Com o foco principal na sustentabilidade, levando-se em consideração os custos envolvidos, o significativo volume de óleo mineral existente nos equipamentos das concessionárias de energia, e os resultados alcançados pelo projeto, percebe-se a imensa aplicabilidade do estudo às empresas nacionais e estrangeiras distribuidoras de energia elétrica, no que tange à substituição de um material de origem fóssil, em seus procedimentos de reposição de óleo, por um material produzido por biomassa renovável, com melhores características ambientais.

O ineditismo deste projeto é justamente a obtenção de um novo fluido isolante (a mistura de OVI e OMI) para disjuntores, religadores e transformadores auxiliares de 15KV, que pode melhorar o desempenho desses equipamentos e estender suas vidas úteis reduzindo substancialmente os custos de manutenção em longo prazo.

#### **4. Referências bibliográficas**

BASSETTO F., A. et al. Diagnostic assessment of the condition of insulating systems in power transformers. In: SUBSTATION EQUIPMENT DIAGNOSTICS CONFERENCE, 8, Nova Orleans, 1999. Anais. Palo Alto, EPRI, 1999, 9 p.

SUNDIN, D.W. The Relationship Between Laboratory Tests and Transformer Flammability In: THE INSTITUTE OF ELECTRIC AND ELECTRONIC ENGINEERS MONTECH CONFERENCE. Anais. Montreal, Quebec, 1998, 10 p.

MC SHANE, C. P., MARTINS, M.N. Desenvolvimento e Aplicação de Fluido Dielétrico de Base Vegetal para Transformadores de Distribuição e Potência., IV Conferencia Doble no Brasil, Belo Horizonte, Brasil, ago/2003.

McSHANE, C. P., RAPP, K.J., CORKRAN, J. L., GAUGER, G. A., LUKSICH, J. Aging of Paper Insulation in natural Ester Dielectric Fluid. Transmission & Distribution Conference & Exposition, IEEE/PES, Atlanta - GA, Nov, 2001.

SHELLHASE, H. & DOMINELLI, N "Environmentally acceptable transformer oils" EPRI Report WO 4338-01, Palo Alto - CA, EPRI, Out. 2000, 90 p.

BASSETTO F., A. & MAK, J. Maintenance practices to improve loading and to extend the life of power transformers. In:TECHCON 96, Nova Orleans,1996.Anais. Sacramento, TJ/H2b, 1996,9 p.

BASSETTO F., A. & MAK, J. Medidas que podem dobrar a vida útil de transformadores de potência. Eletricidade Moderna, v. 258, p. 28, julho, 1995.

SUNDIN, D.W. Biologic Decomposition of Liquid Dielectrics"; Elektrik Magazine (publicação da União Russa de Engenheiros de Sistemas de Potência), Moscou, fevereiro, 1992.

SUNDIN, D.W. The Relationship Between Dielectric Fluid Viscosity and Transformer Cooling Performance. IEEE Transactions of the International Conference on Electrical Insulating and Dielectric Phenomenon. Tóquio, junho, 1991.

McSHANE, C. P. New Safety Dielectric Coolants for Distribution and Power Transformers. IEEE Industry Applications Magazine, vol. 6, nº 3, pp.24-32, Maio/Junho 2000.

OOMMEN, T.V., CLAIBORNE, C.C. Biodegradable Insulating Fluid from High Oleie Vegetable Oils. CIGRE 15-302, 1998.

XIE, J. HSICH, Y.L. Enzyme-Catalysed Transesterification on Cellulose. Conf. Proc. ACS Polymeric Mats., vol. 82, pp. 406-407, 2000.

ILUANG, M.R., LI, X.G. Thermal Degradation of Cellulose and Cellulose Esters. J. of Applied Polymer Science, vol. 68, pp. 293-304, 1998.

SAMESIMA, M. I., ARAÚJO, S. C. N. Avaliação estimativa de perda de vida de transformadores. Ciência & Engenharia. Uberlândia:, v.1, p.65 - 78, 1994.

SUNDIN, D.W. Biologic Decomposition of Liquid Dielectrics. Elektrik Magazine (publicação da União Russa de Engenheiros de Sistemas de Potência), Moscou, fevereiro, 1992.

BASSETTO F., A. et al. Effects of preservation systems on the condition of the insulating systems in power transformers. In: TECHCON 99, Nova Orleans, 1999. Anais. Sacramento, TJ/H2b, 1999, 11 p.

---