

Análise de Inserção de Novos Fluidos, Econômico e Tecnicamente mais Eficientes em Disjuntores/Religadores

José Mak, Roberto Luiz Crespo Maciel, Flávio Faria, CGTI – Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação - Campinas - SP. Igor Mateus de Araújo, COSERN-Companhia Energética do Rio Grande do Norte-Natal-RN

Resumo – Este artigo apresenta estudo e definição de potenciais fluidos ecológicos para substituição ou mistura com vantagens, dos óleos isolantes convencionais em religadores de 15 kV.

Proporções de misturas de óleo vegetal e mineral foram estudadas em laboratório e campo, para avaliar seu desempenho em curto e longo prazo quanto à preservação do meio ambiente e extensão de vida útil para religadores, em condições controladas (laboratoriais) e reais de solicitações sob curto circuito.

Foram estudadas as principais características dos novos fluidos (misturas) e sua influência sobre os religadores visando manutenção do desempenho dos mesmos.

A higroscopicidade do óleo vegetal foi considerada para a solução dos problemas de formação de resíduos abrasivos advindos dos arcos de alta energia durante a abertura dos contatos em serviço.

O tratamento das informações obtidas no estudo possibilitou enriquecimento em área pouco pesquisada, permitindo novas linhas de pesquisa envolvendo áreas normalmente separadas como a engenharia de sistemas e química aplicada.

Palavras-chave - Fluidos, Óleo Mineral, Óleo Vegetal, Religadores.

I. INTRODUÇÃO

Há mais de 100 anos, o sistema isolante de equipamentos elétricos é constituído basicamente de madeira, papel, fenólicos e óleo isolante. Embora seja possível empregar novos materiais em equipamentos novos, no caso dos existentes, só se faz atualmente a regeneração do óleo antigo ou sua substituição por novo. Em ambos os casos existem perdas e problemas de descarte de óleo mineral no meio ambiente. As características indesejáveis dos óleos atuais, como por exemplo, a baixa biodegradabilidade, não tem sido objeto de estudos para a solução dos problemas de contaminação ambiental, um dos maiores problemas das concessionárias de energia elétrica ou ainda do desempenho em serviço.

No início deste estudo não se conhecia o

benefício da simples inserção de novos fluidos em religadores em uso. Por tal motivo a COSERN elaborou juntamente com o NEPEN esta pesquisa, visando avaliar a inserção destes fluidos em religadores instalados no sistema.

Ainda no caso de religadores existentes, não havia qualquer estudo disponível sobre fluidos isolantes alternativos que pudessem ser utilizados em substituição aos óleos isolantes convencionais.

O emprego de óleo isolante vegetal teve por finalidade reduzir as características indesejáveis dos óleos atuais, e trazer características desejáveis como a biodegradabilidade, maior resistência à oxidação, maior vida útil para o religador, estabilidade térmica e menor custo de manutenção.

O emprego de fluidos biodegradáveis tem por finalidade solucionar os problemas no trato com o meio ambiente de forma efetiva e econômica e o problema incipiente da escassez da matéria prima para óleo mineral isolante no mundo.

II. METODOLOGIA DA PESQUISA

Pesquisados inicialmente na literatura nacional e internacional, o estado da arte referente à disponibilidade de fluidos isolantes com potencial para substituição com vantagens dos óleos isolantes convencionais. Identificados os passíveis de utilização, iniciou-se um estudo sobre resultados laboratoriais então disponíveis, visando analisar, avaliar e comparar o desempenho de óleos compostos de misturas simples de apenas dois ou três tipos de moléculas de hidrocarbonetos, e também óleos isolantes derivados de óleos vegetais.

Com base nos resultados da avaliação dos dados laboratoriais disponíveis, foi estabelecido um plano de utilização de mistura de óleos em equipamentos em operação no campo. Para

possibilitar a realização das avaliações pretendidas, foram estudados conjuntos de condições favoráveis e desfavoráveis, com maior possibilidade de ocorrência na prática.

Foram definidos inicialmente três religadores pilotos para emprego dos fluídos isolantes a serem avaliados. Para a SE Ceará Mirim foram selecionados o Religador 21C4 com mistura 75V25M (75% de óleo vegetal e 25% de óleo mineral) e o Religador 21C6 com mistura 25V75M (25% de óleo vegetal e 75% de óleo mineral).

Para a SE Macaíba foi escolhido o Religador 21M5 com mistura 0V100M (100% de óleo Mineral). Esse religador foi utilizado como padrão de referência para efeito de comparações de resultados de laboratório com as demais misturas utilizadas, durante todo o projeto.

Os religadores protótipos escolhidos foram submetidos a manutenção preventiva geral detalhada antes da inserção dos novos fluídos, de forma a garantir que estivessem em perfeitas condições quando do início dos ensaios. Nas manutenções preventivas realizadas, além dos ensaios de isolamento, resistência de contatos e rigidez dielétrica, foi verificada a parte interna dos religadores, tais como contatos fixos e móveis, anel corta-chispa, câmaras, etc; e corrigidas eventuais distorções apresentadas. Após manutenção e inserção dos novos fluídos, foram coletadas amostras dos fluídos isolantes utilizados para ensaios de laboratório, visando estabelecer as condições de partida (V0) para os equipamentos.

Os religadores foram acompanhados por um período de seis meses, com ensaios de laboratório (físicos químicos e gás cromatografia) para o fluído isolante a cada três meses e ensaios de avaliação em campo e inspeção geral ao final do semestre.

Após os primeiros seis meses de experimentos e avaliando-se os ensaios e o comportamento dos fluídos em utilização, optou-se por aplicar o mesmo procedimento a mais três religadores do sistema, situados agora em posições mais severas com relação a ocorrências de desligamentos por descargas atmosféricas e curtos circuitos. Foram escolhidos os religadores 21M2 e 21M3 da SE Natal 1 e o religador 21M6 da SE Macaíba. Esses novos religadores escolhidos foram submetidos a manutenção preventiva geral e inserida nos mesmos a mistura 25V75M (25% de óleo vegetal e 75% de óleo mineral). Como religador de referência para acompanhamento comparativo dos resultados dos ensaios foi mantido o 21M5 da SE Macaíba, com mistura 0V100M (100% de óleo mineral) que já vinha sendo utilizado como padrão comparativo.

Prosseguindo com a pesquisa, foram efetuados ensaios de laboratório (trimestrais) nos fluídos

utilizados e avaliações de campo (semestrais) para os seis religadores em testes (21C4 e 21C6 de Ceará Mirim, 21M5 e 21M6 de Macaíba e 21M2 e 21M3 de Natal).

Os resultados obtidos foram tabulados e avaliados e apresentados em relatórios, a partir dos quais foi efetuada a avaliação geral dos resultados do projeto.

Outro aspecto do ineditismo deste projeto foi estender, no estudo em campo, aspectos e variáveis tipicamente consideradas isoladas apenas em condições laboratoriais. A avaliação com insumos oriundos de equipamento em operação incorporou novos itens de avaliação como coleta e ensaios de borra depositada nos contatos, não previstos em processos convencionais de acompanhamento de desempenho de óleos isolantes em serviço. As amostras de borra foram coletadas para verificação da abrasividade, sendo que o teste de abrasividade visa identificar se alguma das misturas utilizadas produz borra mais agressiva que as outras, com relação ao desgaste dos contatos do religador.

Na etapa de “Avaliação geral e análise da viabilidade econômica x aumento de vida útil dos disjuntores” são apresentados os resultados verificados em Laboratório, da abrasividade e da umidade encontrada nas amostras de borra coletadas junto aos contatos móveis e fixos dos religadores.

III. Resultados Alcançados

O estudo foi desenvolvido por etapas no período de três anos obtendo-se os seguintes resultados:

A) **“Investigação de fluidos isolantes alternativos para uso em substituição de óleos isolantes convencionais.”**

Como resultado da pesquisa bibliográfica em artigos publicados em Seminários, Revistas, Fornecedores de Óleo Vegetal, Laboratórios de Análise de Óleo e na Internet o material apresentado – Levantamento do Estado da Arte e definição de possíveis fluídos isolantes alternativos, pode-se concluir que se atendeu ao objetivo dessa Etapa do estudo demonstrando que a aplicabilidade do óleo vegetal (de soja) já é uma realidade no cenário elétrico mundial na utilização em equipamentos elétricos, porém não foi encontrada nenhuma referência de estudo e desenvolvimento de aplicação de óleo vegetal em religadores. Foram pesquisados e caracterizados neste relatório os fluídos isolantes alternativos para o desenvolvimento desse projeto, como o óleo de soja e os de semente de girassol, milho e colza.

B) **“Avaliação de dados laboratoriais de fluidos isolantes alternativos com maior**

potencial de desempenho satisfatório quanto à preservação do meio ambiente.”

Plano de Estudo Laboratorial

Ensaio de Laboratório:

Fase 1. Indicação e seleção de líquidos puros (padrões) para testes laboratoriais.

1.1- Óleo mineral Naftênico tipo A. (Fluido 1; F-1)

1.2 - Óleo vegetal de maior potencial definido nos estudos da etapa 3. (Fluido 2; F-2)

Fase 2. Ensaio laboratorial nos líquidos padrões e misturas compostas.

Tabela de misturas (considerando 2 líquidos isolantes – F 1 e F 2) em volume:

| | |
|-----------|-----------------------|
| 2.1..... | 100% F-1 (referência) |
| 2.2 | 100% F-2 |
| 2.3 | 90% F-1 + 10% F-2 |
| 2.4 | 75% F-1 + 25% F-2 |
| 2.5 | 50% F-1 + 50% F-2 |
| 2.6 | 25% F-1 + 75% F-2 |
| 2.7..... | 10% F-1 + 90% F-2 |

Ensaio nos fluídos 2.1 a 2.7.

- a) Densidade
- b) Tensão interfacial
- c) Teor de água
- d) Rigidez Dielétrica (eletrodo Disco)
- e) Índice de neutralização (acidez)
- f) Fator de perdas dielétricas a 20°C e 100°C
- g) Ponto de fulgor
- h) Viscosidade cinemática a 40°C
- i) Ponto de fluidez
- j) Contagem de partículas

Ensaio: 7 amostras X 10 ensaios = 70 ensaios

Escolhidas 3 entre as 5 misturas, para análise em laboratório, comparativamente aos líquidos puros e resistência ao arco elétrico no instrumento de rigidez dielétrica.

Fase 3. Resultados dos ensaios de Laboratório.

| Mistura de Fluídos | 2.1 | 2.2 | 2.3 | 2.4 | 2.5 | 2.6 | 2.7 |
|--------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Densidade | 0,877 | 0,918 | 0,880 | 0,887 | 0,898 | 0,908 | 0,914 |
| TIF | 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 |
| Ind. Neutralização | 0,006 | 0,006 | 0,011 | 0,009 | 0,015 | 0,009 | 0,012 |
| Fator 20°C | 0,031 | 0,016 | 0,026 | 0,015 | 0,048 | 0,029 | 0,016 |

| Fator 100°C | 0,030 | 0,139 | 0,090 | 0,280 | 0,610 | 0,574 | 0,790 |
|---------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Ponto de fulgor | 148 | 318 | 153 | 155 | 164 | 171 | 195 |
| Viscosidade | 9,19 | 36,86 | 11,85 | 18,01 | 18,48 | 27,20 | 33,43 |
| Ponto de fluidez | -55 | -18 | -42 | -46 | -41 | -27 | -23 |
| Contagem partículas | 1667 | 6169 | 1119 | 993 | 973 | 878 | 6304 |

| | | |
|-----|--------|--|
| 2.1 | 100M | 100% de óleo Mineral (óleo Mineral puro) |
| 2.2 | 100V | 100% de óleo Vegetal (óleo Vegetal puro) |
| 2.3 | 90M10V | 90% óleo Mineral e 10% óleo Vegetal |
| 2.4 | 75M25V | 75% óleo Mineral e 25% óleo Vegetal |
| 2.5 | 50M50V | 50% óleo Mineral e 50% óleo Vegetal |
| 2.6 | 25M75V | 25% óleo Mineral e 75% óleo Vegetal |
| 2.7 | 10M90V | 10% óleo Mineral e 90% óleo Vegetal |

Tabela 1: Resultados das análises de ensaios das misturas

O principal produto desta etapa foi a elaboração da tabela acima, com os valores resultantes dos ensaios laboratoriais.

O objetivo desta etapa foi possibilitar a escolha de 3 entre as 5 misturas ensaiadas, as quais foram analisadas em comparação com os líquidos puros (padrão).

As misturas escolhidas para o prosseguimento da pesquisa foram as de proporções 2.3 (90% mineral e 10% vegetal), 2.4 (75% mineral e 25% vegetal) e 2.6 (25% mineral e 75% vegetal).

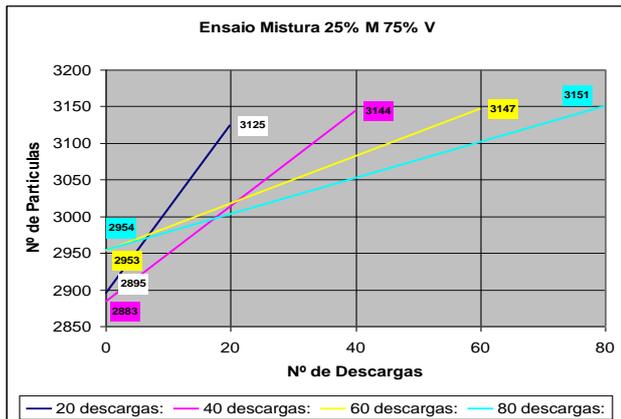
Fase 4. Ensaio de resistência ao arco.

Relatório dos ensaios com resultados da aplicação de descargas nas 3 misturas sob ensaio, através do instrumento de rigidez dielétrica, com anotações dos valores obtidos para a contagem de partículas e teor de água, após cada 20 descargas. Os ensaios foram efetuados até atingir 160 descargas. Após cada 20 descargas os eletrodos do aparelho de ensaio eram examinados para verificação de eventual ocorrência de carbonização entre os mesmos.

Apresentação dos resultados:

Essa fase do plano de estudo laboratorial visa avaliar as 3 misturas escolhidas, de modo a definir duas delas para aplicação nos religadores. Os ensaios dessa fase foram efetuados substituindo a cada seqüência de 160 descargas a amostragem da mistura considerada. O gráfico abaixo representa os valores encontrados para a mistura 25M75V, no

intervalo de 80 descargas.



Apresenta para cada quantidade de descargas aplicadas o valor final de partículas na mistura.

O produto desta etapa consistiu na determinação do nº de partículas presentes nas misturas ensaiadas, após aplicação de descargas.

Fase 5. Avaliação dos resultados e definição das misturas mais convenientes para a aplicação em campo.

Os resultados dos ensaios de resistência ao arco e de contagem de partículas mostraram que qualquer das misturas escolhidas atendia às necessidades esperadas para aplicação em campo. Como apenas duas das misturas seriam utilizadas para aplicação em religadores em operação normal no sistema, optou-se pela utilização das misturas 2.4 (75% M 25% V) e 2.6 (25% M 75% V).

Fase 6. Inserção das misturas escolhidas em 2 religadores protótipos definidos pela Cosern para avaliação em campo durante 6 meses e com aplicação dos ensaios citados abaixo, a cada 3 meses.

- Fator de perdas dielétricas a 20°C e 100°C
- Densidade
- Tensão interfacial
- Teor de água
- Rigidez Dielétrica (eletrodo Disco)
- Índice de neutralização (acidez)
- Ponto de fulgor
- Viscosidade cinemática a 40°C
- Ponto de fluidez
- Contagem de partículas

Dados laboratoriais existentes para os novos fluídos disponíveis no mercado.

| Características | Unidade | Valores (1) | | Métodos |
|--|--------------------|--|----------------------|-------------------------|
| | | Min | Máx | |
| Aparência | - | O óleo deve ser claro, limpo e isento de material em suspensão | | Visual |
| Cloretos | - | Ausente | | NBR-5779 |
| Cor | - | - | 1,0 | ABNT-MB-351 |
| Densidade 20/4° C | a | 0,861 | 0,900 | NBR-7148 |
| Enxofre Corrosivo | - | Não Corrosivo | | ABNT-899 |
| Estabilidade à Oxidação - Índice de Neutral. (IAT) - Borra - Fator de Perdas Dielét. A 90° C | mg KOH/g % massa % | - | 0,40 0,10 20 | NBR-10504 |
| Fator de Perdas Dielétricas a 25° C a 90° C a 100° C (2) | % | - | 0,05 0,40 0,50 | NBR-12133 |
| Índice de Neutral. (IAT) | mg KOH/g | - | 0,03 | ABNT-MB-101 |
| Ponto de Anilina | °C | 63 | 84 | ABNT-MB-299 |
| Ponto de Fluidez (3) | °C | - | 39 | ABNT-MB-820 |
| Ponto de Fulgor | °C | 140 | - | ABNT-MB-50 |
| Rigidez Dielétrica (4) - Eletrodo de Disco - Eletrodo VDE | KV | 30 42 | - - | NBR-6869 NBR-10859 |
| Rigidez Dielétrica a Impulso (Eletrodos Agulha/Esfera) | KV | 145 | - | ASTM-D-3300 |
| Sulfatos | - | Ausente | | NBR-5779 |
| Tendência de Evolução de Gases | a μl/min | Negativo | | ASTM-D-2300 MÉTODO B |
| Tensão Superficial a 25° C | mN/m | 40 | - | NBR-6234 |
| Teor de Carbono Aromático | % | Anotar | | ASTM-D2140 |
| Teor de Inibidor de Oxidação DBPC/DBP (6) | % massa | - | 0,08 | NBR-12134 |
| Teor de PCB | mg/kg | Não Detectável | | ASTM-D-4059 |
| Viscosidade 20° C 40° C 100°C (7) | a mm²/s (CST) | - | 25,0 11,0 3,0 | ABNT-MB-293 |
| TEOR DE ÁGUA (8) | mg/kg (ppm) | - | 35 | NBR-10710 |

Tabela2: Especificação óleo mineral

ESPECIFICAÇÃO PARA ÓLEO MINERAL ISOLANTE TIPO "A"

Base Naftênica (ANEXO À PORTARIA DNC Nº 46/94) da Petrobrás

Especificação do óleo de Soja da Cooper Power Systems.

| Propriedade | Valor | Método de Ensaio |
|--|--|-------------------------|
| Elétrica | | |
| Rigidez Dielétrica | 56kV @ 25°C (gap 0,080") 47kV @ 25°C | ASTM D1816 ASTM D877 |
| Permissividade Relativa [Constante Dielétrica] | 3,2 @ 25°C | ASTM D924 |
| Fator de Dissipação [Fator de Potência] | 0,05% @ 25°C | ASTM D924 |
| Resistividade Volumétrica | 30 x 10 ¹² Ω-cm @ 25°C | ASTM D1169 |
| Rigidez de Impulso (Esfera a Esfera) | 226 kV @ gap de 0,15" | ASTM D3300 |
| Tendência de Gás | -79 (µL/min) | ASTM D2300 |
| Física e Química | | |
| Gravidade Específica | 0,92 @ 25°C | ASTM D1298 |
| Tensão Interfacial | 27 mN/m @ 25°C | ASTM D971 |
| PH | 5,8 | EPA D9045C |
| Índice de Neutralização (Ácida) | 0,022 mg KOH/g | ASTM D974 |
| Viscosidade Cinemática | 33 cSt @ 40°C 8 cSt @ 100°C | ASTM D445 |
| Conteúdo de Umidade | < 100 mg/kg | ASTM 1533B |
| Percentual de Saturação de Umidade | < 5 | Método CPS |
| Solubilidade de Ar | 16% @ 25°C @ 1 atm. | ASTM D2779 |
| Aparência | Limpa, Verde Claro | ASTM D1524 |
| Cor | L 0.5 | ASTM D1500 |
| Térmica | | |
| Ponto de Fulgor (Vaso Fechado) | 316°C | ASTM D93 |
| Ponto de Fulgor (Vaso Aberto) | 330°C | ASTM D92 |
| Ponto de Combustão (Vaso Aberto) | 360°C | ASTM D92 |
| Ponto de Fluidéz | -21°C | ASTM D97 |
| Condutividade Térmica | 4 x 10 ⁻⁴ cal/(cm • sec • °C) @ 25°C | Método CPS |
| Calor Específico | 0,45 (cal/gm/°C) @ 25°C | ASTM D2766 |
| Coefficiente de Expansão | 7,4 x 10 ⁻⁴ cc/cc/°C @ 25°C | Método CPS |
| Capacidade Calorífica | 2,10 @ 50°C 2,39 @ 100°C | ASTM E1269 |

Tabela3: Especificação óleo de vegetal de soja

Os resultados das análises dos ensaios das misturas, registrados na Tabela1, mostram que os valores apresentados, se encontram dentro dos limites estabelecidos em norma para os óleos mineral e vegetal puros, não configurando discrepâncias de valores ou não conformidades inesperadas.

A inexistência de não conformidades e discrepâncias nos valores obtidos nos ensaios mostra que o plano de estudo para os ensaios laboratoriais é adequado e consistente.

Os valores encontrados foram obtidos na fase 2 do Plano Laboratorial acima.

C) “Avaliação de desempenho em campo, de fluido (s) com maior potencial para substituição ou simples inserção aos óleos minerais.”

Definição dos Religadores Protótipos

Foram escolhidos pela equipe executora do projeto da COSERN para a inserção das misturas de óleo (vegetal de soja + mineral) nas proporções (75M25V e 25M75V), 02 religadores protótipos de 15kV tipo ESM-560, fabricação: Cooper da Subestação Ceará Mirim, e 01 religador com as mesmas características da Subestação Macaíba utilizando 100% de óleo mineral e tomado como padrão para o estudo.

Para essa escolha foram analisados pela mesma equipe critérios logísticos e técnicos de modo que esses religadores não estivessem comprometidos com possíveis falhas incipientes. Abaixo fotos da manutenção preventiva realizada antes da inserção da mistura de óleo mineral mais vegetal nas proporções 75% V + 25M e 25% V + 75%M.



Figura 1: Adesivo do projeto



Figura 2: Câmara de Extinção de arco



Figura 3: Contatos móveis



Figura 4: Anel corta chispa e contatos fixos

D) “Avaliação dos principais resultados e tendências e comparação entre resultados de laboratório e de campo.”

Resultados dos ensaios físico-químicos da amostra coletada- Mistura 75% V+25% M:

| Ensaio | Norma | Unidade | Resultados | | | L. Norma | |
|---------------------------|----------------|--------------------|------------|-------|------|------------------|-----------|
| | | | V0 | V1 | V2 | Ó. Veg. Máx. | Ó. Min. |
| Aparência | - | - | Límpido | Turv | Turv | - | - |
| Cor | ABNT NBR-14483 | - | - | - | - | - | - |
| Índice de neutralização | ABNT NBR-14248 | mg KOH/g | 0,034 | 0,073 | 0,08 | 0,06. Máx | Máx. 0,20 |
| Rigidez dielétrica | ABNT NBR-6869 | kV | 40,0 | 36,5 | 23,0 | 30 Mín 42 Máx | Mín. 35 |
| Teor de água | ABNT NBR-10710 | ppm | 81,1 | 470 | 443 | 200 | Máx. 35 |
| Viscosidade a 40°C | ABNT NBR-10441 | mm ² /s | 35,7 | 26,5 | 24,0 | 50 | Max.11 |
| Ponto de fulgor | ABNT NBR-11341 | °C | 274 | 198 | 186 | 275 | Mín.140 |
| Tensão interfacial a 25°C | ABNT NBR-6234 | mN/m | 28,7 | 26,0 | 21,6 | 27,0 | Mín. 22,0 |
| Densidade a 20/4°C | ABNT NBR-7148 | - | 0,918 | 0,910 | 0,89 | 0,96 | Máx. 0,90 |
| Fator de perdas a 20°C | ABNT NBR-12133 | % | 0,21 | 0,756 | 1,13 | 0,20 NBR | Máx. 0,5 |
| Fator de perdas a 100°C | ABNT NBR-12133 | % | 2,867 | 8,735 | 20,1 | 4,0 NBR | Máx. 20,0 |

Tabela 4

| Cont Partículas – NBR - 14275 | Result. (>2 micron/10 ml) |
|-------------------------------|----------------------------|
| Mist. 75 % o.Veg. + 25% o. | 335.633 / 105.175 / 84.681 |

Tabela 5

Amostra contendo partículas em suspensão, representando mistura de óleo mineral com vegetal na proporção **25% de óleo mineral regenerado com 75% de óleo vegetal de soja.**

Resultados dos ensaios físico-químicos da amostra coletada- Mistura 25% V+75% M:

| Ensaio | Norma | Unid | Resultados | | | L. Norma | |
|---------------------------|----------------|--------------------|------------|-------|-------|------------------------------|-----------|
| | | | V0 | V1 | V2 | O.V | O. M |
| Aparência | - | - | Límpida | Turvo | Turvo | - | - |
| Cor | ABNT NBR-14483 | - | - | - | - | - | - |
| Índice de neutralização | ABNT NBR-14248 | mg KOH/g | 0,063 | 0,079 | 0,06 | 0,06. Máx | Máx. 0,20 |
| Rigidez dielétrica | ABNT NBR-6869 | kV | 43,6 | 26,9 | 17,0 | 30 Mín 42 NBR Mín.I EC | Mín. 35 |
| Teor de água | ABNT NBR-10710 | ppm | 166,7 | 170,5 | 180 | 200 | Máx. 35 |
| Viscosidade a 40°C | ABNT NBR-10441 | mm ² /s | 21,0 | 13,0 | 12,5 | 50 | Max.11 |
| Ponto de fulgor | ABNT NBR-11341 | °C | 184 | 170 | 168 | 275 | Mín.140 |
| Tensão interfacial a 25°C | ABNT NBR-6234 | mN/m | 27,4 | 21,9 | 19,7 | 27,0 | Mín. 22,0 |
| Densidade a 20/4°C | ABNT NBR-7148 | - | 0,901 | 0,888 | 0,88 | 0,96 | Máx. 0,90 |
| Fator de perdas a 20°C | ABNT NBR-12133 | % | 0,465 | 1,13 | 0,73 | 0,20 NBR | Máx. 0,5 |
| Fator de perdas a 100°C | ABNT NBR-12133 | % | 7,985 | 11,78 | 16,8 | 4,0 NBR | Máx. 20,0 |

Tabela 6

| Cont.Partículas - NBR - 14275 | Resultado (>2 micron / 10 ml) |
|-------------------------------|-------------------------------|
| Mistura 25% O.V + 75% O. M | 266.804 / 10.917 / 62.349 |

Tabela 7

Amostra contendo partículas em suspensão, representando mistura de óleo mineral com vegetal na proporção **25% de óleo vegetal de soja com 25% de óleo mineral regenerado.**

Os resultados apresentados para estabelecimento dos parâmetros iniciais (V0) de acompanhamento das misturas, tanto para a Manutenção Preventiva realizada nos religadores protótipos como nos ensaios físico-químicos realizados nas amostragens coletadas, estão de acordo com os valores estabelecidos pelo fabricante dos religadores e pelos valores de norma na análise das misturas.

Na seqüência do estudo foram feitas novas amostragens das misturas inseridas (75M25V) e (25M75V) conforme mostra as tabelas acima decorridos 03 e 06 meses da inserção das mesmas (V0) e do óleo mineral padrão, para análise laboratorial através de ensaios físico-químicos. Com os resultados dessas análises foi determinada a mistura considerada de melhor potencial para aplicação nos religadores em campo.

Avaliação e Comentários:

Os resultados de laboratório obtidos para a amostra (V1) coletada 03 meses após (V0), foi avaliado e se encontrava dentro dos valores esperados para a mistura analisada. As alterações de características observadas foram muito pequenas e tais resultados não foram suficientes para delinear tendências ou diagnosticar alterações de características que possam estar sendo alteradas.

Quando da segunda amostragem (V2) coletada 06 meses após (V0), os religadores protótipos foram abertos para inspeção e verificações internas. Na ocasião foram verificadas medidas e parâmetros de campo tais como desgastes nas câmaras de extinção de arco, anel corta-chispa, dedos de contatos, etc., visando compará-los às condições verificadas por ocasião da manutenção preventiva efetuada quando da inserção das misturas, e definidos como os principais parâmetros para acompanhamento do desempenho dos sistemas mecânico e isolante sólido em longo prazo.

Após as análises dos resultados foi determinada a mistura mais conveniente para aplicação nos religadores e para a continuidade dos ensaios em campo. A mistura escolhida através dos ensaios efetuados foi a mistura de proporção **75% de óleo Mineral e 25% de óleo Vegetal devido ser o óleo vegetal bastante sensível ao contato com o ar atmosférico e não ser próprio para utilização contínua em sistemas abertos.**

A mesma foi inserida em outros três religadores definidos pela COSERN. Estes religadores estão situados em locais com condições operativas mais severas que as dos religadores escolhidos como protótipos iniciais, visando submetê-los a condições mais desfavoráveis, portanto, mais próximas das ocorrências verificadas na prática. Também foi dada continuidade ao acompanhamento dos dois religadores onde foram inseridas as misturas iniciais 25V75M 75V25M

E) “Definição dos principais parâmetros para acompanhamento do desempenho dos sistemas mecânico e isolante sólido em longo prazo.”

Revisão dos Resultados e Readequação dos Experimentos.

Estão registrados a seguir exemplos de resultados obtidos em campo para a mistura de **25% O.Vegetal + 75% O. Mineral**, sua evolução na aplicação nos religadores após 06 meses de inserção e dos religadores cujas misturas foram inseridas inicialmente após 06 e 14 meses de acompanhamento.

Tais resultados foram avaliados em conjunto com os parâmetros verificados em campo tais como desgastes nas câmaras de extinção de arco, anel corta-chispa, dedos de contatos, principais parâmetros para acompanhamento do desempenho dos sistemas mecânico e isolante sólido em longo prazo, para identificar e definir tendências de alterações de características que os fluídos isolantes ou os equipamentos pudessem vir a apresentar:

1) 25% óleo vegetal + 75% óleo mineral Antes da inserção da Mistura



Figura 5: Contatos móveis



Figura 6: Câmara de extinção de arco



Figura 7: Anel corta chispa e contatos fixos

Após 06 meses da inserção da mistura



Figura 7: Corpo da bucha de porcelana



Figura 10: Câmara de extinção de arco



Figura 8: Anel corta chispa e contatos fixos



Figura 11: Anel corta chispa e contatos fixos



Figura 9: Contatos móveis



Figura 12: Contatos móveis

OBS:Este religador operou no período de 06 meses , 04 vezes por defeito com religamento automático

- 2) 75% óleo vegetal + 25% óleo mineral
Antes da inserção da Mistura

Após 06 meses da inserção da mistura



Figura 13: Corpo da bucha de porcelana



Figura 14: Câmara de extinção de arco e pé da bucha



Figura 18: Anel corta chispa e contatos fixos

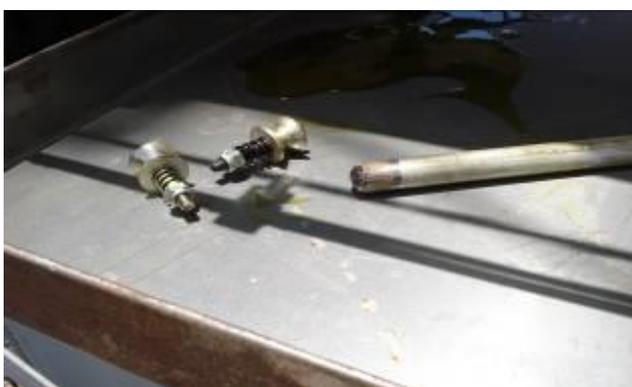


Figura 15: Contato móvel



Figura 19: Contato móvel

OBS: Este religador operou no período de 06 meses, 03 vezes por defeito permanente e 10 vezes por defeito com religamento automático



Figura 16: Anel corta chispa e contatos fixos

F) “Avaliação e diagnóstico de principais consequências práticas e implicações.”

Teve por objetivo apresentar o diagnóstico de aspectos estratégicos envolvendo seu potencial de aplicação ao sistema, possibilitando uma avaliação da viabilidade econômica para a distribuidora da inserção do novo fluido nos disjuntores existentes e nos disjuntores novos, apontando, por exemplo, em que momento, ou com quantos anos os disjuntores precisam ter para viabilizar economicamente a inserção ou substituição do fluido.

Após 14 meses da inserção da mistura



Figura 17: Corpo da bucha de porcelana

Considerando os resultados obtidos, ainda é prematura uma avaliação da viabilidade econômica para a COSERN para a inserção do novo fluido (Misturas) em todos os Religadores / Disjuntores da classe de 15 kV existentes e novos, bem como com quantos anos esses equipamentos precisam ter para viabilizar economicamente a inserção ou substituição total do óleo Mineral por óleo Vegetal.

Devido ao elevado valor de umidade e redução de rigidez dielétrica observados nos ensaios dos religadores protótipos em utilização (inclusive no que utiliza 100% de óleo mineral),

recomenda-se a aplicação de um procedimento de secagem no óleo dos mesmos, visando melhorar sua confiabilidade operativa.

Os resultados das avaliações de abrasividade indicam que há indícios que o óleo vegetal atuou de maneira a preservar os componentes móveis dos religadores uma vez que o aumento na proporção deste fluido acarretou em sulcos menos profundos.

O emprego dos novos fluidos, mistura de óleo vegetal isolante em óleo mineral em uso, permitirá a avaliação e a proposição de uso de misturas, em qualquer proporção, de forma a tornar sua utilização no sistema mais efetiva e econômica.

Tabela 8: Amostras de borra – avaliação da

| Amostra | T. umidade Borra – (ppm m/m) | Fluido isolante |
|------------------|------------------------------|---|
| Macaíba 21M5 | 61 | 100% OMI ¹ |
| Ceará Mirim 21C6 | 207 | 25% OVI ¹ e 75% OMI ¹ |
| Ceará Mirim 21C4 | 392 | 75% OVI ¹ e 25% OMI ¹ |

umidade

| Amostra | Q. sulcos (mm ²) | Profundidade média sulcos (µm) | Fluido isolante |
|------------------|------------------------------|--------------------------------|---|
| Macaíba 21M5 | 5,4 | 15,21 | 100% OMI ¹ |
| Ceará Mirim 21C6 | 7,1 | 13,23 | 25% OVI ¹ e 75% OMI ¹ |
| Ceará Mirim 21C4 | 6,4 | 5,62 | 75% OVI ¹ e 25% OMI ¹ |

Tabela 9: Amostras das peças metálicas – avaliação do potencial abrasivo.

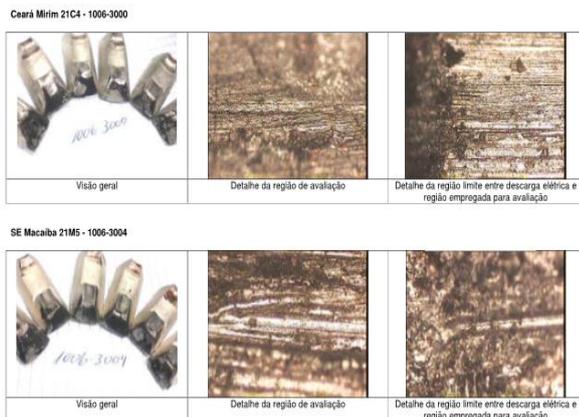


Figura20: Dedos de contato – região avaliada.

Observação:

Os resultados das avaliações de abrasividade indicam que há indícios que o óleo vegetal atuou de maneira a preservar os componentes móveis dos religadores uma vez que o aumento na proporção deste fluido acarretou em sulcos menos profundos vide tabela 9 mistura 75% V25% M. A umidade manteve-se em patamares considerados normais para os fluidos empregados no estudo.

G) “Estabelecimento de novo processo de inserção de óleo em religadores da COSERN e controle e novos procedimentos de manuseio, utilização e armazenamento.”

Para o caso de uso de mistura de óleo vegetal com mineral nas proporções indicadas por esse projeto chegou-se na prática a conclusão que se deve processar a mistura em tambor à parte, provendo uma mistura homogênea antes de inserir no tanque do religador ou disjuntor. Quanto ao processo de tratamento ficou demonstrado que pode ser idêntico ao do óleo mineral. Quanto ao armazenamento concluiu-se que deve ser feito de modo abrigado e sobre palets.

Quanto aos resultados previstos para a COSERN, como: Melhorias no desempenho do sistema elétrico, Diminuição das despesas de manutenção, e Aumento da disponibilidade dos equipamentos elétricos, bem como a Proteção do meio ambiente e projeção da imagem da COSERN como empresa ecologicamente correta junto à comunidade; são resultados possíveis de serem alcançados após a aplicação em escala do uso das misturas cuja viabilidade foi demonstrada no projeto.

O desenvolvimento do projeto promoveu também outros resultados para a COSERN, pela troca mútua de experiências com a equipe do projeto e o compartilhamento de diferentes enfoques na análise e solução dos problemas proporcionando melhoria da capacitação dos técnicos da COSERN quanto ao entendimento e esclarecimentos das teorias e conceitos abordados.

CONCLUSÕES:

O ineditismo deste projeto foi a obtenção de um novo fluido isolante para disjuntores / religadores, que pode melhorar o desempenho desses disjuntores / religadores, estender suas vidas úteis e reduzir substancialmente os custos de manutenção. E também a definição das proporções da mistura óleo vegetal com óleo mineral.

O projeto testou, operou e ensaiou o novo fluido

podendo se concluir, pelos resultados obtidos até a presente data, que é viável a operação de disjuntores e religadores de classe 15 kV utilizando mistura de óleo vegetal em óleo mineral em uso.

Os resultados apresentados até esta fase da pesquisa para os religadores com as misturas 25% óleo vegetal e 75% óleo mineral estão dentro das tendências esperadas, demonstrando ser essa mistura a mais favorável para continuidade do estudo/acompanhamento pela COSERN, visto que a menor proporção do óleo vegetal na mistura proporciona maior tempo de utilização antes que os efeitos da presença do ar atmosférico sobre o sistema aberto se façam sentir, mais requer manutenções preventivas com maior frequência (anual) para melhor controle dessa mistura e possíveis aumentos percentuais da mesma gradativamente.

Quanto a mistura inserida no religador 21C4 (75% óleo Vegetal + 25% óleo Mineral) da subestação Ceará Mirim que continuou a ser acompanhada até o final do estudo para melhores conclusões de seu desempenho, verificamos ser interessante a continuidade desse acompanhamento pela COSERN com as devidas precauções; ou seja:

- É uma mistura com maior percentual de óleo vegetal (75%);
- Com exposição direta e contínua ao ar atmosférico;
- A exposição ao ar atmosférico do óleo vegetal, no caso em maior percentual pode acelerar o processo de oxidação na mistura;
- Para continuidade de acompanhamento de seu desempenho pela COSERN, são convenientes inspeções visuais trimestrais da mistura contida no religador 21C4 e manutenção preventiva semestral.

Pelos resultados obtidos em laboratório para as amostras das misturas e pela inspeção interna dos equipamentos ensaiados, confirmou-se que o óleo vegetal é bastante sensível ao contato com o ar atmosférico e não é próprio para utilização contínua em sistemas abertos.

Devido ao elevado valor de umidade e redução de rigidez dielétrica observados nos ensaios dos religadores protótipos em utilização (inclusive no que utiliza 100% de óleo mineral), recomenda-se a aplicação de um procedimento de secagem no óleo dos mesmos, visando melhorar sua confiabilidade operativa.

Os resultados das avaliações de abrasividade indicam que há indícios que o óleo vegetal atuou de maneira a preservar os componentes móveis dos religadores uma vez que o aumento na proporção deste fluido acarretou em sulcos

menos profundos. A umidade manteve-se em patamares considerados normais para os fluidos empregados no estudo.

O emprego dos novos fluidos, mistura de óleo vegetal isolante em óleo mineral em uso, permitirá a avaliação e a proposição de uso de misturas, em qualquer proporção, de forma a tornar sua utilização no sistema mais efetiva e econômica.

Quanto à transferência de tecnologia, no final de cada ano do projeto foi feito um Workshop sobre os resultados, ensaios, relato das experiências de campo e as conclusões do período para o corpo técnico da empresa. Durante todo o desenvolvimento do projeto e principalmente na experiência de campo foi implementado o treinamento da mão-de-obra diretamente envolvida; possibilitando assim à COSERN reter a capacitação e promover a divulgação dos resultados da pesquisa em seminários internos e externos.

RECOMENDAÇÕES:

Para confirmar a tendência de preservação dos dedos de contato quanto a abrasividade, recomendamos aumentar a base de dados coletados de equipamentos a serem estudados e repetir os ensaios de abrasividade por períodos de tempo maiores (03 anos).

Considerando os resultados obtidos, ainda é prematura uma avaliação da viabilidade econômica para a COSERN para a inserção do novo fluido (Misturas) em todos os Religadores/Disjuntores da classe de 15 kV existentes e novos, bem como com quantos anos esses equipamentos precisam ter para viabilizar economicamente a inserção ou substituição total do óleo Mineral por óleo Vegetal.

Como já citado nesse relatório, hoje existe indício que o óleo vegetal ajuda a preservar os desgastes nos contatos dos religadores bem como sua presença nas misturas utilizadas com 25% ou 75% de óleo vegetal nos religadores protótipos não aumentam o Teor de umidade da borra; porém como toda pesquisa é necessária uma maior gama de dados, um degrau de cada vez para tornar o que é hoje indício para valores reais irrefutáveis.

Com certeza já tivemos um grande avanço nesse estudo e com a continuidade do mesmo aumentando o número de religadores/disjuntores em teste em subestações onde estes operam com maior frequência e onde o nível de curto-circuito é mais elevado por período maior (no mínimo 03 anos), poderá ser feita nova avaliação com a coleta de borra formada nos contatos desses equipamentos para novo ensaio

de abrasividade e conclusões definitivas quanto a viabilidade econômica e aumento de vida útil que já está se evidenciando.

Referências Bibliográficas:

- [1] 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.
- [2] 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.
- [3] BASSETTO F., A. et al. Economic Assessment of Loading Power Transformers. In: ANNUAL INTERNATIONAL CONFERENCE OF DOBLE CLIENTS, 64, Boston, 1997. Anais. Boston, Doble Engineering Company, 1997. 6 p.
- [4] MCSHANE, C. P., RAPP, K.J. CORKRAN, J.L. Aging of Kraft Paper in Natural Ester Dielectric Fluid, Proceedings of 14th. International Conference on Dielectric Liquids, pp173-177, Graz, Austria.
- [5] MCSHANE, C. P., MARTINS, M.N. Desenvolvimento e Aplicação de Fluido Dielétrico de Base Vegetal para Transformadores de Distribuição e Potencia., IV Conferencia Doble no Brasil, Belo Horizonte, Brasil, ago/2003.
- [6] 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.
- [7] SCHELLHASE, H. & DOMINELLI, N "Environmentally acceptable transformer oils" EPRI Report WO 4338-01, Palo Alto - CA, EPRI, Out. 2000, 90 p.
- [8] 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.
- [9] MCSHANE et al., Aging of Paper Insulation in Natural Ester Dielectric Fluid, IEEE/PES T&D Conf., Oct. 2001, No.0-7803-7287-55/01.
- [10] MCSHANE, C.P., GAUGER, G. A., LUKSICH, J.; Fire Resistant Natural Ester Dielectric Fluid and Novel Insulation System for its User, IEEE/PES T&D Conf., Apr. 12-16, 1999.
- [11] MCSHANE, C.P.; Relative Properties of the New Combustion-Resistant Vegetable Oil-Based Dielectric Coolants for Distribution and Power Transformers, IEE Transactions on Industry Applications, Vol. 37, No 4, July/2001 pp. 1132-1139.
- [12] BASSETTO F., A. & MAK, J. Medidas que podem dobrar a vida útil de transformadores de potência. Eletricidade Moderna, v. 258, p. 28, julho, 1995.
- [13] SUNDIN, D.W. Biologic Decomposition of Liquid Dielectrics"; Elekrik Magazine (publicação da União Russa de Engenheiros de Sistemas de Potência), Moscou, fevereiro, 1992.
- [14] BASSETTO F., A. et al. How the products from insulating oil degradation can affect the life of transformers". In: CIGRE SESSION, Paris, 1992. Anais, Paris, CIGRE, 1992, paper no 12-104.
- [15] 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.
- [16] 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.
- [17] OOMMEN, T.V., CLAIBORNE, C.C. Biodegradable Insulating Fluid from High Oleic Vegetable Oils. CIGRE 15-302, 1998.
- [18] XIE, J. HSICH, Y.L. Enzyme-Catalysed Transesterification on Cellulose. Conf. Proc. ACS Polymeric Matls., vol. 82, pp. 406-407, 2000.
- [19] ILUANG, M.R., LI, X.G. Thermal Degradation of Cellulose and Cellulose Esters. J. of Applied Polymer Science, vol. 68, pp. 293-304, 1998.
- [20] JAIN, R.K., LAL, K., BHATNAGAR, H.L. A Kinetic Study of the Thermal Degradation of Cellulose and Its Derivatives. Makromol. Chem. 183, pp. 3003-3017, 1982.
- [21] SANS, M. A., TEIXEIRA JÚNIOR, J. A. Avaliação da Qualidade do Isolamento In: Curso de Técnicas de Alta Tensão, 1988, Curitiba. Anais do Curso, 1988. v.1. p.1 - 29

