

Grupo de Estudo de Transformadores, Reatores, Materiais e Tecnologias Emergentes (GTM)

## RELATÓRIO ESPECIAL PRÉVIO

Gilson Machado Bastos - Eletrobras Furnas S/A  
Jaime SuNÉ - ITAIPU  
Orsino Borges De Oliveira Filho - CEPEL

### 1.0 CONSIDERAÇÕES GERAIS

A Temática escolhida para GTM do SNPTEE 2017 permitiu uma ampla diversificação de assuntos abordados pelos informes técnicos que mostraram o interesse pelos temas propostos. Os trabalhos foram de boa qualidade técnica e com um bom equilíbrio entre concessionárias, fabricantes e institutos de pesquisa/laboratórios (11, 10 e 12 trabalhos, respectivamente)

Dentre os 4 Temas Preferenciais escolhidos para o SNTPEE 2017, o Tema 4 - Novas técnicas de ensaio, medição, monitoramento, diagnóstico, bem como processamento e gestão de seus resultados aplicadas a transformadores, reatores e sistemas isolantes em alta tensão- foi o que recebeu um maior número de trabalhos provavelmente pelo seu caráter amplo e também uma clara demonstração da busca pela inovação e por novas técnicas de diagnóstico.

### 2.0 CLASSIFICAÇÃO DOS INFORMES TÉCNICOS

Os 33 (trinta e três) informes técnicos apresentados foram classificados em 04 (quatro) grupos, conforme os Temas Preferenciais escolhidos pela Comissão Técnica e ordenados conforme grade de horário do evento, em função do conteúdo técnico como conforme indicado a seguir:

Ocorrências em Transformadores;

Especificação de Transformadores;

Novos materiais Aplicados ao Setor Elétrico;

Novas Técnicas de Ensaio, Medição, Monitoramento, Diagnósticos e Gestão.

#### 2.1 Ocorrências em transformadores – 6 ITs:

43- METODOLOGIA PARA REENERGIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA APÓS INTERRUPÇÕES NÃO PROGRAMADAS NO SISTEMA ELÉTRICO

93 - ANÁLISE DE GASES DISSOLVIDOS EM TRANSFORMADORES COMO FERRAMENTA DE MANUTENÇÃO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DOS PRINCIPAIS MÉTODOS E A EXPERIÊNCIA DA COPEL DISTRIBUIÇÃO

199 - OBSERVAÇÕES DE FURNAS SOBRE A VELOCIDADE DE REAÇÃO DO ENXOFRE CORROSIVO GERADO PELA REGENERAÇÃO DO ÓLEO MINERAL ISOLANTE

260- ANÁLISE DE SUPORTABILIDADE DIELÉTRICA DE REATORES PARA SURTOS RÁPIDOS DECORRENTES DE MANOBRAS DE DESENERGIZAÇÃO

279 - LIMITADOR DE VFTO PARA TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

396 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ELASTÔMEROS COMERCIAIS COM FLÚIDOS ISOLANTES USADOS EM TRANSFORMADORES

#### 2.2 Especificação de Transformadores – 4 ITs

312 - ATUALIZAÇÃO DA ESPECIFICAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA DA CHESF: DIRETRIZES SEGUIDAS E RESULTADOS OBTIDOS

365- CONDIÇÕES DE SOBRECARGA E IMPLICAÇÕES DA NBR 5356-7 DURANTE O DESIGN REVIEW DE TRANSFORMADORES

486-UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA PROJETO ELETROMAGNÉTICO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA EM CONDIÇÕES DE SOBRECARGA CONFORME NBR 5356-7

531-ESTUDO COMPARATIVO DA RIGIDEZ DIELÉTRICA EM CONDIÇÕES DE CAMPO NÃO HOMOGÊNEO EM ÓLEOS VEGETAIS E MINERAIS

#### 2.3 Novos Materiais aplicados ao setor elétrico –7 ITs

10 - DESENVOLVIMENTO DE NOVO ACESSÓRIO, COM NOVO MATERIAL E NOVO DESIGN, PARA REDES AÉREAS COMPACTAS DE 15 KV E 35 KV

21 - CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA DE NANOFLUIDOS PARA TRANSFORMADORES ELÉTRICOS

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

165 - REATORES SHUNT MANOBRÁVEIS COM NÚCLEO DE AR EXPERIÊNCIA DE PROJETO E APLICAÇÃO EM 230 KV

275 - AVALIAÇÃO DIELÉTRICA DE NANOMATERIAIS COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA PARA APLICAÇÃO EM ISOLADORES E ISOLAMENTO ELÉTRICOS

310 - BOBINAS SUPERCONDUTORAS ISOLADAS E NÃO ISOLADAS PARA APLICAÇÕES ELÉTRICAS

506 - ESTRUTURA DE ISOLAÇÃO DE UM TRANSFORMADOR PARA LÍQUIDOS DIELÉTRICOS DE ALTA PERMISSIVIDADE

2.4 Novas técnicas de ensaio, medição, monitoramento, diagnóstico, bem como processamento e gestão de seus resultados aplicadas a transformadores, reatores e sistemas isolantes em alta tensão – 16 ITs

11 - TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ISOLADORES COMPOSTOS TIPO BASTÃO

20 - SISTEMA INTELIGENTE PARA LOCALIZAÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

67 - ESTUDO DE SISTEMAS ISOLANTES DE REFERÊNCIA USADOS NA DETERMINAÇÃO DA CLASSE TÉRMICA DE NOVOS SISTEMAS ISOLANTES SEGUNDO A NORMA IEEE C57.100

104 - MONITORAMENTO DE COMUTADORES DE DERIVAÇÕES SOB CARGA, UTILIZANDO A TÉCNICA DE EMISSÃO ACÚSTICA.

- 176 - CABEÇA DE SÉRIE - DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA E SISTEMA PILOTO DE CONTROLE DA CONDIÇÃO OPERATIVA DOS COMUTADORES SOB CARGA
- 204 - SOFTWARE PARA ANÁLISE E DETECÇÃO DE FALHAS EM TRANSFORMADORES ATRAVÉS DE ENSAIOS DE IMPULSOS ATMOSFÉRICOS ESCALONADOS
- 206 - AUMENTO DA CONFIABILIDADE DO MONITORAMENTO TÉRMICO DIGITAL DE TRANSFORMADORES E SEU IMPACTO NO ATENDIMENTO À EMERGÊNCIAS
- 261 - UMA RADIOGRAFIA DOS LABORATÓRIOS DE ENSAIOS DE ALTA TENSÃO NO BRASIL
- 282 - ENSAIO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA EM SOBRECARGA - ANÁLISE DOS RESULTADOS UTILIZANDO A MEDIÇÃO INDIRETA (IMAGEM TÉRMICA) E DIRETA (FIBRA ÓPTICA) - CASO AUTOTRANSFORMADOR SE IPATINGA 1
- 303 - EXPERIÊNCIA COM ENSAIOS EM COMPONENTES PARA LT 800 KV EM CORRENTE CONTÍNUA
- 354 - AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À OXIDAÇÃO DE ÉSTERES NATURAIS ISOLANTES POR DIFERENTES METODOLOGIAS
- 367 - ESTIMATIVA DA UMIDADE NA ISOLAÇÃO SÓLIDA A PARTIR DO ÓLEO ISOLANTE DE TRANSFORMADORES
- 377 - A EXPERIÊNCIA DA ELETRONORTE NA IMPLANTAÇÃO DA ANÁLISE DE RESPOSTA EM FREQUENCIA PARA DIAGNÓSTICO DE REATORES E TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA
- 389 - CONFIRMAÇÃO DA EFICÁCIA DO ENSAIO DE RESPOSTA DO DIELÉTRICO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E BUCHAS CAPACITIVAS COMO TÉCNICA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA
- 454 - RECONDICIONAMENTO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA NA REN - AVALIAÇÃO DE 15 ANOS DE EXPERIÊNCIA COMO SOLUÇÃO PARA O PROLONGAMENTO DO TEMPO DE VIDA ÚTIL
- 519 - INTEGRAÇÃO DE MONITORAÇÃO ON-LINE NAS ROTINAS DA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

#### 2.1 250Ocorrências em transformadores:

- 43 - METODOLOGIA PARA REENERGIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA APÓS INTERRUPÇÕES NÃO PROGRAMADAS NO SISTEMA ELÉTRICO
- 279 - LIMITADOR DE VFOTO PARA TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA
- 260 - ANÁLISE DE SUPORTABILIDADE DIELÉTRICA DE REATORES PARA SURTOS RÁPIDOS DECORRENTES DE MANOBRAS DE DESENERGIZAÇÃO
- 396 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ELASTÔMEROS COMERCIAIS COM FLUÍDOS ISOLANTES USADOS EM TRANSFORMADORES
- 199 - OBSERVAÇÕES DE FURNAS SOBRE A VELOCIDADE DE REAÇÃO DO ENXOFRE CORROSIVO GERADO PELA REGENERAÇÃO DO ÓLEO MINERAL ISOLANTE
- 93 - ANÁLISE DE GASES DISSOLVIDOS EM TRANSFORMADORES COMO FERRAMENTA DE MANUTENÇÃO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DOS PRINCIPAIS MÉTODOS E A EXPERIÊNCIA DA COPEL DISTRIBUIÇÃO

#### 2.2 251Especificação de Transformadores

- 312 - ATUALIZAÇÃO DA ESPECIFICAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA DA CHESF: DIRETRIZES SEGUIDAS E RESULTADOS OBTIDOS
- 486 - UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA PROJETO ELETROMAGNÉTICO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA EM CONDIÇÕES DE SOBRECARGA CONFORME NBR 5356-7
- 531 - ESTUDO COMPARATIVO DA RIGIDEZ DIELÉTRICA EM CONDIÇÕES DE CAMPO NÃO HOMOGÊNEO EM ÓLEOS VEGETAIS E MINERAIS
- 365 - CONDIÇÕES DE SOBRECARGA E IMPLICAÇÕES DA NBR 5356-7 DURANTE O DESIGN REVIEW DE TRANSFORMADORES

#### 2.3 252Novos Materiais aplicados ao setor elétrico

- 165 - REATORES SHUNT MANOBRÁVEIS COM NÚCLEO DE AR EXPERIÊNCIA DE PROJETO E APLICAÇÃO EM 230 KV
- 10 - DESENVOLVIMENTO DE NOVO ACESSÓRIO, COM NOVO MATERIAL E NOVO DESIGN, PARA REDES AÉREAS COMPACTAS DE 15 KV E 35 KV
- 21 - CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA DE NANOFUIDOS PARA TRANSFORMADORES ELÉTRICOS
- 112 - ENSAIOS DE COMPATIBILIDADE DE ÓLEO À BASE DE CANA-DE-AÇÚCAR COM PAPÉIS ISOLANTES, VEDAÇÕES E TINTAS
- 275 - AVALIAÇÃO DIELÉTRICA DE NANOMATERIAIS COMPOSTOS DE MATRIZ POLIMÉRICA PARA APLICAÇÃO EM ISOLADORES E ISOLAMENTO ELÉTRICOS
- 310 - BOBINAS SUPERCONDUTORAS ISOLADAS E NÃO ISOLADAS PARA APLICAÇÕES ELÉTRICAS
- 506 - ESTRUTURA DE ISOLAÇÃO DE UM TRANSFORMADOR PARA LÍQUIDOS DIELÉTRICOS DE ALTA PERMISSIVIDADE

#### 2.4 253Novas técnicas de ensaio, medição, monitoramento, diagnóstico, bem como processamento e gestão de seus resultados aplicados a transformadores, reatores e sistemas isolantes em alta tensão

- 454 - RECONDICIONAMENTO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA NA REN - AVALIAÇÃO DE 15 ANOS DE EXPERIÊNCIA COMO SOLUÇÃO PARA O PROLONGAMENTO DO TEMPO DE VIDA ÚTIL
- 377 - A EXPERIÊNCIA DA ELETRONORTE NA IMPLANTAÇÃO DA ANÁLISE DE RESPOSTA EM FREQUENCIA PARA DIAGNÓSTICO DE REATORES E TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA
- 389 - CONFIRMAÇÃO DA EFICÁCIA DO ENSAIO DE RESPOSTA DO DIELÉTRICO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E BUCHAS CAPACITIVAS COMO TÉCNICA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA
- 282 - ENSAIO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA EM SOBRECARGA - ANÁLISE DOS RESULTADOS UTILIZANDO A MEDIÇÃO INDIRETA (IMAGEM TÉRMICA) E DIRETA (FIBRA ÓPTICA) - CASO AUTOTRANSFORMADOR SE IPATINGA 1
- 11 - TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ISOLADORES COMPOSTOS TIPO BASTÃO
- 20 - SISTEMA INTELIGENTE PARA LOCALIZAÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA
- 67 - ESTUDO DE SISTEMAS ISOLANTES DE REFERÊNCIA USADOS NA DETERMINAÇÃO DA CLASSE TÉRMICA DE NOVOS SISTEMAS ISOLANTES SEGUNDO A NORMA IEEE C57.100
- 204 - SOFTWARE PARA ANÁLISE E DETECÇÃO DE FALHAS EM TRANSFORMADORES ATRAVÉS DE ENSAIOS DE IMPULSOS ATMOSFÉRICOS ESCALONADOS
- 261 - UMA RADIOGRAFIA DOS LABORATÓRIOS DE ENSAIOS DE ALTA TENSÃO NO BRASIL
- 303 - EXPERIÊNCIA COM ENSAIOS EM COMPONENTES PARA LT 800 KV EM CORRENTE CONTÍNUA
- 354 - AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À OXIDAÇÃO DE ÉSTERES NATURAIS ISOLANTES POR DIFERENTES METODOLOGIAS
- 367 - ESTIMATIVA DA UMIDADE NA ISOLAÇÃO SÓLIDA A PARTIR DO ÓLEO ISOLANTE DE TRANSFORMADORES
- 104 - MONITORAMENTO DE COMUTADORES DE DERIVAÇÕES SOB CARGA, UTILIZANDO A TÉCNICA DE EMISSÃO ACÚSTICA.
- 176 - CABEÇA DE SÉRIE - DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA E SISTEMA PILOTO DE CONTROLE DA CONDIÇÃO OPERATIVA DOS COMUTADORES SOB CARGA

- 206 - AUMENTO DA CONFIABILIDADE DO MONITORAMENTO TÉRMICO DIGITAL DE TRANSFORMADORES E SEU IMPACTO NO ATENDIMENTO À EMERGÊNCIAS
- 519 - INTEGRAÇÃO DE MONITORAÇÃO ON-LINE NAS ROTINAS DA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

### 3.0 RELATÓRIO SOBRE OS INFORMES TÉCNICOS

#### 3.1 - METODOLOGIA PARA REENERGIZAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA APÓS INTERRUPTÕES NÃO PROGRAMADAS NO SISTEMA ELÉTRICO

MARQUES, A.P.(1);AZEVEDO, C.H.B.(1);SANTOS, J.A.L.D.(1);MACHADO, S.G.(1);RIBEIRO, C.D.J.(2);MOURA, N.K.D.(2);DIAS, Y.A.(2);BRITO, L.D.C.(2); - CELG-D(1);UFG(2);

Tem-se como objetivo, neste trabalho, apresentar um método de análise de engenharia de manutenção quanto ao estado dos transformadores em operação com vistas à classificação e à intervenção naqueles que estiverem em situação mais crítica e, ainda, subsidiar tomadas de decisão referentes à reenergização destes, diante da atuação do sistema de proteção, bem como subsidiar intervenções de manutenções corretivas. Para este fim, desenvolveu-se uma ferramenta computacional tomando-se como base as condições operativas, as características e os resultados de técnicas preditivas de 394 transformadores em serviço na empresa CELG Distribuição (CELG D), com potências de 2,5 MVA a 50 MVA, tensões nominais de 34,5 kV a 138 kV e idades de 1 a 46 anos. Também é apresentada uma análise estatística de interrupções de serviço destes equipamentos, referente a um período de 37 anos (1979 a 2016), visando à qualidade no fornecimento de energia elétrica. Este método de análise já está sendo utilizado pela área de Engenharia e Controle da Manutenção da empresa para compor o diagnóstico dos transformadores, classificá-los por criticidade e emitir ações de intervenção.

Perguntas e respostas:

A) O trabalho aborda a avaliação de ativos através de uma classificação de equipamentos em operação. A discussão deste método de avaliação dos ativos é interessante mas a classificação dos equipamentos está condicionada a um bom critério para determinação dos pesos das diversas variáveis avaliadas. Qual o critério utilizado pela Concessionária para definir os pesos?

Os pesos foram definidos por meio de tese de doutoramento (em fase de conclusão) ligada a projeto de P&D da concessionária Celg D e a Universidade Federal de Goiás. Tomou-se como base uma série de ocorrências em transformadores seguidas de aberturas em oficina, inspeção e ensaios nestes equipamentos, além de histórico de ocorrências da concessionária e expertise da equipe de engenharia de manutenção.

B) A Concessionária utiliza Registrados de eventos para fornecer as informações de Tensão e Corrente de modo a ajudar no auxílio da identificação das causas das falhas?

As subestações de alta tensão (69 kV e 138 kV) da Celg D são, em sua maioria, telemetidas e telecomandadas, sendo quase todas providas, portanto, destas informações de tensões e correntes, bem como de proteções atuadas, as quais compõem o grau de severidade da ocorrência.

C) Segundo o trabalho, um transformador que saiu de operação devido a uma falha externa é avaliado para seu retorno a operação com base nas notas da classificação de risco mais a análise das proteções atuadas. Não são feitos testes, realizadas análises do óleo e eventual inspeção interna para auxiliar na decisão?

A solução adotada é mista. Sempre é desejável, do ponto de vista da manutenção, conhecer os resultados de todos os testes (inclusive os de óleo) e inspeções antes de se reenergizar um transformador. Entretanto, estes procedimentos demandam, por vezes, várias horas para se ter resultados, e as empresas de energia, seguindo os requisitos exigidos pelo agente regulador (ANEEL), no sentido de cumprir os limites dos índices de continuidade de fornecimento, têm sido forçadas a tomar decisões rapidamente para o restabelecimento do sistema. Assim, esta ferramenta foi desenvolvida com vistas a atender esta demanda, dentro do possível, e possibilitar as reenergizações, com mais segurança e eficiência, de equipamentos com "boa saúde" diante de ocorrências com severidade aceitável. Para aqueles que fogem as estas condições, são realizados os procedimentos de testes e inspeções antes de serem reenergizados (ou não).

#### 3.2 - LIMITADOR DE VFTO PARA TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

MIGUEL, P.M.(1);JUNIOR, J.A.T.(2);SANS, M.R.(2);MARTINS, C.L.D.L.(2); - TgDelta(1);LACTEC(2);

As manobras em subestações isoladas a SF6 (GIS) provocam o aparecimento de sobretensões extremamente rápidas. Essas sobretensões são conhecidas pela sigla VFTO (Very Fast Transient Overvoltage). Uma VFTO aparece devido às sucessivas reflexões dentro da GIS, que devido às curtas distâncias acabam gerando componentes com frequências elevadas, tipicamente na faixa de 10 a 100 MHz. Através de uma modelagem detalhada do transformador, adequada à presença de componentes de alta frequência, se localizam os pontos de maior solicitação no isolamento. Uma das constatações interessantes vem a ser a transferência dos efeitos da VFTO para o enrolamento secundário de transformadores, onde o envelhecimento provocado pelo efeito cumulativo da VFTO pode ser um fator predominante no modo de falha. Uma vez quantificada e localizada a solicitação imposta pelas VFTO, se passa então à tarefa de limita-las. Para tanto, um dispositivo é instalado na entrada do enrolamento do transformador, com o objetivo de rejeitar as componentes de alta frequência contidas na VFTO. O princípio de funcionamento do limitador e a determinação da sua resposta em frequência é apresentado. Também é analisado um exemplo de aplicação considerando um banco de transformadores com 3x155 MVA ? 525-16,5 kV ? YNd1. O limitador de VFTO foi concebido de forma a poder ser instalado na entrada dos enrolamentos diretamente conectados a uma GIS. Dessa forma, as componentes de alta frequência são refletidas parcialmente, não penetrando no enrolamento. Com isso se reduzem as solicitações oriundas das componentes de alta frequência e ao mesmo tempo se evita a transferência para os demais enrolamentos. Sendo esse dispositivo incorporado ao transformador, este se torna mais resiliente às sobretensões geradas por manobras nas subestações isoladas a gás (GIS).

Perguntas e respostas:

A) Com relação ao efeito do aumento das perdas no dielétrico devido as altas frequências de VFT, a literatura mostra a possibilidade de efeito cumulativo desse processo podendo levar a falha do equipamento em condição normal de operação. Os autores possuem experiência e/ou levaram esse aspecto em consideração na análise de caso apresentado?

Ao analisar o desmonte de um transformador que sofreu uma falha supostamente causada pelo efeito cumulativo das VFTO, se observou um cozimento do isolamento entre algumas espiras. Esse cozimento decorre do efeito das componentes de frequência elevada, posto que a corrente de deslocamento é proporcional à taxa de variação da tensão com o tempo. No caso de uma onda senoidal, a corrente de deslocamento é diretamente proporcional à frequência. Assim, como os pulsos de VFTO apresentam diversas componentes acima de 10 MHz, a corrente de deslocamento nessa faixa de frequências se torna predominante. Como o fator de dissipação do isolamento sofre um aumento nessa faixa de frequências, ver figura 11, ocorre um aumento de temperatura devido à corrente de deslocamento das componentes de frequência elevada. O isolamento localizado entre as espiras onde se concentra a maior parcela da tensão, são então submetidas a uma repetida elevação de temperatura a cada manobra de chave seccionadora na GIS e tendem a envelhecer mais rápido. Como essa elevação de temperatura é restrita a um pequeno trecho do enrolamento, não se observa esse efeito na temperatura do enrolamento como um todo. Porém, esse envelhecimento acabará provocando uma falha entre espiras e daí a falha evolui para uma falha interna ao transformador. O efeito cumulativo do envelhecimento de um isolamento é mais adequadamente representado por uma função de distribuição de probabilidades do tipo Weibull, que apresente a seguinte forma.  $F(E,N) = 1 - \exp[-N (E/E_0)^b]$  Onde N - número de pulsos aplicados, E - intensidade de campo elétrico na região mais afetada pelo pulso de VFTO, E<sub>0</sub>, b - parâmetros característicos da distribuição de Weibull ajustada ao material isolante utilizado no isolamento entre espiras. Os procedimentos de ajuste da distribuição de Weibull ao isolamento são conhecidos. A distribuição de Weibull apresenta a vantagem de ser escalável, de forma que se pode extrapolar o resultado de amostras de ensaio para o isolamento de um transformador real. O autor levou esse efeito de envelhecimento cumulativo e do aumento das perdas no dielétrico com a frequência para conceber o limitador. Como se observa na figura 10 o efeito do limitador de VFTO é o de reduzir as componentes de frequências mais elevadas. Com isso se reduz o calor dissipado pelas componentes de elevada frequência presentes na corrente de deslocamento.

B) Tendo em vista que o ensaio de onda cortada apresenta uma solicitação praticamente inexpressiva nas frequências acima de 10 MHz, os autores sugerem a inclusão de ensaios especiais de VFT na norma de transformadores? Se positivo, haveria algum sugestão ?

Durante a vida útil um transformador será submetido a 5 ou 6 sobretensões por ano, sobretensões essas oriundas de impulsos atmosféricos. Em nenhum caso a amplitude deverá exceder a 85% do NBI, geralmente as sobretensões não alcançam sequer a 60% do NBI. Assim sendo, os ensaios de impulso previstos nas normas são adequados para validar a suportabilidade frente a sobretensões de impulso. No que tange às VFTO, uma simples manobra de chave seccionadora em uma GIS provoca uma sucessão de pulsos com amplitudes que em casos extremos podem até mesmo ultrapassar o NBI [ver artigo GDS-7, apresentado neste mesmo SNPTEE]. O trem de pulsos gerado em uma única manobra de seccionadora pode conter mais de 100 pulsos. Assim, os surtos atmosféricos representam um máximo de 200 sobretensões em 40 anos de vida útil. Já as manobras de chaves seccionadoras em uma GIS representam dezenas de milhares de pulsos de VFTO incidindo nos terminais do transformador, a cada ano. Com a agravante de os pulsos de VFTO apresentarem componentes de frequências mais elevadas. Na opinião do autor é extremamente necessário que se estabeleçam procedimentos de ensaio para verificar que o isolamento de um transformador é adequado a resistir às solicitações impostas pelas VFTO. Quanto a uma sugestão para os ensaios a realizar, há que levar em conta que o efeito das VFTO é observado principalmente pelo envelhecimento cumulativo do isolamento. Se faz então necessário um procedimento que permita simular esse envelhecimento de forma acelerada, ou seja, seria um ensaio de tipo e não de rotina. Como ensaios normalizados precisam ser passíveis de reprodução em diferentes laboratórios, é importante que o estabelecimento de rotinas de ensaio para VFTO seja objeto de grupos de estudo compostos por fabricantes e concessionárias.

C) Na figura 14, qual o modelo do autotransformador utilizado, tendo em vista que para frequências da ordem de MHz, esse modelo deverá ser o mais discretizado possível ?

O modelo de transformador aparece parcialmente na figura 3 do próprio artigo. Trata-se apenas de uma versão simplificada do modelo. O modelo e suas características foram inicialmente apresentadas no VII Workspot (artigo Avaliação de sobretensões internas em transformadores de potência através de modelos em caixa aberta para simulação na plataforma ATP). O trabalho de modelagem prosseguiu e o resumo de um artigo mais completo foi submetido para este SNPTEE, mas infelizmente não foi selecionado. Os autores buscam ainda onde apresentar esses resultados, que de toda forma, ainda seguem evoluindo. O modelo permite um grau de detalhamento

por menorizado. Os discos podem ser modelados espira a espira ou agregados como um circuito equivalente do disco. A escolha entre representar as espiras individualmente depende da forma de onda cujos efeitos se deseja analisar. O acoplamento entre espiras, entre discos, entre enrolamentos e para a massa é representado. Com esse modelo é possível determinar a tensão entre espiras, entre discos, entre uma espira e a massa e entre enrolamentos. A capacitância entre espiras leva em consideração as dimensões do condutor utilizado, a espessura e número de camadas de papel isolante e a distância entre as espiras. A capacitância entre discos leva em consideração as dimensões do condutor, o isolamento do condutor, o canal de refrigeração entre os discos e o efeito dos suportes. Dessa forma se obtém um circuito formado por capacitâncias, resistências e indutâncias de extrema complexidade. A montagem do circuito para uso no ATP seria por demais trabalhosa para ser realizada manualmente. Por isso foi elaborado um programa de computador (depositado no INPI sob o nº 020140031202 - Programa InTrafo - outubro/2014) que monta o arquivo ATP correspondente ao modelo. O usuário deve entrar com uma série de informações dimensionais do transformador, de modo que o modelo possa ser montado pelo programa. As informações dimensionais são usualmente obtidas durante a etapa de Design Review. No caso de um transformador ainda não projetado ou construído, um programa auxiliar foi elaborado para elaborar um projeto básico do transformador, de modo a permitir a análise da distribuição das tensões e a otimização do projeto do transformador.

### 3.3 - ANÁLISE DE SUPORTABILIDADE DIELÉTRICA DE REATORES PARA SURTOS RÁPIDOS DECORRENTES DE MANOBRAS DE DESENERGIZAÇÃO

MONTANHA, J.(1);RABEL, A.(1);ANTUNES, R.(2);ROCHA, A.D.C.O.(3); - SIEMENS(1);ELETROSUL(2);CONSULTOR(3);

Reatores de derivação estão submetidos às solicitações de tensão transitórias provocadas por manobras diárias de desenergização. Em condições onde os dispositivos de manobra controlada encontram-se indisponíveis, há elevada probabilidade de reignições (reacendimento do arco elétrico após a interrupção de pequenas correntes indutivas) durante abertura do disjuntor, o que implica em sobretensões severas impostas aos terminais dos reatores, com elevadas taxas de variação e espectro de frequência de centenas de kHz. A suportabilidade dielétrica dos reatores em longo prazo irá depender de algumas características das sobretensões impostas aos seus terminais como, por exemplo, da taxa de crescimento de tensão oriunda de reignições, do pico máximo de tensão pré e pós-reignição, de seu espectro de frequência e por fim da quantidade de ocorrências e topologias associadas à subestação, a ser considerada ao longo da vida útil do equipamento. Este trabalho apresenta o estudo da suportabilidade dielétrica para manobras de desenergização em reatores de derivação monofásicos de 550/73 kV 54,9 MVar a serem instalados na Subestação de Biguaçu, de propriedade da Eletrosul. Para os estudos do sistema e levantamento das principais características das tensões transitórias de reignição, 3 diferentes modelos matemáticos do reator em referência foram fornecidos pelo fabricante. Dois destes modelos conhecidos como Black-Box foram obtidos com base na resposta em frequência do modelo White-Box através de técnicas de ajuste da curva como, por exemplo, Vector Fitting e ajuste de múltiplas ressonâncias. Um terceiro modelo White-Box foi obtido diretamente da ferramenta do fabricante utilizada para o dimensionamento das solicitações transitórias dos ensaios dielétricos de aceitação requeridos por norma. Neste modelo foi realizada uma análise de sensibilidade ao grau de detalhamento através da variação do número de ramos. As tensões transitórias obtidas dos estudos do sistema através da utilização dos diferentes modelos matemáticos são apresentadas e discutidas neste trabalho. Suas solicitações são comparadas às solicitações dos ensaios elétricos finais de aceitação no fabricante cujas formas de onda são padronizadas por norma, como, por exemplo, os ensaios de rotina de impulso atmosférico e de surto de manobra. Para esta comparação foram utilizados os conceitos de fator de severidade no domínio do tempo e no domínio da frequência. Adicionalmente, empregou-se o critério alternativo de avaliação de suportabilidade baseado nas taxas máximas e médias das sobretensões, critério este rotineiramente empregado pelos Agentes em situações onde não se dispõe de dados ou ferramentas adequadas para análise quantitativa do projeto. Para os estudos do sistema, foram considerados alguns modelos de para-raios. Dentre eles, modelos incluindo curvas típicas de tensão residual de manobra, comumente empregados em estudos de reignição, e também o modelo proposto por Pincet e Giannetoni, dependente da frequência. Este último devido às faixas de frequências associadas às frentes de onda resultantes. Verificou-se que a representação dos para-raios, concebido de forma adequada ao fenômeno avaliado, é fundamental para determinação tanto das amplitudes máximas quanto das taxas de variação das sobretensões. Adicionalmente, a verificação da sensibilidade das solicitações com variação da modelagem dos barramentos rígidos e aéreos da subestação é analisada. Com o objetivo de avaliar a suportabilidade da isolamento durante a vida útil do reator foi introduzido o conceito de fator de confiabilidade proposto pelo fabricante. Este fator considera a distribuição estatística de Weibull para representar a frequência de repetições das sobretensões consideradas durante o período avaliado de 30 anos. A avaliação dos fatores de segurança consistiu em comparar, em cada caso simulado, as tensões calculadas entre discos do enrolamento de alta tensão com as curvas de suportabilidade do fabricante. As tensões calculadas entre discos são obtidas através da ferramenta de cálculo transitório do próprio fabricante. Esta ferramenta tipicamente é a mesma utilizada para o dimensionamento e cálculo das solicitações dielétricas dos ensaios de impulso atmosférico requeridos por norma. Já os valores de suportabilidade são calculados considerando os transitórios não normalizados em análise. Como conclusão, o trabalho compara os resultados obtidos com os diversos modelos do reator utilizados, ressaltando os pros e os contras de cada abordagem. São apresentadas também recomendações que podem ser incluídas nas especificações técnicas futuras com o objetivo de aumentar a confiabilidade ao longo da vida útil dos reatores de derivação.

Perguntas e respostas:

A) Quais são as informações necessárias quanto aos requisitos de manobra a ser incluída em uma especificação de um reator manobrável ?

Para o projeto de dimensionamento dielétrico do reator algumas características das ondas transitórias são fundamentais como as máximas amplitudes e taxas de variação em kV/μs. Também é importante informar uma boa estimativa da frequência de ocorrência destes transitórios durante a vida operacional para estabelecer um projeto de suportabilidade a longo prazo.

B) Na tabela 2 é apresentada o número de manobras esperadas por ano sem a utilização de chaveamento controlado durante 2 meses(tempo de manutenção). Como foram calculados os números? O reator não deveria ser especificado para suportar todas as manobras sem o dispositivo de controle nem PR?

Os números foram obtidos com base na experiência da concessionária e uma estimativa estatística. Tecnicamente o reator pode ser especificado para suportar as manobras sem dispositivo de controle. No entanto, isto impactará na reavaliação do estudo de coordenação de isolamento e consequente aumento do nível de isolamento especificado e de custos do equipamento.

C) No caso apresentado, quais as alterações no projeto do reator para suportar as manobras? Qual o impacto no preço? A ANEEL leva em conta no cálculo das RAPs o custo adicional dos reatores, se houver?

Neste caso específico não houve impacto no que diz respeito a alterações de projeto pois o nível especificado para impulso atmosférico padrão foi a solicitação determinante para o dimensionamento deste projeto. Não houve impacto no custo de projeto. Em princípio, a ANEEL não considera o custo efetivo do equipamento para o cálculo da RAP (receita anual permitida) e sim o valor definido em seu banco de preços.

### 3.4 - AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE ELASTÔMEROS COMERCIAIS COM FLUIDOS ISOLANTES USADOS EM TRANSFORMADORES

SALUM, A.S.(1);RICHART, F.S.(1);SILVA, F.I.D.C.(1);ÁVILA, M.C.D.(1);ADONIS, N.G.(2);MUNARO, M.(1); - LACTEC(1);COPEL(2);

No sentido de compreender os mecanismos de interação entre o óleo e os elastômeros, alguns estudos têm sido desenvolvidos visando o entendimento dos fenômenos e a proposição da melhoria nas formulações para atingir melhor desempenho desses materiais nestas solicitações. Neste trabalho foi avaliado o comportamento de cordões de NBR comerciais utilizados em transformadores de potência, quando em contato com fluidos isolantes. Quatro amostras de diferentes fabricantes foram caracterizadas térmica e mecanicamente e em seguida, foram envelhecidas em OMI e em ENI soja, por períodos diferentes de tempo, a 100 °C, e avaliaram-se as alterações de propriedades destas após o envelhecimento.

Perguntas e respostas:

A) O trabalho trata da compatibilidade de elastômeros com fluidos isolantes. Existem normas ABNT específicas para realização destes ensaios, tanto para OMI quanto para o ENI. Os autores realizaram o ensaio de compatibilidade dos elastômeros com ENI de acordo com a norma ABNT NBR 16431 "Equipamento elétrico - Determinação da compatibilidade de materiais empregados com óleo vegetal isolante", publicada em 2015? Se sim, qual foi o resultado obtido? Se não, porque não foi realizado?

Os ensaios de compatibilidade, tanto pela norma ABNT NBR 14274 para o OMI quanto pela norma ABNT NBR 16431 para os ésteres naturais, foram realizados nestas amostras, porém, não no estudo apresentado neste trabalho. Os ensaios de compatibilidade por estas normas avaliam as alterações que ocorrem nos fluidos isolantes, mas não avaliam as alterações ocorridas nos elastômeros. O foco deste trabalho foi o estudo dos elastômeros das vedações utilizadas nos transformadores, e não dos fluidos. Se for do interesse da comissão, podemos apresentar na plenária os ensaios de compatibilidade junto aos resultados que já constam no IT.

B) Os autores realizaram o ensaio de compatibilidade dos elastômeros com OMI de acordo com a norma ABNT NBR 14274 "Óleo mineral isolante ? Determinação da compatibilidade de materiais empregados em equipamentos elétricos"? Se sim, qual foi o resultado obtido? Se não, porque não foi realizado? Os autores fizeram o ensaio pela ASTM D471 "Standard Test Method for Rubber Property?Effect of Liquids"? Se sim, qual foi o resultado obtido? Se não, porque não foi realizado?

Os ensaios de compatibilidade, tanto pela norma ABNT NBR 14274 para o OMI quanto pela norma ABNT NBR 16431 para os ésteres naturais, foram realizados nestas amostras, porém, não no estudo apresentado neste trabalho. Os ensaios de compatibilidade por estas normas avaliam as alterações que ocorrem nos fluidos isolantes, mas não avaliam as alterações ocorridas nos elastômeros. Para avaliar o desempenho dos elastômeros utilizados nas vedações, foram realizados ensaios de envelhecimento nos fluidos isolantes conforme ASTM D471 e avaliados quanto às variações de massa, volume e dureza. Os resultados obtidos estão apresentados nos gráficos do IT.

C) Como no trabalho não foram apresentados resultados de compatibilidade pelas normas vigentes, não foi possível concluir se os elastômeros testados seriam ou não compatíveis com os fluidos utilizados. Com base nos ensaios e resultados apresentados no artigo, é possível afirmar que cordões à base de NBR contendo acrilonitrila na faixa de 6 a 29% não são adequados para aplicação em equipamentos preenchidos com ENI?

As principais considerações que podem ser citadas, em relação à ABNT NBR 5440:2011 - Transformadores para redes aéreas de distribuição ? Requisitos: Por especificação: - Os materiais de vedação devem ser fabricados em borracha nitrílica com alto teor de acrilonitrila (39 a 40 %); - Dureza: (65 ± 5) Shore A; - Envelhecimento por 70 h a 100 °C: variação de volume de (0 a 5) % e variação de dureza de (-10 a +5) pontos. Resultados obtidos: - Amostras A, B e C são NBR. Amostra D é um EPDM. Neste caso, amostra D já está fora da especificação. - Durezas: amostra B não corresponde ao especificado. - Amostra A: (67,1 ± 1,1) Shore A; - Amostra B: (75,7 ± 0,4) Shore A; - Amostra C: (70,7 ± 0,9) Shore A; - Amostra D: (71,6 ± 1,4) Shore A. - Após envelhecimento a 100 °C, por 96 h, analisando os gráficos do IT: Para o OMI: - Amostra A: Variação de volume: +4,2 % e Variação de dureza: -0,3 Shore A. Amostra Ok. - Amostra B: Variação de volume: +0,2 % e

Varição de dureza: +0,1 Shore A. Amostra Ok. - Amostra C: Variação de volume: -0,7 % e Variação de dureza: -1,6 Shore A. Amostra NÃO OK. Variação de volume negativa. - Amostra D: Variação de volume: +42,3 % e Variação de dureza: -18,5 Shore A. Amostra NÃO OK. Variação de volume maior que 5% e de dureza maior que 10 pontos negativos. Para o ENI SOJA: - Amostra A: Variação de volume: -10,6 % e Variação de dureza: +8,4 Shore A. Amostra NÃO OK. Variação de volume negativa e de dureza maior que 5 pontos negativos. - Amostra B: Variação de volume: -12,1 % e Variação de dureza: +6,3 Shore A. Amostra NÃO OK. Variação de volume negativa e de dureza maior que 5 pontos negativos. - Amostra C: Variação de volume: -6,3 % e Variação de dureza: +0,3 Shore A. Amostra NÃO OK. Variação de volume negativa. - Amostra D: Variação de volume: +11,2 % e Variação de dureza: -11,1 Shore A. Amostra NÃO OK. Variação de volume maior que 5% e de dureza maior que 10 pontos negativos. Para o ENI MLHO: - Amostra A: Variação de volume: -10,0 % e Variação de dureza: +7,2 Shore A. Amostra NÃO OK. Variação de volume negativa e de dureza maior que 5 pontos negativos. - Amostra B: Variação de volume: -11,6 % e Variação de dureza: +5,7 Shore A. Amostra NÃO OK. Variação de volume negativa. - Amostra C: Variação de volume: -5,9 % e Variação de dureza: +3,0 Shore A. Amostra NÃO OK. Variação de volume negativa. - Amostra D: Variação de volume: +12,7 % e Variação de dureza: -10,7 Shore A. Amostra NÃO OK. Variação de volume maior que 5%.

**Comentário:** SUGIRO REENQUADRAR PARA O TP 3 Novos Materiais aplicados ao setor elétrico:-

### 3.5 - OBSERVAÇÕES DE FURNAS SOBRE A VELOCIDADE DE REAÇÃO DO ENXOFRE CORROSIVO GERADO PELA REGENERAÇÃO DO ÓLEO MINERAL ISOLANTE

ALVES, M.L.P.(1);CRUZ, V.G.M.(1); - FURNAS(1);

Depósitos de material escuro, provavelmente sulfeto de prata, em contatos prateados de comutadores de tensão sob carga foram causadores de defeitos e falhas em equipamentos de Furnas Centrais Elétricas. Os depósitos foram formados após o óleo isolante destes equipamentos ter sido submetido a processo de regeneração por Unidade Móvel de Regeneração. Entretanto, nem todos os equipamentos cujo óleo fora regenerado apresentaram defeito ou falha. Passados dois anos após os registros efetuados por Furnas, novas inspeções foram realizadas. Estas inspeções proporcionaram novas observações sobre o processo de reação do enxofre corrosivo com a prata existente nos contatos, bem como da velocidade desta reação.

Perguntas e respostas:

A) Os autores não entram, em seu trabalho, no mérito da causa da formação dos depósitos denominados como sulfeto de prata. Teriam como acrescentar alguma informação relativa a isto, uma vez que o mecanismo de reações químicas e sua cinética é que o determina se uma reação será rápida ou lenta ?

Na verdade, o presente trabalho se propõe apenas a avaliar os diferentes tempos decorridos, após a regeneração do óleo, para a formação dos depósitos de sulfeto de prata nos contatos dos transformadores inspecionados. A formação do sulfeto de prata se dá pela reação de espécies de enxofre corrosivo presentes no óleo isolante com a prata existente na superfície de contatos. A pergunta mais relevante aqui é como surgiram espécies corrosivas de enxofre no óleo isolante com espécies até então inertes. No último SNPTEE apresentamos três trabalhos sobre o tema contando nossa experiência sobre o assunto, inclusive foram citados casos similares em outros países. A hipótese mais aceita é que a conversão de espécies inertes em espécies corrosivas de enxofre acontece devido ao sobreaquecimento do óleo isolante durante o processo de reativação do material adsorvente, mas ainda não existe estudo mais aprofundado sobre o assunto explicando exatamente o que acontece. Bem como não foi determinada qual espécie corrosiva, ou espécies corrosivas são produzidas durante a regeneração. Sem o conhecimento destas espécies, não é possível propor um mecanismo para a reação do enxofre corrosivo com a prata e nem estudar a sua cinética.

B) Os autores não possuem nenhum resultado adicional de investigações que demonstrem que a composição química dos depósitos é mesmo sulfeto de prata? Possuem resultados dos ensaios de corrosividade dos óleos isolantes que estavam operando nos equipamentos que foram retirados de serviço?

Nos trabalhos que apresentamos no último SNPTEE foram incluídos resultados de ensaios de Microscopia Eletrônica de Varredura em amostras do depósito em questão, retiradas dos equipamentos inspecionados. Os ensaios foram executados em dois laboratórios diferentes e os resultados foram os mesmos: o depósito era composto, principalmente, pelos elementos enxofre e prata, provavelmente, caracterizando sulfeto de prata. Recentemente, executamos também ensaios de difração de raios X nestes depósitos e os resultados confirmaram que os elementos enxofre e prata estão ligados na forma de sulfeto de prata no material analisado. Também no último SNPTEE, apresentamos vários resultados de ensaios de corrosividade executados em amostras de óleo isolante tanto de equipamentos que apresentaram o depósito de sulfeto de prata quanto de outros equipamentos sob suspeita. Os ensaios foram executados de acordo com as metodologias normatizadas existentes à época e não se mostraram confiáveis, tendo em vista que até mesmo os ensaios executados em óleo isolante dos equipamentos com sulfeto de prata resultaram em "não corrosivo". Mais recentemente, executamos ensaios de corrosividade em óleo isolante de acordo com uma nova metodologia normatizada que utiliza lâminas de prata (ASTM D1275:2015 e NBR 10505:2017) e cuja confiabilidade dos resultados ainda estamos avaliando. No entanto, a princípio, os resultados já obtidos com esta nova metodologia têm se mostrado mais promissores do que aqueles obtidos com as metodologias antigas.

C) Os autores observaram alguma relação entre o processo de regeneração ou tipo de equipamento com a possibilidade maior ou menor de formação de depósitos?

A conversão de enxofre inerte em corrosivo foi observada apenas em unidades móveis de regeneração, que possuem uma etapa de reativação de suas colunas de adsorção. A formação de depósitos somente acontece se houver esta conversão. Além disso, somente foram observados depósitos de sulfeto em contatos prateados. Assim, equipamentos que possuem contatos prateados e óleo mineral isolante regenerado através de uma unidade móvel de regeneração apresentam maior risco de formação de depósitos de sulfeto. No momento, estamos investigando também se há maior ou menor possibilidade de conversão das espécies de enxofre em função das características do óleo.

### 3.6 - ANÁLISE DE GASES DISSOLVIDOS EM TRANSFORMADORES COMO FERRAMENTA DE MANUTENÇÃO: REVISÃO BIBLIOGRÁFICA DOS PRINCIPAIS MÉTODOS E A EXPERIÊNCIA DA COPEL DISTRIBUIÇÃO

RODGER, (1);GIESBRECHT, M.(2);FRANZA, J.A.D.(3);FELZCIO, A.L.D.S.M.(3); - COPEL(1);FEEC/UNICAMP(2);UEL(3);

Este trabalho traz análises de ocorrências em transformadores de potência utilizando métodos tradicionais de diagnóstico com Análise de Gases Dissolvidos (AGD). Para tanto são empregados dados de transformadores de propriedade da COPEL Distribuição, com tensão nominal de 34 kV a 138 kV, em condições operacionais peculiares ao Sistema Interligado Nacional. Realiza-se a análise nos dados de registros de AGD e de manutenção de forma geral e posteriormente em particular alguns eventos importantes que evoluíram para falhas. Sobre os eventos e dados é analisada e comentada a assertividade dos métodos descritos para as diferentes ocorrências avaliadas

Perguntas e respostas:

A) Os autores comentam que incertezas influenciam nos resultados. Qual o perfil do profissional que executa a amostragem de óleo isolante e quais os procedimentos adotados pela empresa para garantir a cadeia de medição ?

Na intenção de diminuir as incertezas, as amostras são colhidas mediante procedimento definido (NBR 7070), por profissional qualificado e treinado, acondicionadas em sala com temperatura e umidade controladas e encaminhadas posteriormente para análise. Este manuseio de amostras e o tempo para análise são fatores que interferem nas medições, aliando-se os métodos de medição A e B da ASTM 3612 e NBR 7070 e o descrito em [6]. Cremos ser pontos que interfeririam positivamente na diminuição destas incertezas: a utilização do método ASTM 3612-C, a determinação de DGA online, e a utilização de outras técnicas de Inteligência artificial para a determinação do diagnóstico.

B) Os autores selecionaram 17 TF entre o histórico existente baseados no conhecimento das intervenções realizadas versus diagnósticos disponíveis por diversas metodologias de análise. Os autores definiram qual a metodologia de análise com maior número de acertos?

Sim, mediante os casos estudados o método do triângulo de Duval teve uma maior correlação com as faltas observadas totalizando 89% de acerto, o de Rogers 61%, e NBR e IEC 44% cada.

C) Os autores concluem que a maioria dos eventos catastróficos têm origem externa ao TF, seria possível discordar desta posição associando o conhecimento dos diferentes graus de envelhecimento da parte ativa para uma mesma solicitação teórica?

De um certo ponto de vista sim, mas permita-nos discorrer um pouco mais a respeito. Quando referimos à origem dos eventos catastróficos, destacamos o evento inicial desencadeante da falha. Esta provavelmente progride mediante a uma menor suportabilidade do TF, a qual poderia ser comprovada mediante exame mais criterioso da isolamento sólida, calços, grau de polimerização etc decorrentes do envelhecimento. Contudo pode apontar para a possibilidade de se optar por uma filosofia de proteção mais conservadora do ponto de vista do TF, tanto das cargas como de seus periféricos, como uma ação possível para diminuir a possibilidade de uma parada não programada para manutenção do TF.

### 3.7 - ATUALIZAÇÃO DA ESPECIFICAÇÃO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA DA CHESF: DIRETRIZES SEGUIDAS E RESULTADOS OBTIDOS

MONTENEGRO, S.G.(1);FRAGA, F.N.(1);XAVIER, C.S.D.S.(1);SIMONI, V.R.(1);LEAL, F.D.S.(1);FREITAS, F.E.F.(1);NASCIMENTO, B.A.D.(1);VILAR, I.D.S.(1);MELO, F.F.S.D.(1);JUNIOR, W.R.D.A.(1); - CHESF(1);

O artigo proposto apresenta os desafios de modificar a especificação para aquisição de transformadores de potência de uma das maiores e mais antigas transmissoras de energia do Brasil, a Chesf usando as contribuições das áreas de engenharia e manutenção de subestações e estudos elétricos de sistemas. A revisão usou como insumos do processo os seguintes aspectos e documentos: - A especificação de transformadores até então utilizada pela Chesf; - Estudos do sistema elétrico da Chesf; - As experiências da Chesf em ensaios de fábrica; - As normas pertinentes e os Procedimentos de Rede; - Sugestões/requisitos de clientes internos e principais órgãos da Chesf envolvidos com o transformador durante o seu ciclo de vida; - Guias de grupos de trabalho relacionados do Cigré. A revisão da especificação foi motivada por experiências obtidas em ensaios, avanços na área de monitoramento de transformadores e experiências de campo, e o principal objetivo foi melhorar a competitividade da Chesf no setor de transmissão uma vez que todo empreendimento de transmissão envolvendo transformação é fortemente impactado pelos custos diretos com o transformador. Mais do que apenas reduzir o custo inicial do transformador, foi feita uma revisão dos requisitos da transmissora, visando reduzir o custo combatendo desperdícios e superdimensionamentos, procurando eliminar ou adequar parâmetros conservativos existentes e incluir tecnologias outrora impossíveis de agregar por serem inacessíveis, não confiáveis ou consideradas desnecessárias à época.

## Perguntas e respostas:

A) O trabalho reporta um retrospecto de 42,85% de falhas registradas durante ensaios de elevação de temperatura. Esta taxa parece bem expressiva. O autor poderia dar mais detalhes sobre os tipos de falhas?

No período de 2015 a 2016, foram ensaiados 07 transformadores protótipos, destes, 03 não tiveram reprovação no ensaio de aquecimento. 01 autotransformador de 550/230 - 200 MVA - Ligação entre o comutador e a bobina de regulação deveria ter dois condutores em paralelo, teve os condutores ligados em série - levou ao derretimento de um dos condutores durante o ensaio de aquecimento em sobrecarga. 01 transformador trifásico 230/69 kV - 180 MVA - Temperatura do hot-spot acima da temperatura permitida durante a sobrecarga; 01 transformador trifásico 230/69 kV - 150 MVA - Temperatura do hot-spot acima da temperatura permitida durante a sobrecarga. Há uma forte indicação da dificuldade em atender aos requisitos de limite de temperatura durante a sobrecarga do ONS. Considerando o histórico, antes de a sobrecarga passar a ser exigida, as dificuldades encontradas durante o ensaio de elevação de temperatura eram muito mais ligadas ao procedimento de ensaio e dispositivos para medição do que o sistema de refrigeração do equipamento não ser adequado para atender aos requisitos da especificação. Atualizando com os dados de transformadores ensaiados até o presente momento, esse número fica ainda maior, cerca de 57%, já que outra unidade (230/69 kV - 50 MVA) falhou no ensaio de elevação de temperatura em sobrecarga pelo mesmo motivo das outras três unidades anteriores, limite de temperatura.

B) Concessionária tem algum indicador de melhora no desempenho dos transformadores com esta especificação melhorada?

Devido a crise que atingiu as empresas do setor elétrico, essa especificação de compra ainda não foi utilizada até o momento. Importante ressaltar, no entanto, que a operação da Chesf tem os indicadores das taxas de falhas e disponibilidade dos transformadores em operação bastante satisfatórios, mas que o que motivou a revisão das especificações foi tornar mais competitiva a concessionária para os leilões, o que de certa forma, vai na contra-mão de melhora de desempenho. O grande desafio é encontrar um bom compromisso entre ter um produto mais barato e ainda ter um equipamento que se mantenha confiável durante seu período de vida útil.

C) A Concessionária tem critérios diferentes para diferentes aplicações: transformadores elevadores para UHE e UTE, e transformadores de SEs?

Sim, apenas foi revisada a especificação de compra de transformadores para subestações. Transformadores de usina tem suas particularidades em termos de condições de funcionamento, perturbações a que pode estar sujeito, comutação além de requisitos de rede diferentes dos transformadores de subestações que devem ser respeitados e estudados antes de qualquer alteração.

### 3.8 - UTILIZAÇÃO DO MÉTODO DE ELEMENTOS FINITOS PARA PROJETO ELETROMAGNÉTICO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA EM CONDIÇÕES DE SOBRECARGA CONFORME NBR 5356-7

IARONKA, O.(1);OLIVEIRA, L.F.D.(1);HARMEL, D.F.(1); - WEG(1);

Segundo a NBR 5356-7 o transformador deve suportar ciclos de carga de 120 e 140 % com duração de 240 e 30 minutos, respectivamente, sem comprometimento de sua vida útil de 35 anos. Entretanto, quando submetidos à tal condição de sobrecarga o transformador pode apresentar elevações de temperatura em regiões com potencial de degradar prematuramente suas condições nominais para funcionamento. Este trabalho almeja, através do uso de Simulações Numéricas Computacionais com base no Método de Elementos Finitos, identificar e promover ações específicas para que durante o projeto seja possível contornar possíveis pontos de aquecimentos oriundos das condições de sobrecarga.

## Perguntas e respostas:

A) A solução proposta pelo autor para solucionar os efeitos do fluxo disperso foi a instalação de blindagens. Não seria mais prudente alterar a geometria do núcleo para minimizar o fluxo disperso?

A metodologia proposta neste trabalho foi elaborada para contornar os efeitos do campo magnético disperso deste equipamento monofásico que foi projetado com uma única coluna de retorno (mesma seção da coluna principal). Esta solução também pode ser utilizada em transformadores trifásicos sem colunas de retorno com a mesma característica de elevada impedância e consequente elevado campo magnético disperso. Independente da característica geométrica do núcleo, dependendo da potência reativa do campo magnético disperso, é necessário fazer uso de blindagens nas ferragens de fixação da parte ativa e no tanque.

B) A utilização de um núcleo de 3 pernas não minimizaria seria mais eficiente e com menos risco?

A utilização de um núcleo do tipo shell type (coluna principal com 2 colunas de retorno com metade da seção) apresenta uma tendência de atenuação dos efeitos do campo disperso, principalmente porque há mais silício disponível para conduzir o campo magnético disperso na região do enrolamento. Porém, neste caso, a alteração da geometria do núcleo simplesmente mudaria a direção/localização e levemente a amplitude do campo magnético disperso e ainda seria necessária a utilização de blindagens nas ferragens da parte ativa e no tanque. Sobre eficiência da metodologia e o risco de mau funcionamento, é possível afirmar que todas as análises referentes às perdas e consequente aquecimento em função do campo magnético disperso foram realizadas com o método de elementos finitos e a quantidade e espessura das blindagens (cobre para ferragens da parte ativa e aço silício para o tanque) foram corretamente dimensionadas para suportar as condições de carga normalizadas conforme NBR 5356-7.

C) Qual é a premissa básica para o projeto do transformador: passar nos ensaios ou operar durante a vida útil nas condições especificadas e estabelecidas pela Norma sem perda de vida útil ?

Passar nos ensaios e operar durante sua vida útil são duas premissas básicas de projeto de transformador que não podem ser analisadas separadamente. Todo equipamento é projetado e fabricado para operar adequadamente durante toda sua vida útil e essa condição é validada durante com a realização dos ensaios. Os ensaios foram elaborados e são aplicados ao equipamento com o objetivo de testar a performance da máquina e com isso garantir ela tenha uma vida útil adequada. A aprovação nos ensaios indica que o transformador suporta o nível de estresse dielétrico, mecânico e térmico e, com isso, tem condições para operar durante toda sua vida útil conforme especificada por Norma. O cálculo do transformador é realizado considerando as condições de duração da vida útil do equipamento determinada por norma.

### 3.9 - ESTUDO COMPARATIVO DA RIGIDEZ DIELÉTRICA EM CONDIÇÕES DE CAMPO NÃO HOMOGÊNEO EM ÓLEOS VEGETAIS E MINERAIS

SBRAVATI, A.(1);TENBOHLEN, S.(2);RAPP, K.(1);HAEGELE, S.(2); - CARGILL(1);IEH UNI STUTTGART(2);

O uso de óleos vegetais como meio isolante líquido em transformadores de potência oferece muitas vantagens em comparação com os óleos minerais convencionais, como por exemplo, maior segurança a incêndios, em função dos pontos de fulgor e combustão bem mais altos, o maior limite de saturação de umidade, extensão de vida da celulose e melhor sustentabilidade ambiental. Apesar de diversos estudos confirmarem que a capacidade dielétrica dos óleos vegetais são equivalente a do óleo mineral para os elementos construtivos típicos de transformadores, estudos com distribuições de campo extremamente não-homogêneas indicam valores de tensão de ruptura mais baixos para os óleos de base vegetal. Este estudo foi desenvolvido para investigar mais profundamente a influência da distribuição do campo elétrico na rigidez dielétrica de óleos de origem vegetal, em comparação com os óleos minerais. Ensaios dielétricos em gap de óleo foram realizados utilizando diferentes configurações experimentais e diferentes tipos de tensão de excitação. A tensão de ruptura para pulso atmosférico padrão 1,2 / 50 µs foi medida com base na norma ASTM D3300. Diferentes eletrodos foram utilizados, com diferentes distâncias de separação (gaps), de maneira a representar diversos níveis de não-homogeneidade do campo elétrico. A distribuição de campo menos não-homogênea foi obtida usando dois eletrodos de esfera, com gaps pequenos. Enquanto para a condição de campo extremamente não-homogênea, também definido como altamente concentrado ou divergente, os eletrodos de esfera foram substituídos por eletrodos de agulha com diferentes raios de ponta, de até 0,12mm. Os resultados de ensaios dielétricos dependem da estrutura química dos líquidos utilizados, podendo não ser os mesmos para diferentes óleos minerais e também para variações de óleos vegetais. Por isso, consideramos essencial a informação dos óleos utilizados, que nesse estudo foram o Envirotemp™ FR3™ como óleo vegetal e o Lyra X como o óleo mineral. Ambos os óleos passaram por tratamento de secagem e desgasificação, para um teor de umidade relativa de inferior a 15% de saturação antes do início dos ensaios. Os resultados obtidos para as distribuições de campo elétrico homogêneo e não-homogêneo confirmam valores de rigidez dielétrica bastante próxima para ambos os óleos. No entanto, conforme reportado por estudos de outros institutos e universidades, foi identificada uma queda da tensão de ruptura nos óleos vegetais, em comparação com o óleo mineral, em campos elétricos extremamente concentrados. Essa diferença consiste da diferença na estrutura química e dos mecanismos de descarga dos óleos vegetais em relação ao óleo mineral. Através da utilização de cinco eletrodos diferentes, ensaiados em diferentes distâncias de separação, esse trabalho conseguiu identificar o limite de transição, o valor máximo de concentração de campo onde a capacidade dielétrica do óleo vegetal ainda pode ser considerada equivalente a do óleo mineral. Para permitir o uso dos resultados com diferentes geometrias, foram utilizados os conceitos dos fatores de Schwaiger?, onde a geometria é convertida em fatores adimensionais ?p? e ?q?, para indicação dos resultados.

## Perguntas e respostas:

A) Os autores relatam que "ensaios preliminares foram realizados para excluir possíveis efeitos volumétricos". Poderiam esclarecer como tais efeitos foram identificados e quais foram os critérios utilizados para excluí-los?

Os ensaios preliminares realizados visaram garantir que o tamanho total da célula fosse suficiente para garantir que a descarga ocorresse sempre entre os eletrodos, na região investigada. Foi também avaliada a influência da disposição dos eletrodos na direção vertical ou horizontal. As condições de enchimento e preparação do ensaio são essenciais para garantir um valor adequado de dispersão dos resultados, confirmando a validade dos procedimentos de análise estatística aplicados.

B) Sobre os eletrodos, qual o material utilizado para fazê-los e com base em que foi escolhido tal material? No caso da agulha, considerando que teve que ser trocada após cada descarga, como se assegurou que o seu desgaste não afetou diferentemente em cada ensaio e os resultados como um todo para este tipo de eletrodo, já que o seu desgaste pode ocorrer durante cada descarga, sem se saber em que momento do processo de descarga?

Os eletrodos foram construídos em aço inoxidável, para serem resistentes e evitar oxidação. O principal parâmetro de controle é a dispersão dos resultados. Nota-se claramente quando a geometria sofre variações significativas em função da amplitude de variação dos resultados obtidos. É essencial para que o ensaio seja considerado válido que a dispersão de resultados seja baixa.

C) Qual critério foi utilizado para definir o momento necessário de troca do óleo? Foi independente do tipo de tensão ou tipo de eletrodo? A informação de que "o volume de óleo de cada célula foi substituído após dez descargas" é válida para todos os casos apresentados no IT?

Novamente o principal parâmetro de controle foi o aumento da dispersão dos resultados. Em todos os casos o óleo na célula de ensaio foi substituído por óleo novo e tratado a cada dez descargas.

### 3.10 - CONDIÇÕES DE SOBRECARGA E IMPLICAÇÕES DA NBR 5356-7 DURANTE O DESIGN REVIEW DE TRANSFORMADORES

OLIVEIRA, L.F.D.(1);PORTILLO, A.(1);SEMIANO, G.(1);IARONKA, O.(1); - WEG(1);

Na iminência da publicação da NBR 5356-7, baseada na IEC 60076-7, é fundamental o domínio da metodologia de cálculo térmico utilizado pela norma, na qual pequenas variações na aplicação podem levar a resultados bastante diferentes. A norma introduzirá ainda o "Anexo H" com caráter normativo estabelecendo o ensaio de elevação de temperatura em sobrecarga com o objetivo de assegurar a verificação das características dos transformadores frente a sobrecargas de curta duração, onde as medições das temperaturas são realizadas sem a estabilização em regime permanente. Este trabalho visa propiciar um entendimento melhor destas implicações, para comprador e fabricante.

Perguntas e respostas:

A) Com relação ao Design Review citado no item 1, quais deveria ser as demonstrações de cálculo solicitados de modo a comprovar as características dos equipamentos para atendimento às especificações técnicas?

A pergunta pode ter uma interpretação que leva a uma resposta muito longa, para restringir a resposta considerarei que a pergunta se refere apenas às características relacionadas à capacidade de sobrecarga. Neste caso, pode-se citar como demonstrações necessárias por parte do fabricante os cálculos de elevação de temperatura conforme a norma IEC 60076-7 utilizando as condições estabelecidas na especificação técnica. Adicionalmente, o fabricante pode demonstrar os cálculos realizados para estimar os parâmetros de entrada do procedimento estabelecido na IEC 60076-7, como por exemplo, o fator de Hot-Spot e as elevações de temperatura do óleo e dos enrolamentos.

B) Os valores de temperatura apresentados são teóricos e não comparados com resultados experimentais realizados pelos autores. Foram tratados os resultados obtidos com relação aos erros esperados para os métodos propostos? Como devem ser obtidos os valores de fator de Hot spot dos equipamentos?

De fato, o artigo restringe-se à uma avaliação dos métodos propostos pela IEC 60076-7 (e futuramente pela NBR 5356-7, especialmente o artigo H) e não foram realizados ensaios específicos para validação do método ou da aplicação de tal método por parte dos autores. Contudo, alguns aspectos foram avaliados observando os valores informados em outros artigos (como a referência [8]). Quanto à obtenção dos valores de fator Hot-Spot para os equipamentos, são obtidos tradicionalmente via cálculos que levam em consideração a distribuição de perdas ao longo dos enrolamentos. Contudo, pode-se utilizar medição do ponto mais quente com fibra ótica (como exemplificado em [9]) para medição e comprovação de tais valores. A dificuldade principal de cálculo reside na necessidade de modelagem termo-hidráulica dos enrolamentos e do sistema de refrigeração.

C) Como é possível determinar o posicionamento dos sensores de fibra ótica a partir dos dados avaliados no Design Review?

A informação disponível no Design Review é indispensável no sentido de levar o comprador a conhecer os tipos de bobinas utilizadas no transformador. O item 5 da brochura "Transformer Thermal Modelling", resultado do Grupo de Trabalho A2.38, contém diretrizes a respeito do número de sensores necessários e da disposição destes sensores nas bobinas, fatores que dependem fundamentalmente da distribuição de perdas (influência do campo disperso) e dos tipos de bobina empregados no transformador.

### 3.11 - REATORES SHUNT MANOBRÁVEIS COM NÚCLEO DE AR EXPERIÊNCIA DE PROJETO E APLICAÇÃO EM 230 KV

ANDRADE, D.B.D.(1);SCHWARZ, M.B.(1);JUNIOR, J.V.D.O.(1);ROCHA, A.D.C.O.(2); - Siemens (1);CONSULTOR(2);

Estudos de avaliação elétrica do Sistema Elétrico Interligado realizados no âmbito ONS e EPE indicaram a necessidade de instalação de compensação reativa adicional para garantir o seu desempenho elétrico quanto ao controle de tensão. A aplicação de reatores manobráveis é uma das possibilidades para este tipo de compensação. Neste contexto, este trabalho tem o objetivo apresentar a experiência obtida no projeto e aplicação de dois bancos de reatores manobráveis monofásicos de 13,3 MVA, a seco com núcleo de ar instalados na barra de 230 kV da SE Irapé, demonstrando as vantagens do uso desta tecnologia com foco nos detalhes construtivos e operacionais. O projeto desses reatores torna-se especial tendo em vista ser o primeiro desses equipamentos a seco com núcleo de ar (encapsulados) instalados para esse tipo de aplicação no Brasil. Estes reatores são uma alternativa interessante aos isolados a óleo, tradicionalmente mais empregados, trazendo melhorias consideráveis sob diversos aspectos para operação do sistema e simplificações quanto à instalação. Reatores encapsulados apresentam sob o ponto de vista de projeto, características específicas dentre as quais se destacam: ? Enrolamento encapsulado em fibra de vidro, com impregnação em resina Epóxi; ? Condutores totalmente em alumínio, isolados com isolantes sólidos de alto desempenho; ? Alta resistência mecânica e de curto-circuito; ? Baixo nível de ruído durante toda a vida útil do reator; ? Estrutura à prova de intempéries. Diferenças operacionais também existem entre os tipos básicos dos reatores (ar e imerso em óleo), tais como: ? Características magnéticas e as implicações da não saturação dos reatores com núcleo de ar; ? Cuidados com a segurança de trabalhadores operacionais e público geral em relação aos níveis de exposição humana a campos elétricos e magnéticos; ? Aspectos ambientais, econômicos e diferenças de instalação; ? Análise do regulativo de perdas no sistema brasileiro (Procedimento de Rede Submódulo 2.3) para reatores derivação e suas implicações nos reatores a seco com núcleo de ar; ? Inspeção e Manutenção. Foram realizadas também análises de transitórios eletromagnéticos relativos às manobras de abertura dos bancos de reatores, com e sem a presença de dispositivos de controle, levando-se em conta o fenômeno do corte de corrente associado à interrupção de pequenas correntes indutivas. A literatura mostra que a abertura de banco de reatores, sem dispositivos de controle, pode dar origem a sucessivas reignições do arco elétrico no disjuntor, gerando sobretensões de alta frequência em seus terminais que podem não estar devidamente cobertas pelos ensaios dielétricos normalizados. Dessa forma, esta análise teve, como foco principal, a determinação dessas sobretensões para a análise da suportabilidade dielétrica dos reatores frente a essas solicitações. Tendo em vista ser esperado um número elevado de manobras por ano dos bancos de reatores, essa verificação torna-se fundamental para garantia da confiabilidade operativa.

Perguntas e respostas:

A) O trabalho aponta uma diferença grande entre a taxa de falhas de reatores a óleo e os RSNA. Esta alta taxa de falhas era, no passado, atribuída ao elevado número de problemas na fabricação do encapsulamento das bobinas. Este problema já foi superado ou minimizado?

Sem conhecer especificamente o que está por trás da afirmação "a taxa de falha era, no passado, atribuída ao elevado número de problemas na fabricação do encapsulamento das bobinas" fica difícil de comentar além de uma maneira muito geral: em geral, não estamos cientes de recentes problemas sistêmicos relacionados ao processo de encapsulamento durante a fabricação. Há aproximadamente 10 a 15 anos, foram adicionadas melhorias significativas ao processo de encapsulamento dos reatores encapsulados em fibra de vidro na forma de várias medidas que inclui o uso de amarrações cruzadas o uso de tecido de fibra de vidro em pontos estratégicos da superfície do encapsulamento e melhorias nos processos de acabamento usados durante o processo de enrolamento. Todas essas medidas levaram a uma melhor sustentabilidade do encapsulamento durante o ciclo térmico e a uma menor probabilidade de formar microfissuras. Nos últimos tempos, outras medidas, incluindo o encapsulamento de espiras, foram introduzidas em alguns projetos.

B) Existe algum estudo sobre o envelhecimento das bobinas encapsuladas em resina?

Em geral a deterioração da resina nunca foi um problema. Estudos da taxa de envelhecimento foram feitos desde a fundação da Trench e são sempre repetidos quando os sistemas de impregnação são alterados. O comportamento básico do envelhecimento da resina está de acordo com as leis muito bem conhecidas de Arrhenius e está alinhado com as diretrizes de projeto dos reatores há muito tempo existente e estabelecido. Definitivamente isto não é um problema

C) A vida útil de um RSNA pode ser considerada igual ao do reator a óleo, convencional?

Em geral, sim. O tempo de vida útil é um critério de projeto e a premissa do tempo de vida útil especificado pela ANEEL de 36 anos é considerado. A vida útil também depende de variáveis que devem ser descritas na especificação tais como: temperatura ambiente; regime de trabalho; stress de tensão e stress mecânicos entre outros.

### 3.12 - DESENVOLVIMENTO DE NOVO ACESSÓRIO, COM NOVO MATERIAL E NOVO DESIGN, PARA REDES AÉREAS COMPACTAS DE 15 KV E 35 KV

SILVA, G.C.D.(1);MUNARO, M.(1);FILHO, V.S.(1);JUNIOR, S.R.(1);RICHART, F.S.(1);SANTOS, S.L.F.(1);DADAM, A.P.(2);DÁQUINO, F.M.(2);OKA, M.H.(2); - LACTEC(1);CELESC(2);

Redes protegidas são usadas em regiões com nível de poluição baixo (áreas rurais e urbanas). As normas brasileiras não recomendam o uso desta tecnologia em regiões com nível de poluição médio ou pesado (industriais e litorâneas), devido ao processo de envelhecimento ao qual os materiais ficam submetidos. Neste artigo é apresentado um protótipo de espaçador polimérico, com novo material e design, visando viabilizar a aplicação destas redes em regiões poluídas. Estão apresentados resultados dos ensaios realizados no protótipo. Os ensaios realizados foram resistência à tração, compatibilidade dielétrica e tensão suportável. Os protótipos desenvolvidos apresentaram bom desempenho nos testes realizados.

Perguntas e respostas:

A) Considerando que o contato entre o cabo e o espaçador deve ser firme, pois a existência de um pequeno gap entre os dois é suficiente para começar uma degradação, nada foi falado sobre o sistema de amarração a ser utilizado.

Neste desenvolvimento a ênfase foi dada para o desenvolvimento de novos materiais e novos designs (não só para espaçador, mas também para isolador e cabo. Estes dois últimos não constam neste artigo). Foi considerado o uso de amarração com anel de silicone para os testes realizados no laboratório e em campo. Na continuidade do projeto (fase da cadeia de inovação: cabeça-de-série) buscar-se-á parceria industrial e irá ser contemplado possibilidade de uso de espaçador com

garra.

B) A literatura tem mostrado, nos estudos de campo elétrico, que a diferença de potencial entre polímeros com resistividade diferente, tipo polímero do cabo x polímero do espaçador, é uma das causas da degradação observada. Assim sendo, o projeto desenvolvido vai ter uma formulação diferente para cada tipo de cabo existente no mercado ?

Não haverá formulação específica para cada tipo de cabo. Materiais com permissividade diferentes (por exemplo, porcelana = 4 e polietileno = 2,3) podem levar a problemas de compatibilidade dielétrica, levando à concentração de campo elétrico sobre o material com menor permissividade. Neste desenvolvimento este problema é minimizado, tendo em vista que o espaçador é confeccionado em HDPE e o cabo coberto pode ser em dupla camada (LDPE/HDPE) ou em XLPE, sendo que em ambos os casos a permissividade é 2.3. Em paralelo aos trabalhos com o espaçador tem-se buscado atuar também nos demais componentes (cabo coberto e isolador). Com relação à resistividade, tanto o espaçador quanto o cabo tem resistividade elevada, com ordens de grandeza muito próximas.

C) Por que desenvolver um novo espaçador se a literatura tem apontado a solução de revestir o leito dos espaçadores com silicone RTV de modo evitar os problemas decorrentes de seu uso em áreas com elevado índice de poluição e resolver os problemas de compatibilidade dielétrica entre os diversos polímeros ?

O desenvolvimento de novo espaçador iniciou após estudo da literatura e considerando a experiência prática (laboratório e campo) da equipe. Partiu-se da premissa que para melhoria do desempenho da rede protegida em regiões de elevada agressividade ambiental dois fatores deveriam ser considerados: melhoria de material e melhoria de design. Assim, a opção foi melhorar a formulação do material com matriz em polietileno, para torna-lo mais resistente ao trilhamento elétrico e à erosão, e modificar o design, incluindo aumento da distância de escoamento. No artigo "Electric-Field Analysis of Spacer Cable Systems for Compact Overhead Distribution Lines (IEEE Trans. Power Delivery, vol. 27, n. 4, p. 2312-2317, 2012)" é brevemente comentado sobre algumas formulações em silicone e que alguns fornecedores estão avaliando esta possibilidade de uso. Creio ser uma tentativa válida, a ser testada em laboratório e em campo. Se por um lado o RTV tem mostrado excelente performance em ambientes poluídos, por outro é possível melhorar as propriedades hidrofóbicas do polietileno. Outros fatores para reflexão sobre o RTV em espaçadores: a) em teoria o revestimento do berço com RTV pode levar o ponto de concentração de campo elétrico para outro ponto do espaçador (fato já observado em laboratório com outros materiais de revestimento); b) inserir RTV mas manter a geometria atual pode não ser suficiente para operar com esta rede em ambientes agressivos (teria de ser testado em laboratório e em campo); e, c) mesmo pintando o berço com RTV a interface polímero-polímero, com pontos sujeitos ao acúmulo de contaminantes e umidade, continuará existindo (por que então não conferir propriedades de melhor hidrofobicidade ao polietileno, que é um material de menor custo?).

### 3.13 - CONDUTIVIDADE TÉRMICA EFETIVA DE NANOFUIDOS PARA TRANSFORMADORES ELÉTRICOS

SENS, M.A.(1); - CEPEL(1);

Os nanofluidos magnéticos estão sendo indicado para substituir os tradicionais dielétricos líquidos, principalmente o óleo mineral isolante, em transformadores elétricos de potência. Como vantagem principal, frequentemente, aponta-se a superioridade na condutividade térmica e na capacidade de transferência do calor destes fluidos em relação aos tradicionais. Aponta-se, sobretudo que, pelo fato de serem magnéticos?, e estarem imersos em campos magnéticos dinâmicos, naturalmente encontrados nos transformadores elétricos, uma agitação seria naturalmente promovida e uma melhor distribuição do calor seria proporcionada pelo novo candidato a fluido dielétrico. O Informe Técnico esclarece, se tal fato é verdadeiro, ou se constitui um mito.

Perguntas e respostas:

A) O autor cita casos de adição de pigmentos de zinco em tinta e de grafite em compósitos informando que, contrariamente ao que se acreditava, tais casos não afetam a condutividade elétrica dos materiais citados. Por outro lado, o autor informa, baseado em literatura referenciada, que apenas 0,3 % de NPM à base de magnetita causaram elevação do fator de dissipação do OMI. Poderia comentar se há desencontro entre (os casos citados para tinta e compósitos) e (a informação baseada na literatura para o OMI com NPM)?

De fato, em compósitos dielétricos, líquidos ou sólidos, a adição de pigmentos condutivos não resulta em súbita elevação da condutividade, pelo encapsulamento dos pigmentos pela resina dielétrica. Fato semelhante deve ocorrer com as NPM em óleo mineral isolante. Mas em concentrações superiores as 0,3%, identificou-se experimentalmente, uma súbita elevação do fator de dissipação. Ou seja, nestas proporções, deve haver contatos entre nanopartículas magnéticas, elevando a condutividade da emulsão.

B) O autor poderia dizer e fundamentar qual percentual de NPM seria aceitável do ponto de vista de elevação de fator de dissipação do OMI?

No caso das nanopartículas utilizadas nos trabalhos do Cepel, jamais utilizar proporções superiores a 0,1 %, pois nesta proporção já se tem fator de dissipação entre 10 e 20 % em 60 Hz.

C) Os autores julgam necessário reproduzir a pesquisa em outro laboratório para confirmar a conclusão, já que cita no IT que há afirmativas contrárias na literatura em favor dos nanofluidos?

Certamente outros estudos devem ser conduzidos, sobretudo com outras amostras de nanofluidos magnéticos destinados a transformadores elétricos, pois a literatura não pode generalizar as propriedades dos NFM, assim com no presente informe foi enfatizado que se trata de resultados aplicáveis apenas às amostras ensaiadas.

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

CARRIEL, L.P.(1);FILHO, A.B.(1);JÚNIOR, M.M.(2);GALDEANO, C.A.(2);AGUIAR, J.H.(1);SILVA, E.H.D.S.(3); - ZHZ P&D(1);MGM(2);AES Tiete(3);

Novos óleos isolantes foram desenvolvidos por meio da fermentação do caldo de cana-de-açúcar e da obtenção de óleo base constituído pelo ?-farnaceno (C15H24). Dentre o conjunto de ensaios para avaliação mais detalhada dos óleos à base de cana-de-açúcar, o presente estudo visou a avaliar, em ensaios de envelhecimento acelerado de laboratório, a compatibilidade dos dois tipos de óleo à base de cana-de-açúcar desenvolvidos (Evoshield XF01 e XF03) com os principais materiais empregados em transformadores. Para tanto, foram utilizados diferentes tipos de isolamento sólido (papel kraft neutro, termooestabilizado e Nomez), tintas (mono e bicomponentes) e elastômeros (nitrílico, fluorossilicone e Tealon), o que permitiu determinar o efeito de cada um desses materiais sobre as condições físico-químicas dos óleos à base de cana-de-açúcar. Com base nos resultados obtidos, observou-se que o elastômero fluorossilicone (5261) é incompatível com os óleos Evoshield XF01 e XF03. Ao passo que o elastômero nitrílico (dureza 65) é incompatível com o óleo XF01. Todos os demais materiais ensaiados foram compatíveis com os dois tipos de óleo.

Perguntas e respostas:

A) Os autores afirmam que estudos de laboratório preliminares (realizados pelo fabricante) mostraram que o óleo possuía atributos que podem diminuir o custo de operação e melhorar o desempenho de sistemas de distribuição de energia elétrica. Os fluidos foram testados segundo os critérios mínimos estabelecidos na ABNT NBR 15422? Podem apresentar alguma informação sobre os estudos preliminares que citam?

Os óleos não foram testados segundo os critérios mínimos estabelecidos na ABNT NBR 15422, mas sim de acordo com a ANP 36, uma vez que, embora a fonte seja de origem vegetal, o óleo é um hidrocarboneto. O fabricante não forneceu os resultados mencionados.

B) Os autores poderiam esclarecer que ensaio de laboratório foi realizado que possa ser considerado capaz de simular condições de campo, tendo em vista que este não é o objetivo de ensaios acelerados em geral?

O estudo não se limitou ao escopo do presente artigo. Foram executados diversos tipos de ensaio, dentre eles, o envelhecimento acelerado do óleo em modelos reduzidos de transformadores em escala de laboratório. Os resultados obtidos em tais ensaios demonstraram que o desempenho do óleo à base de cana-de-açúcar foi comparável ao obtido para um óleo mineral convencional de boa procedência.

C) O trabalho trata da compatibilidade de elastômeros com fluidos isolantes. Existem normas ABNT específicas para realização destes ensaios, tanto para OMI quanto para o ENI. Os autores realizaram o ensaio de compatibilidade dos elastômeros com ENI de acordo com a norma ABNT NBR 16431 "Equipamento elétrico - Determinação da compatibilidade de materiais empregados com óleo vegetal isolante", publicada em 2015? Se sim, qual foi o resultado obtido? Se não, porque não foi realizado?

Os óleos não foram testados segundo a norma ABNT NBR 16431, uma vez que, embora a fonte seja de origem vegetal, o óleo é um hidrocarboneto.

### 3.15 - AVALIAÇÃO DIELÉTRICA DE NANOMATERIAIS COMPÓSITOS DE MATRIZ POLIMÉRICA PARA APLICAÇÃO EM ISOLADORES E ISOLAMENTO ELÉTRICOS

LADEIRA, N.(1);PACHECO, E.B.(2);FURTADO, J.G.D.M.(1); - CEPEL(1);UFRJ(2);

Com os atuais desenvolvimentos em nanotecnologia, a utilização de nanopartículas como cargas em compósitos poliméricos, constituindo nanocompósitos, tem sido objeto de intensas pesquisas visando o incremento da estabilidade físico-química e do desempenho desses materiais compósitos na área elétrica, notadamente quanto ao comportamento dielétrico, resultando no desenvolvimento de nanocompósitos dielétricos ou nanodielétricos. Nesse contexto, o presente trabalho apresenta os principais resultados de um estudo acerca das características dielétricas de materiais compósitos com matriz de polietileno de alta densidade (HDPE) e com micro e nanocargas (partículas) de óxidos de titânio (TiO2) e de silício (SiO2). Os melhores resultados foram obtidos com o uso de 4% de óxido de titânio em escala nanométrica, alcançando-se valores de rigidez dielétrica de até 34,6 kV/mm e redução de carga espacial de até 65% em relação ao comportamento dielétrico do HDPE puro.

Perguntas e respostas:

A) Os autores comparam microcompósitos e nanocompósitos com as mesmas percentagens de cargas (2 ? 4 %). Isso pode ser válido para um estudo experimental exploratório, mas na prática microcompósitos poliméricos requerem teores muito superiores de micropartículas, da ordem de 50% ou mais, ao passo que nanocompósitos alcançam suas melhores propriedades dielétricas com teores de 1 ? 5%. Os autores realizaram algum estudo com teores de micropartículas próximos

aos comerciais ? Saberiam informar quais resultados seriam esperados para os microcompósitos com teores e dispersão otimizados ?

Sim, o foco do trabalho foi o estudo das cargas nano e micro nas porcentagens em massa iguais a 2 e 4%. Trata-se, sem dúvida, de estudos iniciais na área de compósitos para aplicações dielétricas e no âmbito da linha de P&D considerada, uma vez que, conforme apontado no trabalho, ainda há significativa variabilidade dos resultados considerados em conjunto, o que certamente dá margem para estudos acerca do aperfeiçoamento do processamento e da estabilização das características dielétricas. A despeito disso, temos resultados experimentais dos compósitos com maiores porcentagens de cargas (no máximo 20% para micro), os quais indicam uma influência positiva mais significativa para o caso do TiO<sub>2</sub>, principalmente em relação à rigidez dielétrica, e negativa quanto às perdas dielétricas. São também resultados iniciais e os estudos continuam (não apresentados no trabalho). Algumas propriedades dos microcompósitos tendem a ser melhoradas com o incremento da massa de cargas; em tese, procura-se obter resultados semelhantes ou ainda melhores com o emprego de nanocargas e usando-se massas totais muito menores.

B) Os autores comentam que observaram uma boa dispersão de nanopartículas. Poderiam comentar como chegaram a essa conclusão com base em imagens de MEV ?

De forma geral, a caracterização microestrutural dos compósitos foi efetuada por microscopia eletrônica de varredura (MEV, FEG-MEV) e de transmissão (MET). As imagens apresentadas no trabalho são apenas ilustrativas e parciais, sendo que a análise de dispersão (ainda não otimizada) foi realizada de forma estatística e com base no comprimento do espaço livre de partículas obtido a partir da avaliação de maior número de imagens, ainda que semiquantitativa, e também evidenciando a presença de aglomerados com diferentes perfis, arranjos estruturais, desde com partículas bem isoladas, passando pela formação de junções de partículas, pequenos grupos de cargas e formação de clusters até de aglomerados significativamente maiores, conforme considerado no trabalho.

C) Os autores comentaram que as propriedades inferiores dos microcompósitos poderiam ser atribuídas a uma pior dispersão das micropartículas. Não seria mais difícil dispersar as nanopartículas? Porque os autores acreditam que as micropartículas tiveram uma pior dispersão? Há alguma outra informação para embasar esta conclusão além dos resultados apresentados?

De fato, o conjunto de resultados obtidos, permitiu considerar que no caso dos microcompósitos, possivelmente, não se alcançou uma condição de dispersão e homogeneidade de forma a proporcionar uma interface polímero-sólido (partícula e/ou aglomerados) mais estável. Ou, tais interfaces, no caso das amostras com micropartículas avaliadas, mesmo quando formadas, não apresentaram características intrínsecas que permitiriam, ao menos em tese, o incremento das propriedades dielétricas. Também no caso dos nanocompósitos, foram obtidos apenas pequenos graus de aperfeiçoamento de algumas propriedades dielétricas, o que permite mesmo considerar que os sistemas analisados no trabalho não estão ainda em suas condições ótimas de processamento, mostrando que há considerável margem para novos estudos e aperfeiçoamentos, em especial quanto à dispersão das cargas (micro e nano), ao uso de cargas mistas, bem como ao emprego de aditivos e de agentes interfaciais que permitam estabilizar as melhores condições das regiões interfaciais.

### 3.16 - BOBINAS SUPERCONDUTORAS ISOLADAS E NÃO ISOLADAS PARA APLICAÇÕES ELÉTRICAS

POLASEK, A.(1);DIAS, F.J.M.(2);RIBEIRO, L.F.C.D.S.S.(3);SOTELO, G.G.(2); - CEPPEL(1);UFF(2);COPPE/UFRJ(3);

Fitas supercondutoras de segunda geração (2G HTS ? High Temperature Superconductors) alcançam altas densidades de corrente (> 20 kA/cm<sup>2</sup>) possibilitando a compactação de equipamentos e dispositivos elétricos. Bobinas supercondutoras não isoladas são ainda mais compactas e apresentam maior estabilidade térmica que bobinas supercondutoras isoladas, pois a corrente flui apenas na camada supercondutora (em CC). No presente trabalho, investigaram-se protótipos de bobinas de fitas 2G HTS, com e sem isolamento. Os resultados mostraram que bobinas 2G HTS não isoladas têm potencial para aplicações em CC, pois suportam maiores correntes e têm maior estabilidade térmica que bobinas 2G HTS isoladas.

Perguntas e respostas:

A) Os autores detectaram a possível influência do campo gerado na bobina sobre a corrente Ic. Todavia os valores estimados do campo não são suficientes para justificar a redução de Ic observada (para uma redução de Ic a 107, seria necessário um campo de aprox. 0,2 T conforme figura 4, enquanto nas figuras 9 e 10 o campo máximo é da ordem da metade). Os autores poderiam discutir outras possíveis causas dessa diferença?

O propósito da figura 4 foi mostrar que a fita supercondutora reduz a corrente crítica quando submetida a campos magnéticos. No entanto, nessa análise utilizamos pequenas amostras retas, com centímetros de comprimento. No caso das bobinas, há outros fatores que serão apresentados abaixo: 1 - Como foi mostrado e citado no texto, as espiras mais internas das bobinas apresentadas neste trabalho limitam a condução de corrente, pois nelas o campo é mais intenso e a troca térmica nestas espiras internas é mais difícil que nas externas, gerando maior aquecimento o que também afeta Ic. Esses efeitos dependem do design da bobina. 2 - A incidência de campo na bobina é distinto das amostras de fitas, pois as bobinas encontram-se em formato espiral e não retas como nas pequenas amostras. Fitas supercondutoras de alta temperatura crítica (HTS) são anisotrópicas, de modo que o efeito do campo magnético depende do ângulo de incidência do mesmo.

B) Os autores realizaram medições de campo magnético como da figura 8 na condição de IC como nas figuras 9 e 10 para justificar a hipótese proposta de que o excesso de corrente é desviado de uma espira para outra na condição não isolada?

- Na figura 8, o propósito foi obter o valor de corrente crítica da bobina não isolada e analisar o decaimento devido ao autocampo da bobina em relação a amostra reta de fita supercondutora; - Na figura 9, o intuito foi analisar a distribuição do campo próprio ao longo das espiras, e não o desvio, de modo a constatar a limitação de corrente pelo valor mínimo de corrente crítica; - Já a figura 10, em comparação com a 11, foi precisamente para justificar o desvio de corrente de uma espira para outra.

C) Os autores poderiam esclarecer em que parcela a vantagem do sistema não isolado pode ser atribuída à menor dificuldade do líquido remover calor por não ter a camada isolante (elétrica/térmica) , a parcela pela condutividade térmica entre as fibra e a parcela pelo desvio de corrente entre as espiras não isoladas?

Para dividir em parcelas teríamos que medir a temperatura entre as espiras dentro do nitrogênio líquido, um processo complexo, mas é uma ótima questão para trabalhos futuros.

### 3.17 - ESTRUTURA DE ISOLAÇÃO DE UM TRANSFORMADOR PARA LÍQUIDOS DIELÉTRICOS DE ALTA PERMISSIVIDADE

SBRAVATI, A.(1);RAPP, K.(1);SCHMITT, P.(2); - CARGILL(1);WEIDMANN(2);

As estruturas de isolamento baseadas em materiais celulósicos e óleo mineral tem sido aplicadas como solução padrão ao longo dos últimos cem anos, tanto para transformadores de distribuição quanto de potência. As tensões resultantes dentro do transformador são, tipicamente, suportadas por um arranjo sólido-líquido, projetado para dividir diferença de tensão total em degraus menores, criando volumes pequenos com capacidade dielétrica superior e, assim, alcançando soluções muito compactas. A diferença de potencial total é convertida em uma sequência de quedas de tensão alternadamente entre óleo e papel, de acordo com a geometria e com a permissividade dos materiais. Arranjos e configurações padronizadas foram definidos conforme os critérios de cada fabricante de transformadores conforme os níveis de tensão, uma vez que a a soluções analíticas para a distribuição de campo elétrico podem ser extremamente complexas. Mesmo tendo disponíveis modernas ferramentas de cálculo numérico, como as que utilizam o método dos elementos finitos, a aplicação de soluções padronizadas continua sendo comum, já que o cálculo detalhado exige pessoal especializado e consome muito tempo. Quando o líquido dielétrico é substituído, trocando o tradicional óleo mineral por um óleo vegetal (éster natural), a distribuição de sollicitações no sistema isolante não é a mesma. A permissividade dos óleo vegetal é cerca de 40% superior a do óleo mineral, enquanto que a permissividade dos isolantes sólidos a base de celulose, impregnados com óleo vegetal é somente ligeiramente superior. O resultado é uma nova distribuição de quedas de tensão em cada um dos materiais, que precisa ser levada em conta quando um transformador em óleo vegetal está sendo projetado. Numa primeira análise, o efeito é positivo, já que o parâmetro mais crítico é, na maioria dos casos, o valor de estresse, de kV/mm, na isolação líquida e a maior permissividade irá deslocar parte desse estresse do líquido para a isolação sólida. Essa modificação da distribuição de campo elétrico pode permitir, em alguns casos, um aumento do valor médio de kV/mm no gap principal e, assim, uma solução mais compacta, uma vez que haverá um melhor balanço entre a queda de tensão no isolamento sólido e no líquido. Entretanto, a nova configuração do campo elétrico pode levar a novas regiões críticas, especialmente quando o nível de tensão é mais elevado (extra alta tensão, superior a 345kV). Tensões em arestas e ao longo da montagem dos enrolamentos, nas chamadas "cabeceras" podem ter regiões com gradientes superficiais de tensão mais elevados. Proteções de cato adicionais podem ser necessárias, em regiões onde não seriam aplicadas nos transformadores em óleo mineral, já que o estresse no papel tenderá a ser mais elevado. Projetistas com menor nível de conhecimento no projeto de isolação tendem a atribuir tais diferenças a uma menor "capacidade dielétrica", como se a rigidez dielétrica fosse o único parâmetro relevante para o projeto. Uma grande quantidade de ensaios dielétricos, realizadas nos mais renomados institutos e universidades no mundo, de maneira comparativa entre o óleo mineral e o vegetal, mostram que, excluindo-se as altamente indesejáveis regiões de campo muito concentrado (cantos vivos que resultem em elevados gradientes de tensão, como nos ensaios "agulha contra placa"), a rigidez dielétrica dos dois líquidos são equivalentes. Ainda assim, isso não significa que alterações no projeto do isolamento não sejam necessárias. Esse paper analise algumas configurações frequentemente utilizadas, as possíveis otimizações e as áreas que requerem atenção especial para um projeto de isolamento composto de materiais celulósicos e óleo vegetal.

Perguntas e respostas:

A) Os autores apresentam que em uma configuração homogênea, a distribuição das linhas equipotenciais tem uma distribuição que varia com a relação de permissividade entre os meios. Fato amplamente conhecido na literatura. Também é bastante conhecido e divulgado o critério para adoção do campo elétrico máximo em um canal de óleo mineral. No caso do dielétrico de alta permissividade estudado, os mesmos limites e fatores podem ser utilizados?

Diversos estudos confirmam que podem ser usados os mesmos limites de suportabilidade dielétrica do óleo mineral para o óleo vegetal. Existem diferenças somente para condições de campo altamente concentrados, que seriam configurações não aceitáveis para um transformador de alta e extra alta tensão em óleo mineral. Mais detalhes podem ser verificados no outro paper que estamos apresentando neste congresso. Contudo, cada fabricante de transformador possui seus limites internos de projeto e os limites que usará para o OVI depende do seu nível de conhecimento e experiência. A intenção deste trabalho é justamente enfatizar que a principal diferença para o projeto dielétrico está na alteração da distribuição de campo elétrico e não na suportabilidade.

B) Os autores apresentam que em uma configuração homogênea, a distribuição das linhas equipotenciais tem uma distribuição que varia com a relação de permissividade entre os meios. Fato amplamente conhecido na literatura. Também é bastante conhecido e divulgado o critério para adoção do campo elétrico máximo em um canal de óleo mineral. O mesmo é válido para regiões com menos homogeneidade?

Esse tema está sendo tratado em outro trabalho apresentado neste mesmo congresso. As configurações típicas de um transformador bem projetado e construído estarão todas ainda na faixa de homogeneidade de campo onde a suportabilidade dielétrica do OVI pode ser considerada equivalente a do OMI. Conforme apresentado no outro trabalho, foram identificadas diferenças somente para eletrodos com raio inferior a 0,5mm que tipicamente são considerados inaceitáveis tanto para transformadores com óleo mineral ou vegetal.

C) Os autores sugerem que o líquido de alta permissividade permitiria uma redução do canal principal. Os autores estudaram outros impactos que a diminuição do canal poderiam acarretar no desempenho do transformador?

Neste trabalho a única ótica avaliada foi o projeto dielétrico. Considerando que, excluindo-se os canais adjacentes aos enrolamentos, os demais canais não tem função de refrigeração, não alteração não traria impactos nesse aspecto. Uma configuração otimizada para um líquido de maior permissividade, possivelmente, utilizaria uma quantidade menor de cilindros concêntricos, possivelmente ajustando a largura de alguns deles para 1mm ou 2mm adicionais, resultando em uma possível redução da distância total entre os enrolamentos. Cada fabricante possui técnicas e ferramentas próprias para projeto e construção, podendo levar a distintos resultados caso a caso.

### 3.18 - RECONDICIONAMENTO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA NA REN - AVALIAÇÃO DE 15 ANOS DE EXPERIÊNCIA COM O SOLUÇÃO PARA O PROLONGAMENTO DO TEMPO DE VIDA ÚTIL

SOARES, M.A.P.L.(1);MARTINS, J.F.P.(1); - REN(1);

A gestão do ciclo de vida de uma população de transformadores de potência exige a definição de uma estratégia de manutenção adequada, que deve incluir actividades de diagnóstico e avaliação de estado, manutenção preventiva e, em alguns casos, intervenções de carácter mais profundo para restaurar o estado de alguns componentes do equipamento, permitindo uma extensão da sua vida útil esperada, que podemos definir como "recondicionamento?". O presente trabalho apresenta os resultados de 15 anos de experiência com actividades e recondicionamento de transformadores de potência da REN, em termos de prolongamento de vida útil obtido e evolução do estado verificada após intervenção. A avaliação incide em mais de 30 transformadores instalados na Rede Nacional de Transporte de energia eléctrica portuguesa, que foram alvo de recondicionamento entre 2001 e 2015, incluindo a revisão de resultados de análises ao óleo e papel isolante (DP), ensaios eléctricos e dieléctricos ao transformador e suas travessias. Os dados e experiência acumulada permitiram verificar que os resultados de médio / longo prazo foram alcançados, identificar problemas que podem surgir e fornecer informação para as análises de custo-benefício que suportam esta actividade.

Perguntas e respostas:

A) 1- A caracterização de fim de vida útil, na REN, é baseada no grau de DP ou também em outros parâmetros? Existe algum critério baseado na quantidade de anos? Qual o critério para calcular a vida útil restante com base no DP min?

O fim de vida útil é normalmente determinado por um balanço de vários aspectos: - técnicos (estado do equipamento, potência disponível, grau de obsolescência); - económicos (custos de recondicionamento e / ou substituição de componentes versus substituição, valor residual do activo, incentivos regulatórios); - estratégicos (desenvolvimento da rede, upgrade de nível de tensão, alterações topológicas) Não há um critério rígido com base no nº de anos, embora haja uma previsão de 40 anos sem medidas adicionais de prolongamento de vida útil. A idade entra como factor crítico nos aspectos económicos relacionados com depreciação do activo e incentivos regulatórios ao prolongamento da vida útil. O critério para estimativa de vida útil restante baseia-se numa relação:  $(DP_{actual} - DP_{min}) / (DP_{inicial} - DP_{min})$ , onde DP inicial é de cerca de 1150, DP min limite de 150. Esta análise caracteriza o estado verificado num determinado momento e não a velocidade de consumo de vida restante, que deve considerar outros factores.

B) 2- Qual o critério utilizado na REN para carregamento? Qual o critério para aumentar a capacidade de transformação de uma subestação?

O critério baseia-se na reserva n-1, para a potência nominal das máquinas. Em caso de falha de 1 unidade, as restantes devem suportar a totalidade da carga mesmo para os períodos de carga máxima. Em caso de contingências excepcionais, admitem-se sobrecargas temporárias até 120%.

C) 3- É dito no trabalho que é esperado que os transformadores atinjam uma idade de 50 anos em serviço. Quais as medidas utilizadas pela REN para operar, manter e monitorar os transformadores ?

Operação ? A operação dos transformadores com o regime n-1, garante pela sua natureza que a carga média dos transformadores não atinge valores elevados. ? A energização de transformadores segue procedimento de minimização de extra-corrente de ligação (inrush), através de colocação prévia na posição mais favorável do regulador em carga, tendo já sido iniciado um processo de utilização de fecho sincronizado do disjuntor de potência ? sistemas "point on wave" ? para minimização desses transitórios (apenas nas unidades mais recentes). Manutenção ? Inspeções visuais mensais, termografia anual - no âmbito da subestação ? Manutenção regular de componentes (RC, protecções próprias), com base no tempo ou condição; ? Recondicionamento geral com secagem de parte activa e substituição de óleo isolante e componentes ? suportado por análise técnico-económica Monitorização ? Análises ao óleo, anualmente. ? Ensaios eléctricos e dieléctricos para avaliação do estado a cada 5 a 10 anos ? Termografia anual ? Monitorização online de DGA e travessias AT (em fase de expansão e integração em plataforma dedicada)

### 3.19 - A EXPERIÊNCIA DA ELETRONORTE NA IMPLANTAÇÃO DA ANÁLISE DE RESPOSTA EM FREQUENCIA PARA DIAGNÓSTICO DE REATORES E TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

BELTRÃO, V.D.C.V.M.(1); - Eletronorte(1);

A energia eléctrica, que no mundo actual impacta directamente na qualidade de vida, é proveniente de um sistema eléctrico de potência, onde transformadores e reatores são utilizados para interligar os sistemas de geração transmissão e distribuição, fazendo a alteração e o controle dos níveis de tensão, respectivamente. Juntos estes equipamentos representam uma parte significativa dos investimentos. E falhas de grande monta nestes resultam em índices de indisponibilidade maiores do que nos demais equipamentos, uma vez que: nem sempre se dispõe de unidade reserva; o custo de aquisição é elevado; os equipamentos são produzidos especificamente para uma determinada instalação, não sendo fabricados em série; os prazos envolvidos no reparo, fabricação e transporte são ordem de meses. Dessa forma o acompanhamento e a monitoração de suas condições, desde a fabricação até a retirada de operação, são essenciais para que se reduzam os custos associados ao seu ciclo de vida, bem como para que se possa garantir a sua confiabilidade e a sua durabilidade. Um levantamento estatístico elaborado a partir de perícias realizadas entre os anos de 2000 e 2008 para companhias seguradoras do setor eléctrico brasileiro, aponta que de quase uma centena dos transformadores avaliados 69,9% falharam por defeito nas bobinas, 16,3% por falha em comutador e 10,9% por falha em bucha. Se forem levados em consideração apenas os transformadores de transmissão: 27% foram danificados por curto-circuito externo, 18% por defeito de fabricação, 18% por falha em bucha, 14% por falha em comutador, 9% por defeito após reparo. Com base nos aspectos descritos, a Eletrobras Eletronorte aplicou a Análise de Resposta em Frequência (FRA), na avaliação de 44 equipamentos de 500 e 230 kV de sua propriedade, para detectar os principais defeitos e falhas que podem ser diagnosticados através deste ensaio, tais como: deformação da bobina (axial e radial), falha no núcleo magnético (laminação curto circuitada), faltas do núcleo para a terra, conexões internas quebradas ou abertas, colapso parcial do enrolamento, espiras curto circuitadas e abertura do enrolamento.

Perguntas e respostas:

A) Considerando a padronização das medições, é possível obter repetibilidade entre duas medições, de um mesmo transformador, utilizando instrumentos de medição SFRA de fabricantes diferentes?

Sim, desde que sejam utilizadas as mesmas configurações de ensaios, como faixa de frequência, tensão de ensaio, número de pontos medidos, distribuição destes pontos nas faixas de frequência, modo de varredura (linear ou logarítmica), etc.

B) Com relação ao estudo de caso de um autotransformador monofásico de 100 MVA ? 500 / 230 / 13,8 kV, o defeito foi caracterizado de projeto apenas ou teve alguma influência sistêmica (manobras, curtos-circuitos etc)? Sendo de projeto, outros autotransformadores de similares estariam também sob risco

O defeito foi caracterizado como falha na execução de projeto, pois conforme informado o equipamento foi reformado em 2002, e nesta reforma foram utilizados, para fixação dos condutores, pinos isolantes com roscas, o que provocou o desgaste na isolamento do condutor. Este tipo de pino não é encontrado nos autotransformadores similares, de fabricação original.

C) Qual seria o melhor arranjo dos cabos de medição para que haja uma menor influência na medição? E a questão da influência da magnetização do núcleo?

Em uma subestação energizada, a maior influência encontrada é a interferência do campo magnético, para mitigá-la é preciso observar o aterramento das buchas do enrolamento sob análise. A cinta de aterramento deve estar bem esticada, para não servir como antena. Pela Lei de Ampere haverá, nesta cinta, uma corrente que produzirá um campo eléctrico, assim utilizando duas cintas de aterramento, colocadas a 180°, todos esses campos seriam teoricamente cancelados, o que diminui essa interferência. A magnetização do núcleo, bem observada nas baixas frequências, é influenciada pela realização de ensaios em corrente contínua, por isso é necessário fazer o ensaio de SFRA antes que sejam executados estes tipos de ensaios, ou na impossibilidade, deixar registrado que o ensaio foi feito com essa influencia, para evitar que seja dado falso diagnóstico em comparações futuras.

### 3.20 - CONFIRMAÇÃO DA EFICÁCIA DO ENSAIO DE RESPOSTA DO DIELÉTRICO DE TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA E BUCHAS CAPACITIVAS COMO TÉCNICA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA

NEGRAO, H.R.F.(1);BRASIL, F.D.S.(1);CAMPOS, B.M.(1);TOSTES, J.A.S.(1);TOSTES, M.E.D.L.(2);VILHENA, P.R.M.D.(1);PEREIRA, M.D.R.(1); - Eletrobras Eletronorte(1);UFPA(2);

A umidade desempenha um papel crucial no estado do dielétrico de equipamentos de alta tensão, visto que ela pode acelerar o processo de envelhecimento da isolamento, por conseguinte comprometendo assim todo o equipamento. O presente trabalho aborda algumas das principais técnicas utilizadas na Eletrobras Eletronorte, para avaliação da qualidade da celulose e óleo isolante. As considerações teóricas são acompanhadas pela apresentação de dois estudos de caso em transformador de potência e bucha capacitiva, onde são abordados resultados de ensaios de Resposta do Dielétrico em conjunto a outros ensaios de rotina realizados nesta empresa.

## Perguntas e respostas:

A) Os autores poderiam comentar a afirmativa feita no texto de que "PDC fornece um diagnóstico muito rápido e preciso em baixas frequências", considerando que as medições duram horas?

Utilizando-se somente do método PDC, o ensaio terá duração de horas. No entanto, neste trabalho utilizou-se tanto o PDC como o FDS, o que reduziu significativamente o tempo de ensaio.

B) Os autores poderiam comentar o que decorre do fato da curva obtida pelo instrumento ser diferente da curva modelo, conforme observado nas figuras 11, 13 e 14?

As curvas não foram iguais à curva modelo visto que o equipamento apresentava alto teor de umidade em sua isolamento sólida.

C) Quais critérios seriam recomendados pelos autores para utilização efetiva, como técnica de manutenção preditiva, dos resultados das medições propostas?

Recomendamos os seguintes critérios: limpeza do equipamento, não realizar o ensaio com umidade ambiente alta (superior a 80%), comparar com outras técnicas preditivas com análise físico-química do óleo, entre outras.

### 3.21 - ENSAIO DE ELEVAÇÃO DE TEMPERATURA EM SOBRECARGA - ANÁLISE DOS RESULTADOS UTILIZANDO A MEDIÇÃO INDIRETA (IMAGEM TÉRMICA) E DIRETA (FIBRA ÓPTICA) - CASO AUTOTRANSFORMADOR SE IPATINGA 1

COSTA, J.G.D.(1);Costa, J.M.G.d.(2); - CEMIG(1);UFVJM(2);

Transformadores de potência são os equipamentos mais importantes e onerosos do sistema de transmissão elétrico. Medidas que permitam o controle e o prolongamento da vida útil dos mesmos são interessantes tanto sob o ponto de vista econômico, quanto operacional. A manutenção e eventual prolongamento da vida útil de um transformador de potência estão intimamente ligados ao monitoramento e manutenção da temperatura de operação dentro dos limites aceitáveis de operação dos materiais que compõe o isolamento da parte ativa. A operação do transformador a uma temperatura superior à qual ele foi projetado pode ocasionar envelhecimento acelerado devido a diminuição da eficácia e durabilidade dos isolamentos. Dessa forma, são fundamentais a fidelidade e funcionalidade do monitoramento da temperatura de operação em transformadores de potência. Tradicionalmente, as temperaturas do óleo e enrolamentos em transformadores de potência são medidas de forma indireta. A temperatura no óleo é determinada por meio de sensor resistivo de temperatura, enquanto a temperatura dos enrolamentos é levantada por meio da variação da resistência elétrica de condutores em associação com o coeficiente térmico do material dos mesmos. Nas últimas décadas, a medição de temperatura de forma direta, por meio de sensores de fibra óptica, tem se mostrado uma possibilidade sobre os pontos de vista técnico e econômico para transformadores de potência de grande porte. A proposta deste artigo é apresentar uma análise comparativa do registro das medições de temperatura obtidas de forma indireta (imagem térmica) e direta (fibra óptica) do ensaio de elevação de temperatura em sobrecarga do autotransformador monofásico 75MVA ? 230/138kV fornecido à SE Ipatinga 1 em 2016. Os resultados apresentados podem inferir uma necessidade de atenção aos critérios tradicionalmente utilizados para a definição do ponto mais quente do enrolamento. A pertinência e relevância do estudo em questão estão associadas ao elevado custo de transformadores de potência, bem como à sua importância no sistema elétrico. Justifica-se, portanto, a realização de estudos relativos a métodos que permitam a maior aproximação da temperatura do ponto mais quente dos enrolamentos visando a previsibilidade da vida útil dos transformadores, sob a ótica do envelhecimento pela ação da temperatura no isolamento, com o foco em medições de temperatura assertivas. Adicionalmente a medição de temperaturas via fibra óptica pode ser uma alternativa técnica interessante para a avaliação da temperatura em condições de sobrecarga devido ao reduzido tempo de resposta das medições obtidas por esta.

## Perguntas e respostas:

A) O trabalho mostra a experiência da concessionária com medição direta de temperatura e os resultados apresentados mostram que em alguns casos a medição direta apresentou valores de elevação de temperatura maiores e em outros menos do que os calculados e/ou medidos pelos métodos indiretos. A Concessionária continuou sua pesquisa com medições em outras unidades? Este comportamento se repetiu?

Nos últimos 10 anos foram especificados sistemas de medição direta e indireta de temperatura nos trafos fornecidos. O acompanhamento/comparação das medições por enquanto está limitado aos ensaios de elevação de temperatura realizados no fabricante. Este comportamento se repete em alguns projetos.

B) Os resultados não colocaria em cheque a política de sobrecarga estabelecida que pode estar reduzindo a vida útil dos equipamentos? Em um País de dimensões continentais como o Brasil e com uma diversidade grande de condições climáticas, não deveria ter critérios diferentes de sobrecarga e temperatura?

Em alguns casos a política de sobrecarga estabelecida pode estar reduzindo a vida útil dos equipamentos, principalmente considerando que a temperatura ambiente máxima em várias subestações passa dos 40°C e que a curva de carga do sistema elétrico atualmente apresenta seu valor máximo em horários coincidentes com a temperatura máxima diária.

C) Esta política de vida útil regulatória não desestimulam os engenheiros a especificar e manter equipamentos que possam operar por mais tempo?

Com certeza. Considerando o histórico de vida dos transformadores e a manutenção da tecnologia utilizada para a construção deste equipamento ao longo dos anos, diferente de outros equipamentos instalados no SEP (disjuntores por exemplo), entendo não ser prudente desestimular os engenheiros a especificar e manter equipamentos por mais tempo, principalmente em se tratando do equipamento mais oneroso do SEP.

### 3.22 - TÉCNICAS ALTERNATIVAS PARA AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DE ISOLADORES COMPOSTOS TIPO BASTÃO

SILVA, G.C.D.(1);MUNARO, M.(1);GOUVEIA, D.C.D.(1);LIMA, J.P.D.(2);RICHART, F.S.(1); - LACTEC(1);COPEL(2);

Isoladores compostos tipo bastão vem tendo sua utilização ampliada pelas concessionárias de energia. Três características importantes que devem ser verificadas para atestar a qualidade deste equipamento e garantir elevado desempenho operacional são: resistência ao trilhamento elétrico, hidrofobicidade e aderência. O presente trabalho apresenta metodologias alternativas para avaliação destas características. Foram testados isoladores compostos tipo bastão de fornecedores distintos. As metodologias mostraram-se eficazes para: a) qualificação dos materiais de revestimento, onde o uso da perda de massa como indicador quantitativo de desempenho parece promissora; b) análise da capacidade de recuperação da hidrofobicidade; e, c) qualificação da interface revestimento-núcleo.

## Perguntas e respostas:

A) Com relação à avaliação do trilhamento proposta: A) tendo em vista que no instante inicial não há perda de material, a regressão linear deveria passar necessariamente pelo zero, o que mudaria o critério de avaliação. Os autores podem analisar? B) Foi realizada alguma comparação com o método normalizado para confirmar o novo procedimento? C) Estatisticamente podem haver dispersões entre os ensaios. Como isso foi considerado nesse estudo?

A) Foi optado por considerar o modelo de regressão linear considerando somente as medidas realizadas. Este modelo foi utilizado em função da sua simplicidade e facilidade de análise. O intuito foi obter um parâmetro quantitativo para estabelecer um ranking entre os isoladores testados, tendo em vista que o teste normalizado é do tipo passa-não passa. Pode ser válido testar outros modelos estatísticos como continuidade do trabalho. B) Não foi realizado comparativo com método normalizado. Os parâmetros do teste modificado foram escolhidos visando acelerar o processo de degradação sobre as amostras obtidas a partir do isolador, uma vez que com os parâmetros do teste normalizado a perda de massa é muito pequena (fato observado em outros testes de laboratório realizados pela equipe técnica). C) Nos resultados do artigo estão apresentados somente os resultados feitos para uma amostra (para cada intervalo de tempo). Todavia, no projeto também foram realizadas avaliações em materiais de invólucros de para-raios (não inseridas neste artigo), onde foram feitas três medidas por amostra e por tempo e calculada média e desvio padrão da perda de massa. Obs.: Outra alternativa que foi testada após finalização do projeto e que pode vir a ser utilizada é medir a energia dissipada como parâmetro de avaliação.

B) O critério de avaliação da hidrofobicidade tem uma característica significativa de subjetividade. A) foi pensado em usar o método de medição do ângulo de contato para confirmar esses valores? B) a diferença entre as medições de 48 h e 156 h foi pouco expressiva. Assim, pode-se considerar que o tempo de 48 h seja suficiente para avaliar a recuperação da hidrofobicidade?

A) Foi utilizado o método do pulverizador com análise de imagens padrão, hoje já contemplado em norma nacional, tendo em vista ser um método de fácil aplicação e baixo custo para utilizar como ensaio de recebimento de materiais pelos engenheiros/técnicos da concessionária. Somente neste ano (2017) foi feita aquisição de tensiômetro óptico para medida de ângulo de contato. Acredito que este também seja um método a ser contemplado. B) Não. Para validação do método para avaliar recuperação de hidrofobicidade faz-se necessário repetir os ensaios para um número maior de amostras, incluindo valores intermediários de avaliação entre 48 h e 156 h.

C) A) Como foi definida a intensidade da força para produzir o arrancamento em ambos os ensaios? B) É possível garantir que ela seja igual em todos os ensaios? Como? C) Em algum dos ensaios o núcleo ficou exposto?

A) Não houve definição da força a ser aplicada. O cuidado que foi tomado foi a realização dos testes em um mesmo dia e por um único técnico, o qual buscava empregar sempre a mesma força ao teste. B) Somente seria possível garantir com precisão a força aplicada se houve no arranjo de teste algum tipo de instrumentação. Novamente aqui, foi pensado em um teste rápido e de baixo custo para ser aplicado por um engenheiro/técnico quando do recebimento de materiais. C) Uma particularidade dos testes realizados é que ou o isolador testado tinha boa aderência (não havendo exposição do núcleo) ou o isolador testado tinha má aderência (com exposição do núcleo). Para as amostras testadas não houve meio termo. Houve um caso excepcional onde todo o núcleo ficou exposto e o revestimento foi retirado sem esforço nenhum.

### 3.23 - SISTEMA INTELIGENTE PARA LOCALIZAÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS EM TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA

COSTA, P.I.D.(1);FLAUZINO, R.A.(2); - CTEEP(1);USP/EESC/SEL(2);

RESUMO O crescente aumento na demanda de energia elétrica nacional, associada às alterações regulamentares do setor, em que o tempo que um equipamento

permanece indisponível para o sistema, aguardando manutenção significa perda de receita para as companhias de energia, motivou a busca por diagnósticos precisos e utilização de técnicas não invasivas que possam ser aplicadas em transformadores em serviço. Assim, o foco desta pesquisa foi o desenvolvimento de uma arquitetura de sistema inteligente baseado em Redes Neurais Artificiais, que a partir de características extraídas de sinais de emissão acústicas provenientes de sensores distribuídos espacialmente no tanque de transformadores de potência, possa identificar internamente o local de ocorrência das descargas parciais e fornecer as distâncias estimadas entre os sensores e o ponto dessa descarga, e com essas distâncias, utilizando técnicas numéricas de triangulação, o sistema fornece também a coordenada espacial da falha auxiliando no diagnóstico de defeito do transformador e no processo de tomada de decisões. Palavras-Chave: Transformadores de Potência, Sistemas Inteligentes, Descargas Parciais, Redes Neurais Artificiais.

Perguntas e respostas:

A) Os autores poderiam comentar o efeito nos resultados da pesquisa devido ao fato de terem utilizado um tanque regularmente cúbico, apenas com óleo isolante, e a realidade de tanques de transformadores com seus componentes internos e outros elementos acoplados nas paredes?

O efeito do resultado dos ensaios com tanque experimental foram satisfatórios, onde em um treinamento quase quatro mil padrões foram estimados com erro inferior a 25 centímetros do local da descarga parcial. A aplicação de ensaios utilizando emissão acústica em transformadores só é aplicado para identificar defeitos periférico, e levando em conta outros fatores com: Conhecimento da posição dos componentes internos, tipo de falha ocorrendo no Trafo, etc. O sistema desenvolvido, tem sido aplicado nos transformadores que apresentam falhas com características semelhantes as citadas acima com ótimo aproveitamento.

B) Como são definidas a quantidade e posicionamento dos sensores no tanque?

Os sensores emissão acústica são montados dois por face, seu posicionamento junto ao tanque do Trafo, com o propósito de que os mesmos cubram toda região de maneira bem distribuída e possam captar qualquer falha interna que esteja gerando um ruído.

C) Que parte da análise dos resultados é tarefa do sistema inteligente e como é realizada de forma inteligente? A localização do ponto da descarga precisa de sistema inteligente?

O sistema inteligente é responsável pela tarefa de identificar o local de ocorrência da descarga, onde recebe os dados fornecidos por um sistema eletrônico de aquisição de dados de emissão acústica, onde é extraída as características e por meio da aplicação de redes neurais artificiais permite estimar a distância em relação a cada sensor que ocorrerá a descarga parcial, por conseguinte aplicando-se técnicas de triangulação as distâncias estimadas, a coordenada espacial da descarga parcial é então inferida.

### 3.24 - ESTUDO DE SISTEMAS ISOLANTES DE REFERÊNCIA USADOS NA DETERMINAÇÃO DA CLASSE TÉRMICA DE NOVOS SISTEMAS ISOLANTES SEGUNDO A NORMA IEEE C57.100

WILHELM, H.M.(1);MAREK, R.(2);GALHARDO, L.(2);FEITOSA, L.G.(1);SANTOS, G.C.D.(1);FERNANDES, P.O.(1); - DIAGNO(1);DuPont(2);

O principal objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades de três papéis kraft termoestabilizados, obtidos de três diferentes fornecedores, como sistemas de referência de acordo com a norma IEEE Std C57.100.2011. Para tanto, os três papéis kraft termoestabilizados, de diferentes fornecedores, foram inicialmente caracterizados, sendo determinado seu GP, a resistência à tração e o teor de nitrogênio. Na sequência, os três diferentes papéis foram secos até atingir um teor de umidade inferior a 0,5% e envelhecidos em óleo mineral isolante em três temperaturas, a saber, 180, 165 e 150 OC, por diferentes intervalos de tempo. Após, foram realizados ensaios de GP e de resistência à tração nos papéis envelhecidos e os resultados obtidos foram comparados entre si. A reprodutibilidade desse procedimento geral, descrito na norma IEEE Std C57.100.2011, está sendo avaliado em dois laboratórios diferentes, um nacional e outro americano. O laboratório nacional testou a relação de materiais para transformadores de potência enquanto que o americano testou as duas relações, distribuição e potência. Neste artigo estão apresentados os resultados obtidos para os diferentes papéis investigados, para as duas relações de materiais (distribuição e potência), para as temperaturas de 180 e 165 OC. Para a relação de materiais de transformadores de potência, observou-se pequenas diferenças entre os dois laboratórios para os resultados absolutos de alguns ensaios. Mas, embora tenham sido observadas essas pequenas diferenças, ambos os laboratórios obtiveram resultados comparáveis se consideradas as características de fim de vida para os papéis testados. Sugestões para melhorar a reprodutibilidade entre os laboratórios são apresentadas e discutidas neste artigo.

Perguntas e respostas:

A) os autores indicam que foi medido o teor de nitrogênio. Não foi determinado nem informado pelo fornecedor o composto derivado de nitrogênio responsável pela termoestabilização? Este fator pode afetar o desempenho dos papéis frente ao envelhecimento térmico, a natureza do composto químico nitrogenado?

O tipo de composto de composto derivado de nitrogênio não foi informado pelo fornecedor e sua identificação não foi objetivo deste estudo. Sim, a natureza do composto químico nitrogenado afeta o desempenho do papel, bem como sua concentração. Os compostos nitrogenados usados para estabilizar termicamente o papel, segundo a literatura, são ureia, melamina, dicianodiamida e poliacrilamida, ambos constituídos por aminas primárias.

B) Os autores poderiam comentar porque a diferença de tempo de resfriamento teria afetado o teor de umidade de uma das condições de envelhecimento apresentadas na Tabela 10, mas não todas?

Um dos subprodutos da degradação do papel é a água. No sistema de isolamento papel/óleo, quanto mais alta for a temperatura do óleo, mais umidade migra do papel para o óleo, e vice-versa. O tempo de resfriamento da célula de envelhecimento não foi controlado pelos 2 laboratórios, o que pode justificar as diferenças no teor de água determinados pelos laboratórios.

C) Os autores poderiam explicar porque a propriedade mecânica Módulo de Young é menos sensível ao envelhecimento na apresentação? Isto pode não ser de conhecimento tão comum.

Quanto maior o módulo de Young mais rígido o material é, ou seja, menor a deformação elástica que resulta de uma dada tensão. Como o papel perde a flexibilidade com a degradação, módulo de Young é menos sensível à degradação comparativamente à resistência a tração.

### 3.25 - SOFTWARE PARA ANÁLISE E DETECÇÃO DE FALHAS EM TRANSFORMADORES ATRAVÉS DE ENSAIOS DE IMPULSOS ATMOSFÉRICOS ESCALONADOS

FERRAZ, G.M.F.(1);COSTA, R.D.S.(1);SALUSTIANO, R.(1);CAPELINI, R.M.(1);SILVA, F.L.S.(1); - HVEX(1);

O ensaio de descarga atmosférica em transformadores é de suma importância para avaliação da robustez do seu isolamento. Todavia, a análise dos resultados é objetivo de grandes discussões, entre fabricantes e clientes, frente a sua aprovação, ficando, com exceção dos casos de curto franco, a cargo do responsável técnico analisar as formas de onda. Este artigo visa detectar a falha de isolamento em transformadores. Para isso realizou-se uma modelagem envolvendo um gerador de impulsos e um transformador em elementos distribuídos no software ATP®. Após isso, demonstrou-se, através de simulações, que o curto circuito entre pequenos trechos da bobina geram consequências nos sinais adquiridos pelos instrumentos de medição e no fator de forma da onda. Por este motivo foi desenvolvido o software de análise promovendo, através de técnicas digitais, a acurácia no processo de avaliação dos resultados. Logo após a aquisição de dados através de osciloscópio é necessária uma sequência de procedimentos para obter o aumento da resolução vertical, redução de ruídos brancos além de cálculos dos parâmetros da forma de onda decorrente. De posse de um sinal mais fidedigno e com parametrizações bem definidas iniciou-se um processo de sincronismo dos impulsos reduzidos e plenos, modularizando as deformações e comparando ponto a ponto a deformação das ondas. Caso elas venham ocorrer, com consequências nos sinais de tensão e corrente simultaneamente, a probabilidade de falha de isolamento é elevada, provado pelo banco de ensaios realizados.

Perguntas e respostas:

A) Os autores poderiam esclarecer como é feita a escolha do melhor filtro e sua ordem e como se pode assegurar que a aplicação do filtro escolhido não afeta também a deformação na forma de onda que se deseja detectar?

O sistema de aquisição apresenta 8 bits de resolução, taxa de amostragem de 100 MHz e 1 GS/s desta forma, são apresentados muitos pontos ao redor daquele existente, em resultado a alta frequência e baixa resolução de bits. Portanto a literatura recomenda o uso de média móvel e mediana para aumentar a resolução e filtrar as frequências mais altas "anti-aliasing". Outros filtros foram testados como wavelet e fft. Mas sem sucesso pela elevada oscilação de fechamento de arco, tempo de resposta do divisor e reflexões de onda através de impedância e cabo coaxial. O filtro apresenta média de 4 pontos, o que garante a aquisição em 25 MHz que é solicitado pela IEC 60060-obviamente se aumentamos o número de pontos a forma de onda começa a se deformar, o efeito é visual.

B) O software desenvolvido trata os sinais no domínio do tempo. Os autores poderiam comentar a opção de tratá-los no domínio da frequência para identificar as deformações associadas às falhas: se foi considerada, se há alguma vantagem ou desvantagem ? ?

Foi testada, apenas após estas perguntas que os autores pensaram em aplicar uma análise no domínio da frequência após o valor de pico do impulso, evitando os problemas mencionados acima. Se aplicado a todo o impulso ela apresentará desvantagens uma vez que o início do impulso apresenta elevadas frequências e amplitudes de oscilação.

C) Os autores acreditam que é possível uma ferramenta tal qual a apresentada substituir ou eliminar a necessidade de interferência humana para concluir sobre os resultados deste tipo de ensaio?

Sim. O grande objetivo deste trabalho é eliminar a influência da análise e acabar com a discussão se o transformador está sob falha ou não. Entretanto é necessário mais estudos para compreender a implicação da amplitude desta divergência, entre os impulsos reduzidos e plenos. Em outras palavras, foi detectado uma anomalia, mostrando a fragilidade do isolamento, mas ela é suficiente para levar o transformador a falha ao longo de sua vida útil em campo?

### 3.26 - UMA RADIOGRAFIA DOS LABORATÓRIOS DE ENSAIOS DE ALTA TENSÃO NO BRASIL

SILVA, M.T.F.D.(1);AZEVEDO, L.C.D.(1);LOPES, J.S.(2);FILHO, O.B.D.O.(3); - CEPEL(1);ELETROBRAS(2);CONSULTOR(3);

Este trabalho apresenta um resumo das inspeções realizadas nos laboratórios de ensaios dos maiores fornecedores de equipamentos elétricos para alta tensão no país. As inspeções tiveram como objetivo avaliar se os laboratórios dos fornecedores atendem aos requisitos mínimos necessários para a Garantia da Qualidade dos Resultados obtidos nos ensaios. O objetivo principal foi avaliar a metodologia e os resultados dos ensaios dielétricos envolvendo principalmente impulsos atmosféricos, impulsos cortados, impulsos de manobra, tensão aplicada e tensão induzida. As inspeções são consideradas necessárias e fundamentais para a garantia da conformidade dos equipamentos ensaiados, uma vez que os laboratórios dos fornecedores não são acreditados para tais ensaios com base na norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 [1]. É apresentada também nesse trabalho a estrutura metrológica e hierárquica para calibração em alta tensão e os serviços acreditados disponíveis na Rede Brasileira de Laboratórios Acreditados de Calibração (RBC) em alta tensão.

Perguntas e respostas:

A) Apesar de informar que um dos focos principais seria o ensaio de tensão induzida, por que não aparecem as não conformidades deste ensaio ?

No item 3.3.3 do artigo referente a NC constatadas para os SMAT utilizados para ATCA observam-se quatro NC (VCA1, VCA2, VCA3 e VCA4), todas referente ao ensaio de tensão induzida. As NC do SMAT para ATCA foram agrupadas com as NC do SMAT para tensão induzida.

B) Um estudo como este não será realizado para os ensaios em corrente contínua ?

Considero que para a garantia e confiabilidade do resultado do ensaio deve ser realizado esse estudo também para os SMAT utilizados em ensaios para alta tensão em corrente contínua, entretanto, o estudo realizado no trabalho representou uma avaliação dos SMAT utilizados em ensaios dielétricos em transformadores de potência do tipo monofásicos e trifásicos. Vale ressaltar que as inspeções foram sempre programadas de acordo com os contratos vigentes de fornecimento para as empresas Eletrobrás, que nesses casos não possuíam contratos para aquisição de equipamentos para alta tensão em corrente contínua.

C) Qual o custo da implantação e manutenção do programa de calibração dos SMAT em uma empresa ?

Considerando a calibração de um SMAT para ATCA, de acordo com norma ABNT NBR IEC 60060-2, o custo para garantir a integridade e confiabilidade do resultado do ensaio é relativamente baixo de aproximadamente R\$ 10 mil/ano. Mas caso o SMAT tenha boa estabilidade a calibração completa pode ser realizada a cada 5 anos. Nesse caso devem ser realizadas verificações anuais do SMAT pelo próprio usuário..

### 3.27 - EXPERIÊNCIA COM ENSAIOS EM COMPONENTES PARA LT 800 KV EM CORRENTE CONTÍNUA

CARDOSO, J.A.D.S.(1);FILHO, O.B.(2); - CEPEL - Centro de Pesquisas em Energia Elétrica(1);CONSULTOR(2);

Para atender a solicitação de ensaios dielétricos em componentes de sistemas classe 800 kVcc, o Cepel realizou ensaios corona, Tensão de Rádio-Interferência, suportabilidade sob chuva e distribuição de potencial em cadeia de isoladores. Com este trabalho, ensaios relevantes para os sistemas ATcc do Brasil foram realizados com sucesso no país, possibilitando obter valiosas informações sobre a preparação e execução dos ensaios, principalmente as particularidades e desafios com os arranjos de grandes dimensões e com os procedimentos de ensaio. Estas informações serão úteis também para projetos e especificações de novas infraestruturas laboratoriais para ensaios em Ultra-Alta Tensão.

Perguntas e respostas:

A) Por que a curva de distribuição de potencial nas cadeias de 800 kVcc não é apresentada ?

A curva de distribuição de potencial da cadeia de 800 kV não foi incluída no IT por motivos de sigilo quanto aos resultados. Porém, o objetivo foi descrever no IT a experiência e as adaptações nas técnicas para a execução dos ensaios, incluindo o ensaio de distribuição de potencial.

B) Qual o valor da tensão de radiointerferência que foi utilizada como critério de aprovação ?

O critério de aprovação para o ensaio de tensão de radiointerferência é que o valor máximo medido seja menor do que 1500 uV.

C) Considerando que a literatura técnica aceita somente o componente vertical nos ensaios em equipamentos classe UAT, qual o valor da precipitação obtida no ensaio de chuva realizado ? Os autores comentaram que o grau de poluição é um fator determinante no projeto das cadeias de isoladores em corrente contínua. Assim sendo, porque foi realizado ensaio sob chuva e não ensaio de poluição artificial ?

Apesar de haver várias discussões nos grupos de estudos técnicos sobre o ensaio sob chuva em equipamentos classe UAT, os ensaios foram solicitados de acordo com a norma técnica vigente, IEC 60060-1, com precipitação vertical e horizontal entre 1 e 2 mm/min. O comentário foi no sentido de chamar a atenção de que a distância de escoamento para uma cadeia de isoladores submetida a CC é maior do que para uma submetida a CA, considerando um mesmo grau de poluição. Além disso, um outro fator que influencia a distância de isolamento de um projeto não é crítico em sistemas de CC, já que os valores de sobretensão transitórias são menores em CC do que em CA. O ensaio sob chuva foi solicitado porque faz parte dos ensaios de tipo necessários por norma. Cabe ressaltar que os ensaios sob chuva e de poluição artificial têm propósitos de avaliação distintos, desta forma um não substitui nem isenta a realização do outro.

### 3.28 - AVALIAÇÃO DA RESISTÊNCIA À OXIDAÇÃO DE ÉSTERES NATURAIS ISOLANTES POR DIFERENTES METODOLOGIAS

GULMINE, J.V.(1);TULIO, L.(2);MARTINS, A.D.C.P.(3);WILHELM, H.M.(4);Chaves, L.M.M.(3); - LACTEC(1);LACTEC(2);CEMIG GT(3);DIAGNO(4);

No Brasil não existe ensaio normatizado para avaliar a estabilidade à oxidação de ENI. O principal objetivo deste trabalho foi aplicar diferentes métodos de avaliação da estabilidade à oxidação em três ENI do tipo poli-insaturados (baixo teor de ácido oleico) e em um ENI tipo monoinsaturado (alto teor de ácido oleico), utilizando os métodos das normas EN 14112, IEC 61125C e ASTM D2440, bem como análises PDSC (Calorimetria Exploratória Diferencial Pressurizada), tendo como referência a obtenção do PI (Período de Indução) destes ENI. Neste artigo são apresentadas a descrição da metodologia, os resultados obtidos e análise crítica destes resultados.

Perguntas e respostas:

A) Baseado nos resultados obtidos, é possível concluir que existe equivalência entre os métodos, por exemplo: um ENI que passe no método IEC também deve passar no ASTM e Rancimat?

IEC, ASTM e Rancimat são métodos diferentes. Apesar de, nos três métodos, os óleos serem submetidos a condições agressivas de envelhecimento, as variáveis operacionais como o fluxo de oxigênio utilizado, a presença ou não do catalisador e a temperatura empregada não são equivalentes. Devido a isso, os mecanismos de hidrólise, oxidação e polimerização dos ENIs na sua degradação serão também influenciados pelas condições do ensaio e, portanto, o comportamento de um mesmo óleo será diferente em cada método. Nos métodos IEC 61125 C e ASTM D2440 é pré-estabelecido um tempo que o óleo deve suportar a essas condições sem ultrapassar valores limites de algumas propriedades pré-definidas. São métodos do tipo ?passa? ou ?não passa?. No método Rancimat (EN 14112), é medido o tempo que o óleo leva para atingir valores limites de algumas propriedades pré-definidas. Neste método é determinado o período de indução do óleo. Considerando que as condições de oxidação do método IEC 61125 C são mais brandas em comparação à ASTM D2440, pode-se concluir que óleos vegetais isolantes passam mais facilmente no ensaio pela IEC 61125 C comparativamente ao método ASTM D2440. Como o método Rancimat fornece o período de indução, pode-se comparar os períodos de indução de diferentes óleos vegetais isolantes.

B) A metodologia de PSDC mostrou-se eficaz em seus resultados comparativos. Existe algum impedimento atual para o uso desta metodologia? No item 3.0 Metodologia, não foi descrito as condições operacionais deste método. Poderia nos informar como é feito este ensaio?

O impedimento atualmente é a falta deste equipamento no país. Há laboratórios que possuem o equipamento DSC, mas não o PSDC que possui pressurização, possivelmente pelo seu alto custo. A pressurização é importante pois evita que ocorra a vaporização do óleo com a temperatura, processo esse que levaria a alteração da linha base no termograma e comprometeria a qualidade do resultado e da determinação da temperatura de início de oxidação. A pressurização garante maior acuracidade na medida, possibilitando diferenciar o comportamento dos ENI. O ensaio é realizado em equipamento de PSDC ? Calorimetria exploratória diferencial pressurizada, com cela de pressurização. Aproximadamente 2 mg de amostra são pesados em um cadinho de alumínio aberto e este é colocado no compartimento do equipamento. No ensaio, a amostra é aquecida até 400 °C a uma velocidade de 10 K/min, mantendo-se uma pressão de oxigênio de 35 barr e adicionalmente um fluxo deste gás de 100 mL/min. A temperatura de onset de oxidação (OOT) é determinada via software, na região de início do pico fortemente exotérmico do termograma. Foram realizadas duas medidas por amostra neste trabalho, cujas curvas ficaram muito semelhantes, o que evidencia a excelente repetibilidade devido à pressurização, com uma precisão na determinação da OOT de mais ou menos 0,3 °C.

C) Os ENI tem seu desempenho baseado fortemente em um pacote de aditivos que não é divulgado pelos fabricantes. No caso de um ENI atingir os limites de uso em serviço, qual seria a opção para o usuário já que os aditivos não são conhecidos. É possível utilizar o mesmo inibidor sintético usado para o óleo mineral?

Não foi escopo desse projeto de pesquisa estudar a eficácia da utilização do inibidor sintético usado em óleos minerais nos óleos de origem vegetal. Há trabalhos na literatura onde foi avaliada a regeneração e posterior aditivação de óleo vegetal isolante em serviço em uma concessionária de energia. Foi observado que o aditivo antioxidante DBPC, que é o aditivo antioxidante declarado em óleo mineral isolante, pode, sim, ser aplicado em alguns óleos vegetais isolantes. Como o desempenho dos ENIs depende fortemente não apenas do pacote de aditivos, mas também da composição do óleo, um pacote de aditivos que funciona bem para um óleo pode não ser adequado para outro. Idealmente, sugere-se que o fabricante do óleo vegetal isolante seja consultado e que disponibilize os aditivos para o usuário, mas essa ainda não é a realidade em campo.

### 3.29 - ESTIMATIVA DA UMIDADE NA ISOLAÇÃO SÓLIDA A PARTIR DO ÓLEO ISOLANTE DE TRANSFORMADORES

MARTINS, A.R.(1);QUADROS, A.M.(2);MARTINS, A.D.C.P.(3);SESSA, C.D.(3); - CELESC(1);ELETROSUL(2);Cemig D(3);

Neste trabalho foi avaliada a aplicabilidade dos diagramas de equilíbrio para estimar indiretamente a umidade na isolação celulósica. Apesar de existirem diversas

curvas publicadas, muitos dados foram obtidos com a extrapolação e combinação de trabalhos de pesquisas dos materiais utilizados em determinada época. Uma nova abordagem para melhorar os diagramas de equilíbrio foi utilizada por Koch [4], que adaptou os diagramas à capacidade de adsorção de água dos materiais envolvidos. Aplicando estes diagramas pode-se constatar que os limites de teor de água estabelecidos nas normas técnicas garantem que a condição da isolamento celulósica será de no máximo ?levemente úmida?.

Perguntas e respostas:

A) Os autores afirmam que "a presença de água além dos limites admissíveis para sua classe de tensão causam três efeitos prejudiciais nos transformadores de potência...". Neste caso, poderiam esclarecer como a classe de tensão do transformador impacta nos mecanismos e efeitos da presença de água para que distintos níveis sejam aceitáveis?

O envelhecimento dos transformadores está relacionado ao estado do papel isolante. Este é submetido a um processo contínuo de degradação por ação da água, oxigênio e produtos de oxidação presentes no óleo. Assim é necessário manter sob controle a ação destes contaminantes, para que o envelhecimento da celulose seja predominantemente térmico. Para os transformadores de potência, quanto maior a classe de tensão, maior o gradiente de campo elétrico gerado no equipamento. Portanto, exigindo uma condição mais rigorosa do sistema dielétrico que por sua vez fica mais sensível à ação de contaminantes, neste caso a água.

B) Dado que a previsão de um único valor de umidade do papel é inválida devido ao equilíbrio termodinâmico do transformador, como assegurar que a metodologia aprimorada por Koch apresente alguma vantagem?

Além de curvas mais aderentes ao sistema de isolamento (papel/óleo) e ao seu estágio de envelhecimento, há a possibilidade do monitoramento on-line dos transformadores. Este monitoramento tanto de teor de água quanto de temperatura permitem que muitas leituras sejam tomadas e assim um valor médio seja estabelecido, mitigando o problema advindo da variação de equilíbrio termodinâmico do sistema água / papel / óleo.

C) Qual a principal conclusão do trabalho e suas implicações na maneira recomendada pelos autores para tratar as medições de umidade no óleo como fator de decisão nas ações de manutenção?

Alertar para a importância do teor de água no sistema de isolamento dos transformadores, considerando que a massa total de água está distribuída entre o papel e o óleo. Desta forma, para a interpretação correta do teor de umidade, os resultados do teor de água no óleo devem ser corrigidos em função da temperatura.

### 3.30 - MONITORAMENTO DE COMUTADORES DE DERIVAÇÕES SOB CARGA, UTILIZANDO A TÉCNICA DE EMISSÃO ACÚSTICA.

TRINDADE, M.B.(1);MARTINS, H.J.A.(1);MENEZES, R.C.D.(1); - CEPEL(1);

Neste artigo, são apresentados resultados de ensaios de Emissão Acústica realizados, em um comutador de derivações sob carga. Nele são apresentadas as assinaturas obtidas de comutações realizadas com o equipamento em operação no campo, bem como os resultados das análises feitas nestas assinaturas quanto à repetibilidade e à capacidade de identificar os eventos envolvidos na comutação. Este trabalho é parte do desenvolvimento de uma metodologia de ensaios que, com a utilização da técnica de Emissão Acústica, possibilite a verificação das condições e o diagnóstico de comutadores de derivações sob carga, que vem sendo realizado, pelo CEPEL.

Perguntas e respostas:

A) A aplicabilidade do sistema de monitoramento proposto está limitada a comutadores com compartimento externo ao tanque do transformador ou a aplicação dos sensores na tampa do compartimento do comutador também proporciona o uso desta técnica não invasiva?

A metodologia não se restringe a comutadores em compartimentos externos ao tanque. No caso de equipamentos montados no interior deste, os sensores são fixados na superfície do tanque, nas regiões mais próximas aos comutadores, a alturas que correspondam às posições em que se encontrarem o seletor de derivações e a chave comutadora, ou ambos, no caso de chaves seletoras. No caso de comutadores monofásicos, um único sensor é suficiente para o monitoramento, devendo ser posicionado em uma altura intermediária, entre o seletor de derivações e a chave comutadora. O importante é que, após escolhida a posição dos sensores, esta permaneça exatamente a mesma em todos os monitoramentos posteriores, de forma a permitir a comparação entre as assinaturas obtidas.

B) Avaliando a afirmação de que ?Algumas comutações apresentam quantidades consideráveis de sinais não detectados nas demais, sendo este comportamento o indicativo de alterações nos mecanismos envolvidos nos estágios? existe a intenção de avaliar os resultados com casos conhecidos, como por exemplo substituindo contatos por contatos desgastados?

Em um primeiro projeto, voltado para o desenvolvimento desta metodologia, foi disponibilizado um comutador de derivações, tipo chave seletora, em que foi feita a simulação de diversos defeitos. Este foi o ponto de partida, que permitiu identificar a capacidade da técnica em detectar a presença de defeitos nestes equipamentos. Neste caso, as comutações eram realizadas com o equipamento desligado, apenas com a presença de eventos de origem mecânica. Na fase atual dos estudos, devido à dificuldade de se dispor de comutadores de modelos diferentes, em que se pudesse promover a substituição de contatos, de molas e de outros dispositivos, com a intenção de se verificar as alterações nas assinaturas, procurou-se avaliar os comutadores antes e após intervenções para manutenções, ou que apresentassem defeitos de origem conhecida.

C) O trabalho indica que o conhecimento da variação da energia acumulada ao longo de um período de comutação constitui a assinatura acústica do comutador e afirmam que foi verificada a variação percentual da repetibilidade de até 6,4%. Qual o valor limite para a indicação de uma anormalidade no comutador?

Os valores dos coeficientes de variação percentual refletem alterações nas assinaturas obtidas de comutações entre as mesmas derivações, no mesmo sentido. O ideal seria obter essas assinaturas no comissionamento do transformador, para servirem de base de comparação com as que forem sendo obtidas, periodicamente, ao longo da sua operação. Na impossibilidade deste procedimento, poderão ser utilizadas como assinaturas de referência, aquelas obtidas após manutenções, em que sejam atestadas as condições do comutador. Comparações também podem ser feitas entre os resultados de comutações entre derivações pouco utilizadas, que se considere estar em boas condições. Devido à grande variedade de modelos de comutadores, de formas de montagem no tanque do transformador, da presença ou não de atenuadores acústicos, no percurso da onda até esta atingir o sensor, e de outras variáveis, os valores limites dos coeficientes de variação percentual, devem ser definidos a partir da experiência em cada caso e da observação do seu comportamento nas comutações entre as diversas derivações do mesmo comutador. Ao longo do desenvolvimento dos trabalhos, com outros modelos de chaves, chegamos a casos em que até 8% não eram indicativos de defeitos.

### 3.31 - CABEÇA DE SÉRIE - DESENVOLVIMENTO DE METODOLOGIA E SISTEMA PILOTO DE CONTROLE DA CONDIÇÃO OPERATIVA DOS COMUTADORES SOB CARGA

BARBOSA, A.M.(1);BARNABÉ, A.B.(2);MARQUES, L.L.(2);ROSA, A.S.(2);PAULA, F.F.D.(2);MATSUO, T.K.(3);BORBA, B.D.(3); - Light(1);CGTI(2);AQTECH(3);

Este trabalho descreve uma inédita tecnologia de monitoramento de comutadores de derivação sob carga. Os comutadores operam em regime intenso e exigem manutenções adequadas. O projeto buscou um novo arranjo para identificar defeitos nos comutadores, através das assinaturas elétricas das correntes de fases do transformador, corrente do motor e avaliação do desgaste dos contatos (principais e auxiliares). O sistema registra as condições operativas atuais e as compara com a situação do seu ponto ideal de operação. O sistema também monitora o número de operações, e apresenta desgaste dos contatos através do somatório das correntes interrompidas e seus perfis.

Perguntas e respostas:

A) A definição dos valores de ganho é função de ajustes de Ganho e Offset realizados de forma autônoma do sistema a partir de defeitos conhecidos ou a partir de definições do usuário/desenvolvedor? Os autores indicam um ganho e offset ótimo entre 3 opções do sistema, estas opções são aplicáveis a qualquer tipo de comutador ou os ajustes de ganho e offset são específicos por equipamento?

Definições do usuário. Os parâmetros do software não dependem do tipo de equipamento, são específicos aos defeitos que podem ocorrer nos comutadores sob carga e serão ajustados em função dos tipos de defeitos registrados.

B) Quais tipos de defeito condicionado foram inseridos no comutador na fase de validação do sistema?

Como parâmetro de referência foi utilizado o defeito "Rompimento da cordoalha do contato".

C) O sistema proposto reporta alarmes ao Supervisório da Subestação ou será uma ferramenta de apoio a engenharia de manutenção?

O Sistema reporta ao supervisório, alarmes de defeitos e também datas para próximas manutenções, auxiliando a engenharia de manutenção na otimização da Equipe e condicionando a manutenção no Comutador ao ponto ótimo.

### 3.32 - AUMENTO DA CONFIABILIDADE DO MONITORAMENTO TÉRMICO DIGITAL DE TRANSFORMADORES E SEU IMPACTO NO ATENDIMENTO À EMERGÊNCIAS

OLIVEIRA, C.D.S.(1); - SEL(1);

A aplicação de cargas acima da potência nominal do transformador vem sendo praticada desde a década de 80. Atualmente, o carregamento de transformadores da Rede Básica é controlado através da corrente ou potência do equipamento, com base no Submódulo 2.3 do Procedimento de Rede. Porém, este método puramente baseado em corrente visa proteger o transformador contra sobrecargas excessivas mas ignora o monitoramento real do seu envelhecimento, onde a verificação de uma sobrecarga seria apenas o primeiro passo na cadeia de degradação deste do transformador. Com avanços das tecnologias, existem atualmente métodos que permitem que este controle seja feito com base nas temperaturas do óleo e enrolamento do transformador, levando em conta ainda informações da temperatura ambiente, perfil de carga e sistema de resfriamento que tais equipamentos possam acionar. Este tipo de controle permite a liberação de uma maior quantidade de cargas, evitando cortes desnecessários e aumentando os limites de intercâmbio de energia, sem perda de vida adicional para o transformador. Este artigo visa mostrar quais os requisitos básicos para este tipo de monitoramento térmico de transformadores, com base em uma aplicação real em uma Subestação de 500 kV da CHESF. Por fim, o

artigo conclui que a aplicação de modelos térmicos confiáveis, além de impactar na precisão dos cálculos de temperaturas e envelhecimento do transformador, podem ainda ser uma grande ferramenta para otimização da aplicação de sobrecargas em transformadores.

Perguntas e respostas:

A) No artigo é afirmado que a medição de temperatura do óleo através de termoresistências é uma conexão um tanto quanto frágil e aponta a necessidade de que a conexão do sensor até o monitor térmico não pode falhar, e alerta quanto ao cuidado para que o cabo que realiza esta conexão não sofra interferências. Afirmado ainda que monitores mais avançados, possuem também o modelo térmico do óleo, com base na medição de temperatura ambiente. Ao descrever o funcionamento dos monitores mais avançados a autora informa que a medição de temperatura ambiente pode ser feita através de termoresistências instaladas em estações meteorológicas na subestação ou até mesmo posicionadas em lugares estratégicos do transformador. Pergunta: Como são feitas as conexões das termoresistências ao monitor de temperatura?

B) Na tabela 5, porque a diferença de carregamento entre o modelo térmico adaptativo e o modelo térmico fixo sendo a mesma condição de corrente? Exemplo: 274A, 0,36pu e 0,91pu.

C) O monitor térmico utilizado nos testes possibilita que o usuário insira o modelo térmico para determinado transformador e os diferentes estágios de refrigeração, possibilitando assim a instalação do mesmo monitor em diferentes transformadores agilizando os processos de manutenção.

### 3.33 - INTEGRAÇÃO DE MONITORAÇÃO ON-LINE NAS ROTINAS DA ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO

ALVES, M.E.G.(1);SIMOES, A.J.M.(2);ALVES, M.R.V.C.(2);COSTA, M.(3);NETO, J.B.F.(2); - Treetech Sistemas Digitais Ltda.(1);ETESA(2);Treetech Sistemas Digitais Ltda.(3);

Desde o ano 2000 a Celeo Redes atua no mercado de transmissão de energia elétrica e hoje possui 12 Concessionárias, estando uma em construção, espalhadas por 11 Estados e totalizando mais de 3900 km de linhas de transmissão em 500 kV e 230 kV e doze subestações com capacidade instalada de transformação de 4875 MVA. Na busca constante pela excelência nas práticas de manutenção e aumento da confiabilidade, simultaneamente à redução das indisponibilidades no sistema de transmissão e redução dos custos de manutenção, a Celeo procura aplicar em sua engenharia de manutenção as ferramentas e tecnologias mais modernas e efetivas disponíveis. Seguindo este princípio, em 2011 foi iniciada a implantação da monitoração on-line dos autotransformadores e reatores das concessões do grupo, que atualmente abrange praticamente todos os ativos destas famílias, num total de 38 equipamentos, além de alguns equipamentos de menor porte, porém de grande importância para as funções transmissão, como transformadores de aterramento. O artigo apresentará a solução de sistema corporativo adotada para atingir este objetivo, fazendo uso da estrutura de Tecnologia de Informação da empresa para garantir a correta manutenção do sistema e com isso garantir sua continuidade, com excelentes resultados, de forma similar ao que já é efetuado como praxe para outros sistemas corporativos como o ERP, o SAGE e outros. Será apresentada também a seleção de subsistemas a monitorar e, conseqüentemente, os sensores adotados, a arquitetura de rede de comunicação que permitiu a integração de subestações localizadas em cinco Estados de quatro regiões do país. Por fim, o artigo relatará como o sistema de monitoramento corporativo foi integrado às rotinas da engenharia de manutenção da Celeo, contribuindo para que fossem alcançados importantes resultados para a redução do risco de falhas de equipamentos, redução de desligamentos para manutenções, redução de custos de manutenção e, conseqüentemente, melhora dos resultados operacionais. Para tal serão apresentados casos reais de detecção de condições de risco para os reatores, que operam em regiões de elevadas temperaturas ambientes, e as medidas de mitigação em curso. Portanto, o artigo demonstrará a utilidade das informações disponibilizadas pelo sistema de monitoração e a viabilidade de uso destas para influenciar positivamente as rotinas de manutenção em concessionárias de transmissão.

Perguntas e respostas:

A) A Celeo Redes dispõe de um grupo de engenharia de manutenção dedicado a analisar os dados diários obtidos do monitoramento da temperatura ou esta análise é feita apenas na apresentação mensal dos relatórios?

O sistema de monitoramento está configurado para alarmes que são enviados automaticamente por e-mail. Desta forma, a Celeo não possui equipe dedicada ao monitoramento, contudo a equipe de manutenção acompanha mensalmente a evolução dos indicadores.

B) A Celeo Redes quando informa em seu artigo que pretende adotar de forma definitiva a manutenção preditiva está informando que pretende abandonar a manutenção preventiva e desligar os equipamentos para manutenção somente quando a manutenção preditiva indicar a necessidade?

Atualmente as manutenções preditivas não abrangem 100% das recomendações existentes nos manuais dos fabricantes de equipamentos, permanecendo ainda a necessidade de realização das manutenções preventivas. Sendo assim, os critérios de manutenção da Celeo continuam sendo preventivos e preditivos mas a empresa investe e permanecerá investindo em manutenções preditivas para evitar falhas catastróficas em seus ativos.

C) Estando em fase de criação um Grupo de Trabalho do CIGRE com o objetivo de compilar as dificuldades e falhas encontradas na implantação de sistemas de monitoramento, de que forma a experiência da Celeo Redes pode colaborar com este trabalho?

A Celeo pode colaborar disponibilizando seus dados e experiência com monitoramento de seus ativos.

### 4.0 TÓPICOS PARA DEBATE

Temas atuais para debates:

1. As estatísticas procuram sempre abordar falhas em operação. E quanto as falhas em ensaios?

2. Conflito entre a Vida útil regulatória e a vida útil real. Será que a adoção de uma vida útil regulatória não faz que as concessionarias perder o interesse em uma melhor gestão dos seus ativos?

3- Os sistemas de monitoramento on-line são atualmente confiáveis e suficientemente robustos para em caso de anormalidades realizar desligamento automático ? Há casos de falhas em sistemas de monitoramento? Por que o uso de sistemas de monitoramento não decola

4- Óleo isolante

i) Qual o futuro do óleo vegetal isolante e quais as principais barreiras a serem vencidas para a sua larga utilização em transformadores e reatores em tensões superiores a 100 kV?

ii) É importante procurar novas alternativas de óleos isolantes, mais amigáveis com o meio ambiente e mais seguro