

Solução Ambiental para Retenção de Vazamento de Óleo de Transformadores.

Antonio Pacito, Celso Dória, Alexandre Gonsalves, Lucca Zamboni - Bandeirante Energia, São Paulo, SP; Maria Helena Ferreira de Araújo Adriano, José Tenório Barreto Júnior, Gilcinea Rangel Pesenti, Max Pereira de Souza - Light Serviços de Eletricidade S/A, Rio de Janeiro, RJ; Adelfo Brás Barnabé – JB Engenharia; José Mak – B&M Pesquisa e Desenvolvimento; Mário Kubota, Roberto Crespo Maciel - Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação CGTI - Campinas

Resumo – Para prevenir danos ao meio ambiente, decorrentes de vazamento de óleo isolante de transformadores de potência, de reatores e de disjuntores de grande volume de óleo em subestações, as concessionárias de energia elétrica adotam a construção de bacias coletoras embaixo e no entorno desses equipamentos, canalizando o escoamento do óleo, e da água que também cai nesses pontos, para uma caixa separadora que retém o óleo e permite a saída contínua da água que a ela aporta.

Essas providências se baseiam em normas NBR-13231 “Proteção Contra Incêndio em SE’s (Requisitos)” e NBR-13859 “Proteção contra Incêndio em SE’s (Critérios)” que prescrevem que esses equipamentos devem ser instalados sobre bacias de captação de vazamento de óleo (item 4.6.2) e dão diretrizes quanto às instalações para a separação óleo-água.

A caixa separadora usual em geral tem capacidade para conter todo o óleo do maior transformador instalado na subestação, por exemplo de 36 mil litros para transformadores de 138-13,8kV de 40MVA. Isso implica em uma construção de grande área de ocupação, algo em torno de 3x3x4m livres/úteis, o que implica em uma sensível interferência no local, principalmente em SE’s já existentes e que ainda não contam com um sistema de bacias coletoras e caixa separadora que atendam as exigências da legislação ambiental mais recente, além de representar uma relação custo/benefício elevada, na medida em que a ocorrência de grandes vazamentos de óleo desses equipamentos é rara.

O objetivo deste projeto de pesquisa e desenvolvimento foi criar um novo processo/dispositivo a ser instalado junto à caixa de contenção dos transformadores, que permita reduzir, minimizar ou mesmo eliminar o problema de poluição ocasionado pelo derramamento de óleo dos transformadores nos seus locais de instalação, contribuindo para uma solução econômica, ecológica, e ambientalmente correta.

Palavras-chave – Transformador, Óleo, Separação óleo-água, Contenção de óleo, Solução ambiental.

I. INTRODUÇÃO

Todos os transformadores de potência instalados em subestações utilizam grandes volumes de óleo isolante que faz a função de isolamento elétrico e proporciona um meio de troca de calor com o ambiente externo.

O conjunto de tanque e o sistema de radiadores são hermeticamente lacrados e construídos para suportar determinadas pressões internas.

O envelhecimento das vedações, esforços mecânicos oriundos de transporte, instalação ou manutenção; ou solicitações como curto-circuitos internos ou externos ao transformador que ocasionam grandes esforços mecânicos, podem romper as vedações e ocasionar vazamentos do líquido isolante no seu todo ou de parte.

Prevendo a possibilidade de derramamento do óleo isolante, muitas empresas adotam a construção de bacia de contenção (ou coletora) ao redor da base de cada transformador, canalizando o escoamento do óleo e da água de chuva para uma caixa separadora óleo-água, e daí canalizam a água para uma rede de águas pluviais.

A solução atualmente adotada para a caixa separadora é de grandes dimensões, difícil manutenção, difícil aplicação em subestações existentes que ainda não dispõem de sistema de prevenção, está sujeita a esforços nas estruturas provocando rachaduras imperceptíveis e também é de difícil monitoramento; além de significar um investimento elevado.

O projeto buscou e testou alternativas de materiais e soluções para filtrar o óleo, retendo-o pelo princípio de “peneira molecular”, e deixar passar livremente a água.

II. METODOLOGIA.

O projeto se desenvolveu num período de três anos. Inicialmente foi feito levantamento de ocorrências de derramamentos de óleo de transformadores de potência de subestações; suas causas, características dos defeitos e seus efeitos. Sendo feito registro das metodologias de prevenção de contaminação de solo pelo óleo derramado, e um apanhado sobre a Legislação vigente, inclusive normas NBR sobre proteção contra incêndios em subestações e sua implicação nos respectivos pátios quanto a dimensões e área de ocupação, levantando-se os custos e dificuldades de implantação principalmente para subestações existentes.

Depois, com os dados obtidos, foram concebidas condições de contorno para se desenvolver alternativa(s) que trouxesse(m) melhor viabilidade técnico-econômica para a solução do problema, inclusive avaliação de uso de material alternativo para a contenção do óleo, sem retenção da água, baseado no efeito "peneira molecular".

Vários testes de laboratório foram procedidos para avaliar o comportamento de materiais absorventes de óleo procurando-se, nessa fase, uma solução que pudesse ser simplesmente colocada no entorno do transformador, numa tentativa de evitar a necessidade de caixa separadora óleo-água tradicional e/ou da bacia coletora sob o transformador. A principal conclusão desses ensaios foi que um tipo de manta absorvedora de óleo se mostrou ser mais viável do que os demais materiais, sendo adotada para a próxima fase.

No segundo ano se projetou e fabricou o primeiro protótipo/dispositivo de peneira molecular baseado no uso de material absorvente de óleo e que deixa passar a água. Foi fabricado em aço, com uma única câmara de absorção de óleo com capacidade para cerca de 150 litros. Foi instalado na SE Barra, da Light. Seu desempenho foi testado através do derramamento de óleo vegetal e de água. O dispositivo, também chamado de filtro, correspondente ao primeiro protótipo recebeu um sensor de óleo concebido e desenvolvido especialmente para detectar quando a manta estivesse saturada de óleo - quando então o sensor perceberia isso e comandaria o fechamento de uma válvula retentora na entrada do filtro, contendo todo o óleo na bacia coletora, temporariamente. Esse primeiro protótipo foi testado com derramamento de água, de óleo, de água junto com óleo até que ocorreu a saturação do material absorvente e o sensor de presença de óleo disparou o fechamento da válvula automática posicionada na entrada do filtro. Durante esses procedimentos foram recolhidas amostras de água na saída da caixa separadora (filtro) para avaliar se havia arrasto de óleo para fora do filtro.

Ao final do segundo ano, após o ensaio de desempenho acima, e com a análise das amostras de água coletadas na saída do filtro, e também com a abertura do mesmo, foi feito um diagnóstico completo para dar subsídios ao re-projeto do protótipo, conforme previsto na metodologia.

Optou-se por construir o segundo protótipo em escala reduzida e em vidro para que se pudesse visualizar os fenômenos internos, analisá-los e conceber as adequações a partir das constatações do comportamento dos fluidos que o percorriam e do desempenho dos materiais, da geometria interna da caixa/filtro, e do material absorvente de óleo. Considerou-se necessário o recurso ao modelo em vidro pois a maior parte das constatações obtidas sobre o primeiro protótipo só foi possível após a abertura do mesmo (que foi fabricado em aço). Com isso foi possível realizar vários projetos sucessivos (construindo-os em vidro com cerca de 25% do tamanho real, e testando-os em bancada) introduzindo-se mudanças e melhorias sucessivas a cada novo protótipo (reduzido).

Em meados do segundo ano, ao se escolher uma subestação para instalar o primeiro protótipo, ocorreu uma coincidência. A Light estava construindo uma caixa separadora tradicional de grande volume na SE Barra. Apresentou-se então a oportunidade da instalação do primeiro protótipo ser realizada simultaneamente com o sistema tradicional contando assim com uma caixa separadora óleo-água de grandes dimensões, operando em paralelo, e servindo como uma proteção redundante. Isso permitia testar o protótipo, em seguida à sua instalação, sem ter que esperar durante meses por ocorrências "naturais" de vazamentos de água. Essa situação altamente interessante e favorável de se proceder a simulações no dispositivo dentro da SE, a qualquer momento, não era uma condição prevista na metodologia do projeto. Com essa facilidade para efetuar simulações a qualquer momento, tornou-se possível investir tempo no aprimoramento do projeto do segundo protótipo via modelo reduzido, construindo-o em escala real somente após se saber que teria bom desempenho; para em seguida colocá-lo em teste com derramamento de óleo na SE Barra.

Duas concepções em vidro foram executadas e então foi apresentado o modelo reduzido à FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente, do Rio de Janeiro) e à CETESB (Cia. de Tecnologia de Saneamento Ambiental, do Estado de São Paulo), sendo realizada uma seqüência completa de ensaios no modelo reduzido, em vidro, nas dependências do CGTI - Centro de Gestão de Tecnologia e Inovação.

Após os ensaios de passagem de água, de óleo, de água com óleo, e observar o comportamento dos líquidos durante sua passagem pelo interior da caixa, bem como o desempenho do sensor de presença de óleo. Várias sugestões de melhorias da parte dos representantes dos órgãos ambientais FEEMA e CETESB foram feitas, discutidas e aceitas implicando em pequenas revisões do projeto.

Após executada a adequação do projeto executivo do filtro, ou melhor caixa separadora óleo-água especial, foi providenciada sua fabricação, agora em fibra de vidro e escala real 1:1. Também o detector de óleo foi refeito (agora baseado em condutividade do meio e método óptico-eletrônico) porque as tentativas de melhorar o original (baseado só no princípio da condutividade) não foram satisfatórias.

Foi feita a instalação da caixa separadora na SE Barra, e também do detector de óleo e dois sensores, do painel de comando, e da válvula automática de retenção, caracterizando-se este conjunto como um novo sistema que pode substituir a caixa separadora tradicional. Em seguida foram feitos ensaios de derramamento de óleo, coletadas amostras de água na saída e testado o desempenho de cada componente e do sistema como um todo.

III. RESULTADOS DO PROJETO.

Foi criado um novo processo/dispositivo a ser instalado junto à bacia coletora dos transformadores em substituição à caixa separadora tradicional (de grandes dimensões, grande volume, e elevado custo/benefício), para reduzir ou eliminar o risco de poluição pelo derramamento de óleo dos transformadores de potência ou disjuntores de grande volume de óleo.

O (novo) Processo engloba em seus componentes as seguintes funções e dispositivos diretamente associados:

Separação (água-óleo) - através da caixa separadora especial, ou filtro;

Absorção de óleo - pela manta absorvedora de óleo;

Detecção da presença de óleo - feita pelo detector (externo) e sensores (internos) de presença de óleo;

Sinalização do vazamento - feito pelo painel a partir de sinal emitido pelos sensores;

Retenção do óleo - feita pela válvula instalada na entrada da caixa separadora especial;

A contenção do óleo, nesse novo processo, é feita na própria Bacia Coletora dos transformadores, temporariamente.

A Separação da água do óleo ocorre no material absorvente de óleo (e não-absorvente de água), que é a manta, que se utiliza do princípio de peneira molecular nesse processo. A manta pode ser torcida e reaproveitada, é livre de poeira, não é afetada pela temperatura, é resistente à chama, ao apodrecimento e ao bolor. É de fácil descarte, quando incinerada reduz-se a menos de 0,02% de cinzas.

A Detecção de presença de óleo ocorre pelos sensores que utilizam o princípio de refração de um sinal luminoso que, através de um circuito lógico, identifica se o meio existente entre dois eletrodos é o ar, a água (mesmo suja) ou o óleo. Simultaneamente, atua também pelo princípio de condutividade do óleo, e não-condutividade da água, ou do ar.

A Sinalização de presença de óleo na câmara é feita pelo circuito lógico de controle dos sensores que emite um sinal elétrico de aviso para o painel de controle da subestação; e simultaneamente envia um sinal elétrico para o (comando) fechamento da válvula automática que está na entrada da caixa separadora especial (ou filtro).

A Retenção da passagem do óleo é feita pela válvula (de retenção) que, ao ser comandada automaticamente pelos sensores (um ou ambos, que estão em paralelo) se fecha também automaticamente retendo o fluxo que passaria pela caixa.

A Contenção do óleo, em caso de vazamento de um transformador é provida pela própria bacia coletora tradicional; onde o óleo permaneceria por algumas horas até que se providencie sua

retirada. Sendo esta facilitada por uma válvula de abertura manual, (bloqueada mecanicamente em condições normais da SE) posicionada numa derivação (T) junto à válvula automática; bastando engatar uma mangueira adequada para se extrair o líquido contido (seja óleo ou água ou óleo misturado com água).

O novo processo proposto, apresentou ótimo desempenho, uma vez que todas as funções acima foram testadas e, tendo atuado adequadamente, não houve saída de óleo para fora da caixa separadora especial.

O sistema completo inclusive obras civis associadas tem custo de 50 a 70% mais barato que a caixa separadora tradicional; tendo as vantagens adicionais do sistema de detecção da presença do óleo, de envio de sinal de alarme em caso de vazamentos de óleo.

IV. CAIXA SEPARADORA ÓLEO-ÁGUA ESPECIAL.

A caixa separadora especial correspondente ao segundo protótipo, é de fibra de vidro fabricada com resina éster-vinílica para um ambiente com temperatura de até 130°. Acabamento gel isoftálico com inibidor de raios ultra violetas na cor cinza, pintada interna e externamente. É composta de dois módulos contíguos iguais.

A foto 1 abaixo é da caixa separadora fechada 113x63x54cm alt.



Foto 1

O primeiro módulo é constituído de duas câmaras: uma câmara em formato de "chicane" contendo material absorvente de óleo (manta) e outra câmara para posicionamento de sensor de presença de óleo. O óleo, para ser detectado, necessariamente deve atravessar a 1ª câmara, cuja função é separar o óleo da água mesmo que chegue em mistura emulsificada. Ao chegar na segunda câmara, onde está o sensor de presença de óleo, este é detectado e um sinal é disparado pelo sensor enviando alarme de presença de óleo e simultaneamente comandando o fechamento da válvula de retenção, que é automática.

A foto 2 abaixo mostra a caixa separadora aberta.



Foto 2

- A caixa separadora foi projetada para prover redundâncias dos seguintes recursos:

a) Redundância de módulos (dois), com as mesmas funções de separação do óleo-água.

b) de sensores (dois), sendo ambos posicionados na última câmara do 1º módulo – sob a tampa menor no meio da caixa acima. Na última câmara do segundo módulo existe uma placa para um (eventual) 3º sensor caso, nas futuras instalações a concessionária opte pela inserção desse recurso extra.

c) de alarmes a serem enviados ao quadro de comando da subestação.

d) de tamponamento da caixa, através de dois níveis de tampas multi-aparafusadas que, individualmente, provêm vedação total contra vazamento do líquido para fora da caixa.

A foto 3 abaixo mostra as gavetas extraíveis, ainda sem a manta.



Foto 3

A foto 4 abaixo mostra as gavetas com mantas dentro da caixa e um trecho do cabo dos sensores que saem em direção à parte externa.



Foto 4

A caixa separadora é imune à corrosão, é autoportante, entregue completa para instalação, sendo de fácil preparo para operação, de fácil limpeza e manutenção. É provida de gavetas extraíveis, que facilitam a colocação do material impregnante e também sua remoção após estar impregnado com óleo.

A caixa separadora não precisa ser instalada sobre cavaletes ou suportes, uma vez que a altura da saída de óleo permite que os líquidos oriundos das bacias coletoras dos transformadores de subestações podem ser trazidos à caixa por gravidade. Com projeto de instalação adequado, a água pode passar e sair em direção à galeria de águas pluviais, enquanto o óleo retido no interior da caixa é extraído e acondicionado para posterior descarte ou recuperação.

V. DETECTOR DE PRESENÇA DE ÓLEO.

O detector de presença de óleo é composto de caixa externa de fibra de vidro que contém o circuito lógico e os componentes eletrônicos; sensores que estão posicionados internamente à caixa separadora especial água-óleo; e cabos de conexão entre os

sensores e a caixa externa, e desta ao painel de comando da válvula.

A foto 5 abaixo mostra a caixa do circuito lógico aberta.



Foto 5

A foto 6 abaixo mostra a caixa do circuito lógico fechada e sua fixação sobre a tampa externa da caixa separadora óleo-água.



Foto 6

A placa e o circuito lógico de atuação dos sinais enviados pelos sensores foram desenvolvidos especificamente para o projeto de P&D, não sendo encontradas no mercado.

Apesar de sua posição colocada sobre a tampa da caixa separadora ela poderia estar posicionada até a 30m dos sensores (ou da caixa separadora) devendo sua conexão ser blindada contra campos elétricos - como no caso presente.

É provida de lâmpadas de sinalização indicadoras de presença de ar, ou de água ou de óleo entre os pólos dos sensores para efeito de pré-teste.

O sensor é fixado em placa dentro da caixa separadora água-óleo. A placa é posicionada verticalmente, e instalada como uma tampa aparafusada da caixa separadora. Esse conjunto fica associado à quarta câmara do primeiro módulo da caixa, após as três câmaras de separação do óleo da água.

A foto 7 a seguir mostra a placa de fixação com os dois sensores.

VI. VÁLVULA AUTOMÁTICA DE RETENÇÃO.

A válvula automática instalada na entrada da caixa separadora opera na condição normalmente aberta, permitindo que águas pluviais passem continuamente e não se acumulem nas bacias coletoras dos transformadores. Sua função é de retenção/bloqueio de entrada de óleo na caixa além daquele que satura o material absorvente do primeiro módulo da caixa.



Foto 7

Após a saturação deste, o óleo que passa para a câmara dos sensores provoca o sinal (pela ação do sensor) que dispara o fechamento automática desta válvula que bloqueia a passagem do fluxo de óleo. Sobre a válvula encontra-se seu mecanismo de fechamento/abertura que atua por sinal elétrico emitido pelo Painel de Comando que também provê a alimentação para essa operação.

A foto 8 abaixo mostra a válvula de retenção na entrada da caixa.



Foto 8

VII. PAINEL DE COMANDO.

O painel de comando da válvula automática é composto por relés auxiliares, disjuntores de BT, sinalização e régua de bornes.

Sua função é controlar e alimentar a solenóide da válvula de entrada da caixa e possibilitando alarmes de atuação no sistema supervisorio da concessionária

O painel, no caso da SE Barra, foi posicionado dentro da caixa de alvenaria que também abriga a caixa separadora.

VIII. ENSAIOS NA SUBESTAÇÃO.

Quantidades controladas de óleo vegetal foram derramadas na 1ª caixa de inspeção, de forma a serem drenadas naturalmente (por gravidade) para o interior da caixa separadora especial (filtro). Também foi derramado óleo juntamente com água para simular emulsão, e foram coletadas amostras na saída da caixa separadora especial (filtro) para posterior análise da presença de óleo que eventualmente tivesse atravessado a caixa antes da detecção.

A foto 9 abaixo mostra as duas caixas de inspeção (com as tampas abertas) de entrada e de saída de fluidos e a caixa intermediária onde fica a caixa separadora de fibra de vidro.



Foto 9

Utilizou-se o derramamento de óleo vegetal para simular os primeiros litros de óleo que aportariam à caixa no caso de um vazamento real de óleo de transformador. A adoção de óleo vegetal foi possível porque os sensores o identificam da mesma forma que ao óleo mineral sendo isso confirmado previamente nos testes de funcionamento dos sensores.

A. Ensaio Nº 1 - Amostra de Água Nº 1.

Foi derramada somente água continuamente na caixa de inspeção de entrada do filtro, com mangueira de água deixada ligada para obtenção de escoamento uniformemente através da caixa separadora (filtro). Na caixa de inspeção de saída do filtro foi coletado material para análise sendo etiquetado como amostra nº 1 - a chamada "amostra branca".

B) Ensaio Nº 2 - Amostra de Água Nº 2.

Foram derramados 20 litros somente de óleo, durante o que foi interrompido o derramamento de água. Com a entrada de óleo no filtro continuou saindo água do mesmo; após vários minutos de espera foi coletada a amostra número 2 da água na saída do filtro para análise de (eventual) presença de óleo e a sua proporção.

C) Ensaio Nº 3 - Amostra de Água Nº 3

Foram derramados mais cerca de 20 litros de óleo, juntamente com água e foi coletada a amostra de Nº 3.

D) Ensaio Nº 4 - Amostra de Água Nº 4.

Óleo e água foram derramados juntamente até que ocorreu o disparo do sensor e conseqüentemente o comando de bloqueio da válvula de entrada do filtro, perfazendo um total de derramamento de 60 litros de óleo.

Após o fechamento da válvula foi coletada a amostra Nº 4 assim que o fluxo de saída de água começou a se extinguir (devido ao bloqueio da válvula na entrada do filtro).

E) Amostra de Água Nº 5.

Terminados os ensaios de derramamento de óleo, e tendo atuado o fechamento da válvula ao fim do ensaio de Nº 4 acima, foi aberta a válvula de entrada intencionalmente, com a aplicação de sinal elétrico adequado, para o escoamento do pouco óleo (e água) que estavam contidos na caixa de inspeção, de modo que pudessem entrar no filtro e facilitar a retirada desse óleo. Finalizando os procedimentos de ensaio, e aproveitando-se do fato de que o fluxo de saída recomeçou devido à abertura da válvula como acima

descrito, coletou-se a amostra de Nº 5 para verificar se ocorreu arrasto de algum óleo para fora da caixa.

D) Resultados da análise das amostras coletadas

A 1ª amostra, sem derramamento de óleo do ensaio apresentou o índice menor que 2 mg/l de óleo na água de saída do filtro.

A 2ª amostra apresentou índice de 13 mg/l de óleo na água (na saída); a 3ª amostra apresentou o índice de 14 mg/l ; a 4ª amostra apresentou índice de 15 mg/l e a 5ª amostra apresentou índice de 14 mg/l de óleo na água (de saída da caixa), ou seja todas as amostras atenderem à resolução CONAMA 357 Artigo 34 17/03/05 que permite até 50mg/l.

IX. CONCLUSÕES.

A caixa separadora especial que utilizou o princípio de peneira molecular na separação água-óleo apresentou desempenho excelente na medida em que todas as 5 amostras registraram quantidade de óleo muito inferior ao valor máximo permitido (Resolução CONAMA 357 que dispõe sobre condições padrões de lançamento de efluentes).

A chegada de 60 litros de óleo na caixa separadora (até ter ocorrido a detecção de presença de óleo) pode ser visto como a "ponta" de um vazamento de milhares de litros de um eventual vazamento real de transformador; que teria sido controlado/bloqueado pelo novo sistema proposto; dispensando-se assim a caixa separadora convencional de grande volume.

O detector de presença de óleo atuou corretamente, após a saturação da manta, ao serem seus sensores atingidos pelo óleo, antes que este passasse para o segundo módulo, conforme esperado e constatado na abertura da caixa (em seguida aos ensaios).

O novo processo aqui proposto, de separação (água-óleo via caixa separadora de pequenas dimensões), absorção (de óleo pela manta), detecção (da presença de óleo após a saturação da manta), sinalização (pelo sensor, detector e painel associado) e retenção do óleo (por fechamento de válvula automática) ficou bem caracterizado e apresentou ótimo desempenho, uma vez que todas as funções acima foram testadas tendo atuado adequadamente.

O novo processo significa uma solução cerca de 50 a 70% mais econômica que a caixa separadora tradicional.

X. REFERÊNCIAS.

[01] FRACCARI, P. L. – “Poluição ambiental : Aspectos Gerais e Comparativos da Solução dada pela Flórida Power & Light e Eletropaulo, ao Óleo vazado dos Transformadores”. 4º seminário Técnico das Empresas de Energia de São Paulo - Eletropaulo - Eletricidade de São Paulo SA - 1991

[02] ABNT NBR 13231. – “Proteção Contra Incêndio em Subestações Elétricas de Geração, Transmissão e Distribuição” 2.005

[03] ABNT NBR 13859. – “Proteção Contra Incêndio em Subestações Elétricas de Distribuição” – Procedimento -1997

[04] FOFANA, I.; WASSERBERG, V.; BORSI, H.; GOCKENBACH, E. – “Drying of transformer insulation using zeolite Electrical Insulation Magazine, IEEE , Volume: 20 , Issue: 1 , Jan.-Feb. 2004 Pages:20 - 30

[05] MCKEOWN, D.; GEORGE, K.; YOUNG, S. – “Detection of oil-water interfaces in sunken oil tankers Oceanic Engineering”, IEEE Journal of , Volume: 5 , Issue: 4 , Oct 1980 Pages:225 - 228