



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

FI/GTM/11
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO – XIII

**GRUPO DE ESTUDO DE TRANSFORMADORES, REATORES, MATERIAIS E TECNOLOGIAS EMERGENTES -
GTM**

**TRANSFORMADORES ELEVADORES DA UHE GUARICANA COM ÓLEO VEGETAL ISOLANTE (OVI) –
INOVANDO COM SUSTENTABILIDADE, SEGURANÇA E CONFIABILIDADE**

**Orlete Nogarolli (*)
COPEL**

RESUMO

A partir do reconhecimento gerencial de que a gestão do meio ambiente é prioritária e determinante para um desenvolvimento sustentável, e considerando o comprovado grau de sucesso do óleo vegetal isolante (OVI) em transformadores, a COPEL decidiu que a UHE Guaricana, situada em área de proteção ambiental no litoral do Paraná, seria a oportunidade ideal para que o desafio da aplicação do OVI em transformadores elevadores fosse aceito pela COPEL.

Com o objetivo de compartilhar experiências e subsidiar investimentos futuros, este trabalho apresenta em 10 passos a evolução deste projeto, enfatizando as dificuldades, precauções e benefícios da sua implementação.

PALAVRAS-CHAVE

ÓLEO, VEGETAL, TRANSFORMADOR, OVI

1.0 - INTRODUÇÃO

Em 2012, quando o orçamento para a modernização da UHE Guaricana (UHE GNA) foi liberado, a substituição dos transformadores da subestação elevadora – alguns com mais de 50 anos de operação, com problemas crônicos de corrosão e contaminados com PCB - estava definida. O que até então não estavam definidas eram as características técnicas daqueles equipamentos. Assim, considerando que a usina estava incrustada na serra do mar, área de proteção ambiental, ao lado de um rio, a equipe de transformadores da engenharia da geração propôs que os transformadores fossem isolados à óleo vegetal isolante (OVI). A proposta então desafiadora – não havia na COPEL equipamentos deste porte isolados à OVI em operação - estava baseada na experiência adquirida durante as discussões do Grupo de Trabalho Interno sobre OVI e à definitiva estabilidade deste éster natural no mercado nacional. Desde então mais de dois anos se passaram e hoje os transformadores estão instalados e passando pelos primeiros meses de operação

2.0 - OBJETIVO

Com o objetivo de compartilhar a experiência e dar subsídios para investimentos similares no futuro, este trabalho apresenta as vantagens e desvantagens do uso do OVI nestes transformadores, bem como os 10 passos deste projeto, incluindo os estudos preliminares, especificação e fabricação, até a operação e manutenção, com enfoque nas inovações e particularidades do seu desenvolvimento. Neste contexto, enfatiza ainda as dificuldades – já superadas – as precauções e os benefícios da aplicação desta tecnologia na modernização da UHE Guaricana.

3.0 - DESENVOLVIMENTO

3.1 Dados da UHE Guaricana e seus principais equipamentos

Localização:	São José dos Pinhais, serra do mar
Potência Geradores:	U1, U2 e U4 = 6 MW U4 = 18 MW
Início de operação:	1957
Transformadores:	Tubos Transelectric (Argentina) Trifásicos 20 MVA (U3) – KNAN/KNAF 8 MVA (U1, U2 e U4) – KNAN/KNAN 6,6 kV – 69 kV



FIGURA 1 – Casa de força



FIGURA 2 – Transformadores OVI

3.2 Óleo Vegetal – Informações Básicas

O OVI é um fluido dielétrico resistente ao fogo, à base de éster natural derivado de sementes de oleaginosas, geralmente soja, girassol ou milho, aditivado com produtos de classe comestível. Com entrada no mercado brasileiro a partir de 2005, hoje tem como principais fornecedores a Cargill (Envirotemp FR3), a ABB (Biovolt) e a Mineraltec (Biovolt). Hoje é plenamente aceito em diversos ramos da indústria e em praticamente todas as empresas de energia do Brasil.

Possui as seguintes características básicas:

- Elevado ponto de fulgor (330°C) e ponto de combustão (360°C);
- Redução das distâncias de transformadores para equipamentos e/ou edificações (IEC 61936, NBR 13231, FM 5-4);
- Pode-se eliminar a construção de paredes tipo corta-fogo (IEC 61936, NBR 13231, FM 5-4);
- Instalações com fluidos resistentes ao fogo não necessitam de sistemas de extinção de incêndio (IEC 61936, NBR 13231, FM 5-4);
- 100% Ingredientes de classe comestível - não tóxico;
- Biodegradabilidade rápida e completa;
- Reciclável, recondicionável e facilmente descartável;
- Não classificado como perigoso pelas agências ambientais e de saúde (EPA / OSHA);
- Não necessário informe às autoridades em caso de vazamento, sem nenhuma exigência para remediação do solo;
- No Brasil estuda-se a possibilidade de eliminação das bacias de contenção (licença ambiental);
- Papel em éster natural tem envelhecimento muito mais lento que em óleo mineral (IEEE C57 – Guia de Cargas);
- Papel termoestabilizado leva 7 a 8 vezes mais tempo para alcançar final de vida. (2001 IEEE/PES);

m. Temperatura máxima do topo do óleo pode chegar a 160 °C sem perda de vida útil (dependendo dos demais materiais do transformador).

3.3 Fatores que influenciaram na escolha dos transformadores isolados à OVI para a UHE Guaricana

O estado geral dos transformadores originalmente instalados na usina em 2012 era crítico, com alguns casos de contaminação com PCB e muitos pontos de vazamento por corrosão em vários equipamentos, o que expunha a empresa à riscos de contaminação do meio ambiente em função da localização da subestação e da não existência de poço de separação e coleta de óleo.

Por outro lado, duas máquinas compartilhavam um mesmo banco de transformadores, arranjo não interessante em termos de confiabilidade e disponibilidade.

A proposta apresentada à Superintendência, no entanto, levou em conta não só os fatos acima, mas também a evolução do uso desta tecnologia nos últimos anos, constatado no grande número de empresas – fabricantes e usuários finais - aplicando o OVI em seus transformadores.

Influente nesta decisão também, foram os estudos internos realizados pelo Grupo de Trabalho OVI da COPEL, o qual contou com a participação de técnicos e engenheiros eletricitistas e de meio ambiente, que emitiram um relatório final avaliando o início da implantação desta tecnologia na empresa desde que alguns critérios fossem observados.

O sinal positivo de que o projeto OVI para os transformadores elevadores da UHE Guaricana fosse levado adiante, levou em conta ainda o fato de que os transformadores seriam de tensão (69 kV) e potências (8 e 20 MVA) compatíveis com o grau de cuidado necessário para implantação de uma nova tecnologia na empresa.



FIGURA 3 – Transformadores substituídos

FIGURA 4 – Transformadores substituídos, em final de vida

3.4 Dez passos do projeto, desde a especificação técnica até a entrega dos equipamentos para a operação e manutenção

Para que as características do desenvolvimento deste projeto pudessem ser colocadas da forma clara e precisa, a abordagem adotada neste artigo foi distribuída em dez passos, apresentadas nos subitens seguintes.

3.4.1 Passo 1 – Especificação técnica: diferenças entre transformadores OVI e OMI

Uma vez que a aquisição dos transformadores seria parte de um contrato maior, cuja abrangência incluía a obra civil e outros equipamentos da subestação, optou-se por trabalhar sobre as especificações padrões já existentes, com o cuidado de alterar partes estritamente relacionadas ao meio isolante e as consequências impostas por este tipo de isolamento nos demais tópicos da especificação, tais como o próprio OVI, normas, buchas, vedações, ensaios, montagem e comissionamento.

A preocupação de que o equipamento fosse 'verde' teve uma alteração importante no que diz respeito às buchas. Normalmente do tipo OIP (papel impregnado com óleo) para este porte de transformador, tomou-se o cuidado para

que a ET exigisse buchas RIP (papel impregnado com resina) para o enrolamento de alta tensão, por ser este tipo conhecido como bucha condensiva seca, ou seja, sem nenhum óleo. Consultas foram realizadas aos fabricantes de buchas para saber da compatibilidade deste tipo de acessório com o OVI e, quais as condições deveriam ser consideradas. A resposta foi positiva, ou seja, pelo menos um fornecedor garantia que a sua bucha poderia ser utilizada em OVI, desde que fosse utilizado um NBI (nível básico de impulso) acima do normalmente utilizado para OMI (óleo mineral isolante). Outra exigência da ET era o invólucro fosse de porcelana, em função do histórico não favorável observado em corpos poliméricos quando utilizado em regiões de alta umidade, tal como a usina em questão.

Por considerar que o OVI poderia trabalhar em temperaturas maiores, optou-se por exigir que as vedações que tivessem contato com o óleo fossem em Viton, borracha que suporta temperaturas muito maiores que a nitrílica, normalmente utilizada nestes casos.

Condicionou-se o fornecimento dos transformadores à experiência do fabricante com este tipo de isolante, pois detalhes de projeto são específicos para este caso.

A única condição atrelada ao tipo do óleo vegetal foi que ele atendesse a norma NBR 15.422. Ensaio específicos e cuidados adicionais durante fabricação e montagem foram incluídos para que eventuais surpresas não surgissem durante o processo. Um deles se referia à execução dos ensaios de laboratório com o próprio OVI do fornecimento, para impedir o fabricante de utilizar outro tipo de óleo durante os testes, como normalmente se observa.

Outros detalhes de menor significância foram também trabalhados nesta ET de forma a contemplar um fornecimento sem questionamentos por parte do fabricante.

3.4.2 Passo 2 – Licitação: quem irá fornecer os transformadores?

Uma vez definida a proposta vencedora, inicia-se o processo de avaliação do fornecedor dos transformadores escolhido pelo proponente, neste caso, a Tubos Trans Electric, fabricante de transformadores argentino localizado na cidade de Córdoba. Nesta avaliação, itens como capacidade de fabricação, capacidade de projeto, instalações, idoneidade e fornecimentos anteriores (já havia fornecido para a COPEL DIS) foram avaliados. Alguns por documentação, outros por contatos ou reuniões.

Após avaliação, foi comunicado ao proponente vencedor que o fabricante proposto foi aceito.

3.4.3 Passo 3 – Projeto: a importância das correções na concepção

Aceito o fabricante, iniciam-se os contatos pré-projeto. Estes contatos, inicialmente por troca de mensagens, visam apresentar ao contratante propostas sobre as quais o fabricante pretende trabalhar. Por outro lado, visam também munir o fabricante das certezas necessárias para emissão dos documentos e desenhos de aprovação, início dos cálculos e consequentes aquisições de materiais, componentes e serviços.

Um dos itens discutidos nesta fase foi o fornecedor do óleo vegetal. O fabricante propôs o Envirotemp FR3 da Cargill. O fato de atender a NBR citada na ET, ser um produto já testado por outras empresas nacionais e internacionais, não ter sido detectado em contatos e literatura nada que o desabonasse tecnicamente, manifestamos à Tubos nossa aceitação.

Ao fabricante, pesou nesta opção questões econômicas, pois outros fornecedores também preenchiam os mesmos requisitos e poderiam ter sido aceitos.

Apesar da segurança da Tubos em desenvolver o projeto, fizemos contatos com o fornecedor do OVI e com fabricante dos transformadores propondo que técnicos da Cargill entrassem em contato com a Engenharia da Tubos e discutissem as questões críticas de projeto e fabricação que o OVI demanda, apesar da Tubos desenvolver e comercializar sua própria marca de OVI, e equipamentos abastecidos com a mesma. Esta proposta foi aceita por ambas as partes, culminando com uma visita técnica da Cargill na fábrica da Tubos, onde os itens acima mencionados foram discutidos. Este contato nos deu segurança de que o projeto seria bem conduzido, não dispensando, entretanto, nossa permanente supervisão.

Outro assunto muito mais discutido foi o fornecimento das buchas de AT. A Tubos propôs uma bucha RIP que utiliza óleo mineral isolante como barreira entre a porcelana e o corpo condensivo. Inicialmente recusado, pelo fato de desejarmos que a bucha fosse seca, buscou então outras alternativas, no entanto, não obteve sucesso. Os fabricantes contatados e sugeridos por nós ou não garantiam sua bucha em OVI, ou não fabricavam com corpo em porcelana, ou não tinham a bucha na classe de tensão necessária. A única opção que nos atendia (RIP e seca) era

uma bucha de classe de tensão 138 kV, entretanto, devido às dimensões dos transformadores, não seria possível a sua utilização neste projeto.

As mensagens trocadas entre a Tubos e os fabricantes das buchas nos foram encaminhadas comprovando o fato acima mencionado. Voltando-se então à análise da primeira proposta, decidiu-se por aceitá-la, baseando-se em duas questões: a primeira é que a IEC correspondente à especificação de buchas não diz que bucha RIP tem que ser seca, mas sim que o corpo condutivo não é impregnado com óleo e sim resina. A outra questão é que o volume de óleo mineral isolante na bucha proposta é muito pequeno (cerca de 3 litros, somente utilizado como barreira), o risco de contaminação do meio ambiente também é muito pequeno, principalmente se considerarmos que buchas RIP não explodem. Assim, não existindo outra alternativa, aceitamos a bucha proposta, não sem antes exigir um certificado do fabricante americano PCore, atestando que este tipo de bucha é RIP, que o modelo ofertado é apropriado para uso em transformadores isolados à óleo vegetal e que realizou fornecimentos anteriores de sucesso.

Após o recebimento das primeiras remessas de desenhos e documentos, outras questões envolvendo o projeto foram discutidas e alteradas visando atendimento à ET ou à manutenibilidade dos equipamentos, desnecessário dizer, sempre com a concordância do fabricante.

Como fato negativo, o tempo dispendido nessas discussões – principalmente a definição da bucha - implicou em atraso no cronograma de fabricação, ainda que sem reflexo no cronograma da obra. Em todas as reuniões e contatos, no entanto, a empresa contratada para a obra sempre esteve presente como intermediadora. O resultado final é um produto sendo concebido atendendo as necessidades do cliente final, no caso, a COPEL GeT, Descaso nas correções de desvios nesta fase podem implicar em convívio com problemas operacionais ou de manutenibilidade até o fim da vida útil dos equipamentos.

3.4.4 Passo 4 – Fabricação: ISO para cliente ou auditor?

O que percebe-se em muitos fabricantes é que a certificação (ou recertificação) ISO não passa de um quadro dependurado na parede. Os processos simplesmente deixam de ser seguidos por razões desconhecidas externamente e a qualidade do produto deixa a desejar. Por este motivo faz-se sempre necessária e indispensável o diligenciamento na fábrica durante a fabricação. Pensando nisso, incluiu-se uma inspeção intermediária na fábrica para verificar-se principalmente a qualidade da produção e materiais utilizados. Montagem de bobinas, amarrações, uniformidade das distâncias, montagem do núcleo, conexões, comutador de tapes, processos de secagem e impregnação, entre outros, foram inspecionados e tiveram sua qualidade comprovada. Observou-se que, apesar da constante tendência de redução de custos de fabricação em prol da competitividade, a Tubos ainda mantém-se conservadora e preza por processos e fornecedores de qualidade, citando como exemplo o comutador de tapes à vazio importado da Itália, produto que poderia ser desenvolvido e fabricado por eles mesmos, à exemplo de outros fabricantes de transformadores.

Aproveitou-se a visita para ainda comprovar as ferramentas de cálculo, o conhecimento da Engenharia e as particularidades do projeto de um transformador isolado à OVI. Comprovou-se, nesta mesma visita, que o cronograma de fabricação, apesar do atraso já mencionado no item anterior, não impactaria na data de entrega da subestação.

A Tubos, sensibilizada com nossa solicitação, decidiu enviar à obra um supervisor de montagem por sua própria conta, apesar da montadora não ter contratado tal serviço. A importância de ter a COPEL como cliente, e também do projeto, tiveram peso relevante nesta decisão.

3.4.5 Passo 5 – Inspeção e ensaios em fábrica: comprovação final da qualidade do produto e ajustes finais

Se em fornecimento de transformadores com isolamento convencionais - de médio ou grande porte – a presença da COPEL GeT na inspeção e ensaios finais são sempre justificáveis, para o caso inovador dos transformadores isolados à OVI da UHE Guaricana poderíamos considerar indispensável. Este é o momento de comprovar se tudo o que foi projetado e construído está apto para ser energizado e colocado em operação.

Neste fornecimento – assim como nos demais fornecimentos da área de Geração – a inspeção é realizada pela Engenharia, sempre contando com a participação do pessoal de manutenção.

Quanto aos ensaios, além dos de rotina previstos em norma, foram também realizados ensaios de tipo no de 20 MVA e em um dos de 8 MVA, pois certificados anteriores de equipamentos iguais ou similares são raros, se considerarmos que transformadores elevadores são quase sempre únicos.

No primeiro dia em fábrica é importante realizar a inspeção visual e dimensional, incluindo a conferência da distância entre rodas e as conexões, pois não conformidades desta natureza devem ser informadas imediatamente ao fabricante para que o mesmo tome as medidas corretivas ainda durante a inspeção. Alguns problemas com

padronização de válvulas, retirada de um sistema de supervisão de temperatura por sistema preenchido, conexão rígida entre o barramento e a bucha de neutro, conferência e adequação de sobressalentes, ajustes do monitoramento de temperatura e identificações diversas foram alguns dos problemas encontrados que necessitaram ser corrigidos.

Certificados de fornecimento das buchas, tcs e óleo vegetal são solicitados ainda durante esta fase para cruzamento com o que foi solicitado na ET.

As buchas do tipo RIP devem ter seu lado óleo imediatamente protegido por invólucro de aço seguido de pressurização com nitrogênio, o qual somente deve ser retirado no momento da montagem em campo.

Uma vez aprovados em todos os ensaios, é imprescindível que o transporte seja condicionado à solução das pendências, mesmo que a prova de que o fabricante as tenha realizada seja encaminhada posteriormente através de mensagens e fotos.

A desmontagem e embalagem para transporte, cuja orientação já havia sido reforçada pelo fornecedor do óleo, tem particularidades exclusivas de equipamentos imersos em OVI. Todos os acessórios que tiveram contato com o OVI, uma vez desmontados, devem ser isolados e preferencialmente pressurizados com nitrogênio. Caso opte-se por não efetuar este procedimento, dependendo do tempo de montagem, a polimerização do OVI pode formar uma película sobre as partes e, no caso de acessórios com partes móveis, travá-los definitivamente (relé Buchholz, indicador de nível, comutador, etc.).

3.4.6 Passo 6 – Transporte: vencendo fronteiras e acessos

Pelas dimensões e peso, o transporte de grandes transformadores sempre é considerado complexo. No caso deste projeto, onde o fabricante era de outro país (Argentina), a complexidade era ainda maior.

O transporte desde a fábrica até a usina foi terrestre, e dividido em duas etapas: a primeira, desde Córdoba-AR até o porto seco em Curitiba (EADI), foi executada por uma transportadora argentina. A segunda etapa foi executada por uma transportadora nacional, que carregou os equipamentos em carretas menores e os transportou do porto seco até a usina.

Os contratemplos encontrados tiveram início com a desistência da transportadora inicialmente contratada pela Tubos. Após a definição da nova transportadora, a necessidade do tratamento das madeiras utilizadas nas embalagens acarretou em novo atraso, pois o documento de tratamento era imprescindível para a liberação da aduana no Brasil. Uma vez liberada a documentação, o transporte seguiu destino até o porto seco do EADI em Curitiba. A troca de carretas em Curitiba foi necessária devido às condições adversas da estrada de chão de dá acesso à usina, com declive acentuado, estreita e sinuosa nos últimos 5 quilômetros. Além disso, o custo das diárias de várias carretas paradas no EADI não era viável. Por ser um acesso desconhecido, a empresa que assumiu o transporte entre Curitiba e a usina fez levantamentos das condições da estrada antes de definir as carretas e caminhões que utilizaria.

Outro fator que gerou novo atraso no transporte foi a incidência anormal de chuvas na região na véspera do transporte, causando queda de barreiras e desmoronamento em alguns pontos do acesso próximo à usina. Para liberação da passagem foi necessária a contratação de máquinas e utilização de mão-de-obra, o que levou atrasou o transporte em mais de 10 dias. Entre os serviços, estava incluída a implosão de uma rocha que após deslizar até próximo à passagem das carretas se encontrava em posição instável, colocando em risco a operação do transporte durante a passagem por aquele ponto.

Entre outras dificuldades, os meses de janeiro e fevereiro, por serem época de férias em órgãos públicos e de grande movimento nas estradas, também contribuíram para alguns dias de atraso adicionais.

Por fim, os transformadores que foram liberados em fábrica em março de 2014, foram descarregados na usina somente três meses depois.



FIGURA 5 – Transformadores substituídos



FIGURA 6 – Transformadores substituídos em final de vida útil

3.4.7 Passo 7 – Montagem e enchimento: inexperiência com o OVI

A maior dificuldade desta etapa foi a falta de experiência anterior da equipe de engenharia e manutenção no manuseio do OVI. Para superar esta dificuldade, foram realizadas algumas reuniões com a Cargill, fornecedor do óleo, nas quais cuidados com o transporte, armazenamento, tratamento e enchimento foram exauridamente discutidos e assimilados. Uma vez definido pelo fornecedor qual seria a empresa montadora dos equipamentos, a Cargill ministrou um treinamento no prestador de serviço, no qual os envolvidos diretamente com a atividade de montagem receberam informações importantes sobre o manuseio do produto, com ênfase nos cuidados para que o OVI não fosse contaminado com OMI, uma vez que as máquinas de enchimento e tratamento são as mesmas utilizadas para ambos os óleos. Entre estes cuidados incluem-se a preparação da máquina, com circulação do próprio OVI para limpeza e substituição dos filtros, pois dependendo do grau de contaminação o ponto de combustão, elevado no caso do óleo vegetal, pode ser reduzido para níveis próximos ao óleo mineral. Outro ponto bastante ressaltado foi o cuidado com a exposição das partes internas e acessórios do transformador após contato com o OVI, tendo em vista a polimerização destas partes após contato prolongado com o oxigênio, a ponto de travar bóias do relé buchholz ou partes móveis do comutador de tapes. Os valores dos ensaios físico-químicos antes do enchimento e após contato foram estreitamente monitorados, principalmente o teor de água e a rigidez dielétrica, cujos valores limites nesta etapa são mais generosos que os do óleo mineral (< ou = 200 ppm para teor de água e >70 kV para rigidez).

3.4.8 Passo 8 – Comissionamento: ajustes, ensaios e interfaces garantindo uma operação segura

Os ensaios de comissionamento previstos na ET foram realizados pela montadora e supervisionados pela Engenharia e Manutenção. Não há diferença entre os ensaios realizados nos transformadores isolados à OVI e os ensaios realizados nos transformadores isolados a OMI, a não ser nos ensaios de laboratório específicos para OVI (caracterização). Há diferenças, no entanto, com relação ao ajuste da proteção térmica, onde os valores adotados para alarme e desligamento da temperatura do óleo são iguais aos valores adotados para alarme e desligamento da temperatura do enrolamento AT, neste caso 95 e 105 °C, respectivamente.

Nesta etapa algumas não-conformidades foram verificadas, no entanto todas foram solucionadas antes da entrada em operação dos equipamentos. Entre elas destaca-se problemas de corrosão verificados em grades de motoventiladores, amassamento de painel de terminais durante o transporte, pintura e vazamentos em janelas de inspeção.

Para que os resultados das análises de caracterização de OVI fossem lançados pelo laboratório no sistema OIS (sistema de óleo isolante), houve necessidade de adaptação de telas e campos, com inclusão de novas variáveis, visto que até então o sistema estava preparado somente para receber resultados de análises de OMI. Estabilidade à oxidação é exemplo de variável não aplicada à óleos mineirais isolantes e essencial para OVIs. Amostras antes da energização para cromatografia e físico-química foram retiradas e encaminhadas ao laboratório para referência futura.

A engenharia compilou os resultados dos ensaios e inspeções realizadas pela empresa montadora e emitiu um relatório de comissionamento.

3.4.9 Passo 9 – Energização, sincronização e carregamento: liberando ao SEP

Uma vez solucionadas todas as pendências registradas na ata de reunião de comissionamento – ou pelo menos aquelas impeditivas operacionais – e, uma vez que os resultados das análises físico-químicas se encontravam normais e aceitáveis, os equipamentos foram liberados para operação.

Antes do carregamento, no entanto, os equipamentos foram observados durante pelo menos meia hora de energização à vazio para constatação de qualquer anormalidade visual ou audível. Após sincronização da unidade geradora e carregamento nominal, manteve-se os equipamentos nesta condição até a estabilização térmica. Durante este período acompanhamentos termográficos foram realizados, sendo que nenhuma irregularidade térmica foi observada.

O que observou-se, no entanto, foram vazamentos em flange da aranha do relé Buchholz de um dos transformadores, os quais foram resolvidos pelo fabricante durante uma parada programada. Outro problema verificado foi a atuação dos relés térmicos dos motores dos ventiladores. A solução adotada pelo fabricante foi o aumento da capacidade de corrente destes componentes, os quais estavam subdimensionados, apesar de terem se comportado normalmente durante os ensaios de aquecimento em fábrica.

Após a entrada em operação, uma reunião documentada através de ata registrou as informações da energização e carregamento de cada unidade para efeito de contagem do início do período de garantia de 2 anos. Nesta ata registrou-se também pendências que não foram resolvidas durante o comissionamento.

Ainda nesta etapa orientou-se a manutenção sobre a programação especial para retirada de amostras de óleo desde os primeiros dias até os primeiros meses após a entrada em operação de cada equipamento.

3.4.10 Passo 10 – Entrega à Operação: encerramento do processo

Nesta etapa, a Engenharia, em conjunto com a O&M, iniciou a preparação e aprovação dos guias de manutenção.

O processo, que ainda continua em andamento, deve ser concluído até junho de 2015. Outra atividade que teve início nesta fase foi o cadastro e armazenamento dos sobressalentes. Coube à Engenharia orientar sobre os cuidados especiais de armazenamento, principalmente com relação à bucha de AT reserva, posicionando-a verticalmente com o lado inferior protegido contra umidade (suporte adquirido junto com a bucha).

Após a entrada em operação, coube também à Engenharia o acompanhamento e avaliação dos resultados das análises de óleo. Até o momento nenhuma irregularidade foi constatada. Na Tabela 1 abaixo são apresentados os resultados das análises cromatográficas 30 dias após a entrada em operação e, na Tabela 2, as análises físico-químicas após contato.

Tabela 1 – Análises Cromatográficas do OVI (30 dias)

Gás	Transformadores		
	NS 47983	NS 47985	NS 47986
Hidrogênio (H ₂)	17	20	9
Oxigênio (O ₂)	2363	3127	1606
Nitrogênio (N ₂)	13974	17086	15965
Metano (CH ₄)	1	ND	ND
Mon de Carb (CO)	44	31	24
Dióx de Carb (CO ₂)	341	207	221
Etileno (C ₂ H ₄)	3	ND	ND
Etano (C ₂ H ₆)	29	34	42
Acetileno (C ₂ H ₂)	ND	ND	ND

Tabela 2 – Análises Físico-químicas do OVI (pós-contato)

Propriedade	Transformadores		
	NS 47983	NS 47985	NS 47986
Rigidez Dielétrica 2mm (kV)	83	81	79
Fator de dissipação a 25 °C (%)	0,15	0,12	0,11
Cor	0	0	0
Índice de Neutralização (mg KOH/g)	0,02	0,01	0,01
Teor de água (mg/kg)	46	59	48
Ponto de combustão (°C)	332	340	338
Viscosidade Cinemática 40 °C			

Os manuais de manutenção e operação, os quais inicialmente nos foram encaminhados em espanhol, foram devolvidos para serem traduzidos para o português. Atualmente encontram-se o fabricante para revisão. Por outro lado, os protocolos dos ensaios de fábrica, desenhos as-built e documentação adicional já foram aprovados e entregues à O&M.

4.0 - CONCLUSÃO

Observou-se neste projeto que o desconhecimento interno de uma nova tecnologia pode ser superado pela experiência das equipes de Engenharia e de O&M, aliada à cooperação da empresa responsável pela montagem, do fabricante e do fornecedor do OVI. A prova disso é que os transformadores elevadores da UHE Guaricana estão em operação normal desde agosto de 2014, sem nenhuma pendência, e em perfeitas condições operacionais, comprovadas principalmente pelas análises de óleo físico-químicas e cromatográficas. Por sua parte, a Copel GeT, ao optar por investir em uma subestação 'verde', dá uma nova contribuição para a preservação do meio ambiente, com segurança, confiabilidade e sustentabilidade, abrindo oportunidades para novos projetos envolvendo transformadores isolados à OVI na empresa.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) ABNT NBR 15.422 – Óleo Vegetal Isolante
- (2) S900-20-1P Guia de Armazenamento e Manuseio FR3 da Cargill