



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

Versão 1.0
22 a 25 Novembro de
2009
Recife - PE

GRUPO DE ESTUDO DE GERAÇÃO HIDRÁULICA - GGH

ANÁLISE E PROCEDIMENTOS DAS CARACTERÍSTICAS INTRÍNSECAS DE PROJETO E MONTAGEM DE GERADORES HIDRÁULICOS

Paulo Henrique Santos Feitosa *

Fabício Lucion

TRACTEBEL ENERGIA S.A.

RESUMO

Este trabalho tem como intuito um estudo das características mais particulares de projeto e montagem de hidrogeradores. Ele foi desenvolvido com base em um treinamento realizado pelo autor nas unidades geradoras hidráulicas da empresa com o objetivo de ganhar conhecimentos técnicos nesta área. Com isso, busca-se mostrar aqui, as principais particularidades de cada projeto de um hidrogerador em relação a todos os outros que constituem o parque gerador da empresa, avaliando as vantagens e desvantagens dos aspectos considerados e suas relações com ocorrências registradas nestes equipamentos. Além disso, cada particularidade de projeto pode ser relacionada com características de custos, materiais empregados, questões de intervenções futuras e manutenibilidade, entre outros parâmetros.

Com respeito às ocorrências registradas, busca-se mostrar um pouco da experiência da empresa vivenciada ao longo dos anos de trabalho nestes equipamentos, evidenciando o que ocorreu, possíveis causas e o que foi feito.

PALAVRAS-CHAVE

Hidrogeradores – Projeto – Montagem – Manutenção – Usinas Hidráulicas - Ocorrências.

1.0 INTRODUÇÃO

A Tractebel é, atualmente, a maior empresa privada geradora de energia elétrica atuando no país. Possui ativos de geração compreendendo termelétricas a gás, óleo e carvão e hidrelétricas, além de estar investindo recentemente em novas tecnologias de geração a partir de fontes alternativas de energia. Um reflexo desta nova política de investimento da empresa tem sido a aquisição e construção de vários empreendimentos de geração. Entre eles pode-se citar a aquisição de dois parques eólicos no nordeste, além de PCH's no Mato Grosso e Minas Gerais. A empresa vem investindo, também, em biomassa de cana no interior de São Paulo, sendo que já possui know-how nesta área através da operação da Unidade de Cogeração Lages que produz energia através da biomassa da madeira. Além destes investimentos, a empresa vem concluindo a construção da Usina de São Salvador e Estreito em Tocantins, além de participar, através de sua controladora GDF-Suez, da construção da Usina de Jirau com mais de 3.000MW de potência instalada.

Seu corpo de técnico é formado por pessoas qualificadas, especializadas em sua área, formando uma massa crítica capaz de estudar problemas ocorridos em todas as suas unidades. Na unidade organizacional de manutenção hidráulica a empresa possui uma equipe de geradores bastante experiente que vem analisando aspectos de projeto e montagem de hidrogeradores há bastante tempo. Esta experiência tem consolidado o conhecimento destes equipamentos por parte destas equipes ao longo dos anos. O objetivo deste trabalho é mostrar um pouco destes conhecimentos de modo a identificar as principais características dos hidrogeradores existentes na empresa quanto as suas particularidades de projeto e montagem correspondendo estas informações com parâmetros determinados e com o histórico de ocorrências.

Especial atenção é dada, também, à modernização dos geradores da Usina de Salto Osório que tiveram o projeto

* TRACTEBEL ENERGIA / TMS-SE - Av. Paulo Santos Mello S/Nº, Capivari de Baixo - SC, CEP 88745-000
Fone: (048) 3621 4141 - Fax: (048) 3621 4006 / E-mail: paulohsf@tractebelenergia.com.br

totalmente modificado devido à proximidade do fim da vida útil das suas unidades e necessidade de solução às várias ocorrências registradas nestes equipamentos.

Neste novo ambiente vivenciado pelo setor elétrico no qual novos investimentos e projetos vem sendo executados, conhecimentos nesta área se tornam determinantes no exame crítico de projetos e escolha de fornecedores. Seu entendimento permite avaliar materiais utilizados e custos envolvidos em cada tecnologia, além de verificar não conformidades em montagens que podem impactar em manutenção e intervenções futuras nestes equipamentos.

2.0 ASPECTOS DE PROJETO E MONTAGEM DO ESTATOR

2.1 Carcaça

Uma das funções da carcaça é a de suportar o peso do núcleo e bobinas, transmitindo as forças magnéticas radiais e o torque da máquina para as fundações. O sistema responsável pelo suporte e compactação do núcleo sob as mais severas condições de funcionamento é denominado sistema de guia de empilhamento e aperto do núcleo. Este sistema pode estar contemplado em uma única estrutura ou em estruturas separadas. O projeto antigo das máquinas 1 a 4 da Usina de Salto Osório contemplava este sistema em uma única estrutura formada por tirantes soldados às prateleiras da carcaça. Tal sistema de aperto não se mostrou eficaz em manter a sua função ao longo do funcionamento da máquina, implicando, em consequência, em afrouxamentos, ondulações e vibrações generalizadas no núcleo estatórico, provocando trincas/quebra de lâminas e dedos de pressão, além de falhas na isolamento de barras do estator. O novo sistema desenvolvido no projeto de modernização destas máquinas contemplou tirantes guia e aperto separados sendo os tirantes guia em perfil rabo de andorinha soldados à carcaça via calços-guia e, os tirantes de aperto em perfil tubular não soldados à carcaça. Além disso, estes tirantes passaram a abranger um conjunto de molas-prato feitas de aço liga 6150 sobre os flanges superiores para garantir a confiabilidade do torque nominal aplicado ao núcleo mesmo após longos períodos de operação da máquina.

Adicionalmente, visando eliminar o problema de flambagem do núcleo do estator, o projeto original de ancoragem da carcaça ao concreto, que utilizava os pedestais apoiados em bases metálicas chumbadas ao concreto via chavetas de perfil tubular (2 por base), foi alterada por chavetas de perfil retangular. Os flanges de prensagem que contemplavam 6 tirantes foram, também, modificados e redimensionados para 2 tirantes por chapa, visando uma melhor uniformidade da pressão ao longo do núcleo.

Este novo sistema de guia e aperto, mostrado nas figuras abaixo, acompanhado das modificações citadas e realizadas na modernização, permitiu uma melhor distribuição de pressão no núcleo e, por não estar soldado na carcaça, possibilitou um aumento na pressão média no chapeamento, aumentando a segurança relativa a flambagem do núcleo, além de contribuir para a eliminação das ocorrências citadas.



Figura 1: Sistema de guia e aperto do núcleo do estator

Ainda referente à carcaça pode-se verificar uma característica de projeto que pode influir na confiabilidade da máquina. No projeto dos geradores da Usina de Cana Brava a cruzeta guia superior contemplava a ancoragem da mesma sobre a carcaça do estator, entretanto a rigidez dessa carcaça não era suficiente para absorver os esforços radiais normais do eixo transferidos para o mancal de guia quando da operação normal da unidade geradora. Isso acarretava deformações elásticas da carcaça e, conseqüente ampliação dos níveis de vibração do mancal de guia superior do gerador. Para corrigir esse problema, a rigidez da carcaça do estator foi reforçada, particularmente na região de apoio dos braços da cruzeta.

Especial atenção deve ser dada em novos projetos que contemplam este tipo de configuração já que as carcaças dos geradores da Usina de Machadinho apresentaram o mesmo problema. Há projetos como o de Salto Santiago e Ita que apresentam a cruzeta ancorada no concreto, transferindo os esforços do mancal guia do gerador para estas estruturas. Um sistema de enchavetamento da cruzeta sobre o suporte da carcaça, baseado em chavetas radiais semelhantes às empregadas nas bases da carcaça, podem ser utilizadas, também, de modo a absorver as vibrações do mancal de guia. Tal sistema é adotado no projeto dos geradores de São Salvador.

2.2 Núcleo

O núcleo é a parte magnética ativa do estator. Seu design envolve o cálculo de vários parâmetros, como produção de harmônicos, saturação magnética, entre outros. Aqui, a intenção não é explicar a otimização do cálculo destes parâmetros, mas sim, as particularidades de cada projeto e suas influências nestes parâmetros e no histórico de ocorrências. Um aspecto observado em projeto de geradores diz respeito aos dutos de ventilação do núcleo estático. Sabe-se que o número de espaçadores por duto na ranhura é proporcional ao número e largura dos dedos de pressão nos flanges de aperto inferiores e superiores do núcleo e à largura do dente. A figura a seguir ilustra esta relação.

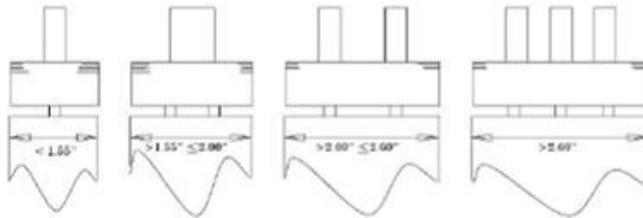


Figura 2: Relação entre espaçadores de dutos, dedos de pressão e largura dos dentes.

Levando-se em conta este aspecto minimizam-se variações na compactação ao longo do dente e possíveis deformações ou implicações na firmeza dos pacotes em função das vibrações naturais das máquinas. A compactação e altura dos dutos parecem menores nas extremidades das ranhuras do que no centro desta, gerando dúvidas quanto ao aperto dos pacotes durante uma montagem, mas baseado na experiência, respeitando os valores da figura acima, se consegue a compactação satisfatória do núcleo.

Ainda sobre os espaçadores de dutos vale ressaltar que geralmente são fabricados em material não magnético, preferencialmente o aço, para redução de perdas. No caso dos geradores 5 e 6 de Salto Osório e, dos geradores de Salto Santiago, esses componentes são fabricados em liga de alumínio e sua rigidez ao esforço de compressão não foi compatível com os esforços compressivos decorrentes dos respectivos torques nominais de projeto, implicando em sua deformação, redução na altura dos dutos de ventilação e queda acentuada nos torques nominais do núcleo, gerando afrouxamento e flambagem. A solução desse problema, após re-estudo do projeto e ensaios em campo, foi a implementação da redução do torque para 80% do torque nominal.

Na modernização do projeto dos geradores 1 a 4 de Salto Osório, objetivando eliminar o problema original de sobreaquecimento dos pacotes extremos em função do fluxo magnético de dispersão axial do rotor, foram implementadas as seguintes modificações: inserção de degraus nos pacotes extremos superiores e inferiores; aumento da altura nominal do núcleo do estator de 1500 mm para 1550 mm; ranhuramento longitudinal na face frontal das placas de pressão dos pólos; e rebaixamento radial na face frontal das placas de pressão dos pólos entre as barras amortecedoras (gaiola aberta).

Outras melhorias implementadas no núcleo do estator foram: montagem contínua do núcleo do estator, que no projeto original era seccionado em 06 partes, eliminando-se a causa de problemas de ondulações/vibrações nas suas junções; redução do número de dedos de pressão de 02 para 01 por pacote propiciando uma melhor uniformização da pressão nos pacotes; e redução na altura dos dutos de ventilação de 10mm para 06mm para aumentar a eficiência do sistema de ventilação.

2.3 Enrolamento

Quanto ao tipo de cunhagem das barras estáticas, o sistema consolidado na empresa é baseado em um conjunto de cunhas planas com calço e mola ("ripple spring"), porém sistema com cunhas e contra-cunhas com calços planos são, também, utilizados nos geradores da empresa. As vantagens do sistema de cunhagem "ripple spring" relativo ao sistema tradicional de cunhas e calços planos refere-se à compensação de afrouxamentos das barras estáticas, normalmente ocorridos nos primeiros anos de operação e, à facilidade futura de avaliações do estado de aperto das cunhas.

Outro aspecto diz respeito ao sistema de enchimento da ranhura para inserção das barras. Aqui várias tecnologias e processos são empregados caracterizando uma das maiores diversidades de projeto entre os fabricantes. A premissa é de que as barras devem ser inseridas sob interferência na ranhura e para isso enchimentos devem ser adicionados para que a barra fique firmemente presa nesta. Em um determinado sistema as ranhuras são preenchidas com enchimentos de borracha de silicone condutiva (CRTV) de rápida vulcanização colocados sob interferência no fundo da ranhura e entre as barras de topo e de fundo. Em outros, como os modernizados de Salto Osório, a forma de calçamento lateral das barras nas ranhuras consiste em pressionar a barra para uma das

laterais da ranhura e, inserir, no lado oposto, calços laminados de mica e fenolite condutivo, alternadamente. O procedimento utilizado em outros geradores, tais como os da usina Cana Brava, baseia-se no envelopamento da parte reta da barra com papel de grafite preenchido com massa de grafite inserindo-se esse conjunto na ranhura, sendo o excesso da massa condutiva expandida para o interior dos dutos de ventilação e para fora da ranhura para ser removido por processo manual. Este último procedimento é denominado “roundpacking”. Como se podem ver diferentes materiais e metodologias são utilizadas para este processo sendo que todos têm se mostrado satisfatórios no que diz respeito à garantia do contato elétrico e mecânico da barra contra as paredes da ranhura.

Quanto ao enrolamento estatórico e anéis de circuito diferenças de projeto foram verificadas nos geradores com implicações em questões de custos e manutenibilidade. Um aspecto importante diz respeito ao isolamento das conexões série. Alguns projetos contemplam o isolamento através de um composto termoendurecedor colocado em isoladores moldados de epóxi. Este composto é formado por uma mistura de araldite com elemento endurecedor em proporções pré-definidas. Analisando esta tecnologia de aplicação com outras empregadas em outros geradores da empresa podemos verificar um custo relativo considerável. Os geradores da Usina de Cana Brava, por exemplo, apresentam a isolamento bastante simples, dispensando o uso de resinas, o que permite uma economia em relação ao uso de materiais, uma melhor ventilação, além da facilidade de inspeção. A foto a seguir ilustra a diferença entre estes tipos de isolamento.



Figura 3: Isolamento e conexão dos lides das barras estatóricas.

Outra diferença de projeto diz respeito, também, a questões de custo e manutenibilidade. Alguns geradores são construídos com conexões dos anéis de circuito soldadas enquanto outros possuem conexões aparafusadas como ilustrado nas fotos a seguir.

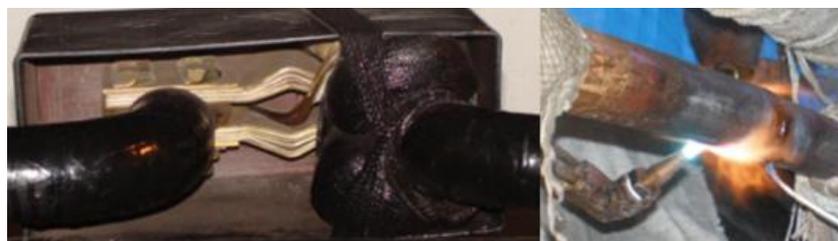


Figura 4: Conexões dos anéis de circuito.

Conexões aparafusadas permitem acesso a reparos e substituição de elementos defeituosos de modo mais simples e econômico em relação a conexões soldadas, possibilitam compensação do efeito da expansão térmica dos anéis de circuito, além do que, sua montagem é mais simples, necessitando de menos energia no processo e menos materiais.

Uma ocorrência nos anéis de circuito foi registrada nos geradores reformados de Salto Osório. Na ocasião desta reforma os estatores destas unidades tiveram os projetos totalmente modificados, alterando o número de ranhuras (612 para 468), número de circuitos paralelos (4 para 3), sistema de ventilação, sistema de guia e aperto do núcleo, entre outros. Porém, o novo projeto do sistema de ventilação não levou em consideração a eficiência na retirada do calor dos anéis de circuito causando sobreaquecimento e conseqüente danos na isolamento destas estruturas. A solução foi a reconfiguração das distribuições circunferencial e axial dos anéis de circuito de modo a permitir uma maior área de circulação de ar. Este serviço foi executado após a retirada dos anéis através de dispositivo de içamento e recomposição de sua isolamento.

Ainda sobre características de projeto relacionadas com o sistema de ventilação, pode-se citar uma particularidade observada nos geradores de Cana Brava. Neles os defletores de ar isolantes ficavam encostados nas bobinas do estator, porque o seu projeto não contemplava, como em outros geradores da empresa, comprimentos de dentes dos flanges de aperto diferenciados. Durante operação, esses defletores roçavam na face das barras de topo na saída das ranhuras provocando desgaste no isolamento. Para corrigir esse problema foram colocadas como

solução almofadas de feltro dacron coladas com resina epóxi nas faces de barras de topo como mostrado na figura. Esta solução, no entanto, é limitante quanto a aspectos de manutenibilidade.



Figura 5: Roçamento das guias de ar no enrolamento e solução empregada.

Projetos com dentes dos flanges de aperto diferenciados evitam o contato da guia com as barras de topo uma vez que os dentes onde os defletores de ar isolantes são fixados apresentam comprimento maior do que os demais. Há uma diversidade de projetos que, também, não contemplam dedos de pressão com tamanho diferenciado, mas são instalados materiais mais sofisticados para proteção das bobinas. Na Usina de Machadinho, por exemplo, é utilizado um salsichão de fibra de vidro amarrado às barras de topo, já em Salto Santiago utiliza-se borracha resistente à temperatura e ao ozônio rebitada com material não magnético às guias de ar isolante, que fica em contato com a proteção isolante das barras.

Quanto à fixação dos anéis de surto pode-se observar várias concepções. As figuras a seguir ilustram estas concepções. Alguns geradores, como os da Usina de Itá, não apresentam suportes para os anéis. Nos geradores de Salto Osório os suportes não são soldados nas chapas de prensagem superiores como em São Salvador; eles são aparafusados nas placas de prensagem com possibilidade de ajuste radial e facilidade de desmontagem em caso de reaperto do núcleo do estator quando esses suportes devem ser removidos para evitar esforços indevidos nas cabeças de bobinas superiores.



Figura 6: Suportes do anel de surto nos flanges.

Outro aspecto diferenciado de projeto diz respeito às amarrações das barras estatóricas. Os geradores de Cana Brava compreendem uma concepção de amarração bastante distinta das aplicadas nos outros geradores da empresa. Em praticamente todos os geradores as amarrações são feitas mediante um cordão paralelo (meada de roving) de fibra de vidro impregnado com resina epóxi. Dependendo da localização usa-se um enchimento de feltro sintético impregnado para reforçar a ancoragem. O feltro junto com a amarração forma um bloco cuja principal função é distribuir os esforços sobre o isolamento, evitando concentrações em áreas reduzidas. Os geradores de Cana Brava não utilizam este sistema de amarração. O método utilizado é bem mais simples como ilustrado na figura. Nesse caso a inspeção quanto ao estado de aperto dos mesmos restringe-se a inspeção visual, pois o método de percussão pode provocar deslocamento dos mesmos.



Figura 7: Amarrações das barras estatóricas.

Ainda falando sobre a Usina de Cana Brava verificou-se um problema generalizado de corona nos enrolamentos estatóricos. A principal causa constatada para esta ocorrência se deveu ao desempenho precário do verniz de grating, causado por falta de controle na granulometria do carbetto de silício. Em substituição ao verniz original foi utilizado fita de grating SIB 217.31. Mesmo após esta substituição o problema de corona persistiu. Análises posteriores da fita de grating SIB 217.31, removida do gerador 1, comprovou que a causa desses problemas estava relacionada ao início do processo de degradação dessa fita, quando da sua estocagem na usina em área comum com solventes e tintas. Nesta ocorrência pôde ser visto como a qualidade e estocagem dos materiais puderam afetar de maneira consistente o funcionamento da máquina. Um novo sistema de proteção de corona tinta/fita a ser aplicado no campo, utilizando fita de grating em estágio B de cura será aplicado em um dos geradores da usina Cana Brava no 1º semestre de 2009.

Os geradores 1 a 4 da usina Salto Osório apresentaram, desde os primeiros anos de operação, problemas de corona interno e externo à ranhura dos enrolamentos dos estatores dos geradores, cujas causas principais estavam vinculadas à deficiência no aterramento das barras nas ranhuras (uso apenas do envelopamento da barra com papel grafitado) e ao sobreaquecimento dos pacotes extremos do estator. As inspeções de corona realizadas nos geradores 1 a 4 desde a modernização do projeto desses geradores, até o presente, não mais revelaram indícios desse fenômeno.

3.0 ASPECTOS DE PROJETO E MONTAGEM DO ROTOR

Os rotores de geradores hidráulicos são constituídos basicamente pelas seguintes estruturas: cubo, aranha, coroa polar e pólos e enrolamento de campo. Uma pista de frenagem é montada na aranha ou coroa polar, enquanto uma gaiola amortecedora, a depender do projeto, é montada na face dos pólos.

3.1 Aranha

A aranha é fabricada em seções constituídas de chapas de aço soldadas. É interessante que as seções da aranha sejam simétricas de modo a permitir uma dilatação uniforme quando em operação. Os geradores 5 e 6 de Salto Osório tiveram o projeto da aranha composto de 03 peças, uma em forma retangular com as extremidades em meia lua e, as outras duas partes em forma de meia-lua. A montagem dessas três peças deveria resultar em um conjunto cubo/aranha cilíndrico, porém a falta de simetria entre si das duas peças em meia-lua resultou em um conjunto cubo/aranha ovalizada. Devido a essa não-conformidade, os raios do rotor, após montagem da coroa polar e pólos, não foram idênticos. Em operação, essa forma ovalizada do rotor tem gerado, na tensão terminal do gerador, componente de dupla freqüência, que não tem comprometido o desempenho operacional desses geradores.

3.2 Coroa Polar

Relativos aos requisitos mecânicos de projeto da coroa polar, destacam-se o sistema de aperto, a influência determinante na obtenção do GD^2 da máquina, a suportabilidade à velocidade de disparo da unidade e, a influência no sistema de ventilação do gerador (coroa ventilada ou não ventilada), além das particularidades quanto aos procedimentos da sua montagem no conjunto cubo/aranha (sistema de enchavetamento).

Neste aspecto as principais particularidades encontradas se referem aos projetos dos geradores 5 e 6 de Salto Osório e os geradores de Salto Santiago. No caso de Salto Osório o sistema de enchavetamento é realizado sob interferência como todos os outros geradores da empresa, exceto Salto Santiago. Este processo se caracteriza pela expansão radial da coroa por aquecimento para inserção de chavetas. Após o resfriamento da estrutura, estas chavetas são comprimidas entre a estrutura da aranha e coroa garantindo a fixação das duas estruturas. Porém, a diferença que o sistema de Salto Osório apresenta em relação aos outros geradores diz respeito ao uso de um sistema de chavetas especiais tipo molas colocadas axialmente junto com calços e cunhas nos espaços entre os braços da aranha e coroa polar. Quando da expansão da coroa polar devido aos esforços centrífugos durante operação da unidade geradora, a interferência coroa polar-aranha é mantida pela expansão das chavetas tipo mola. Trata-se de um sistema de alto custo e pouco utilizado, já que sistemas de chavetas chanfradas simples realizam a função de fixação da aranha/coróa de modo satisfatório e com custos bem menores.

Já os geradores de Salto Santiago apresentam um projeto totalmente diferente dos observados em todos os outros geradores da empresa. Primeiramente este sistema não contempla interferência por aquecimento. Ele é formado por um conjunto de chavetas dispostas nas partes superiores e inferiores dos braços da aranha como mostrado nas figuras.



Figura 8: Sistema de enchavetamento da coroa dos geradores de Salto Santiago.



Figura 8 – (a): Detalhes do sistema de enchavetamento da coroa dos geradores de Salto Santiago.

Este sistema foi desenvolvido devido ao fato de que a coroa não é retirada pelo dispositivo de içamento em face de seu peso. Ela fica fixada em sua posição sobre os macacos de freio enquanto somente a aranha ou o estator são içados. Aliás, a pista de frenagem localizada na coroa é outra particularidade de projeto, já que todos os outros geradores da empresa apresentam esta estrutura na aranha.

3.3 Pólos e Enrolamento de Campo

Analisando as características de projeto e montagem dos pólos e enrolamento de campo podem-se obter algumas conclusões a respeito de aspectos como manutenibilidade, custos e ocorrências observadas ao longo da vida útil da máquina.

Nos geradores 1 a 4 de Salto Osório foi verificada uma ocorrência na interligação das bobinas dos pólos na qual as espiras, próximas ao quadro isolante e ao suporte da interligação das bobinas, sofreram um deslocamento devido ao esforço centrífugo sobre estas, principalmente, no ensaio de sobrevelocidade.



Figura 9: Interligação das bobinas dos pólos.

Acredita-se que tal abertura se deveu à rigidez da isolamento na interligação das bobinas, caracterizada por uma região de pouca flexibilidade para o trabalho da estrutura. Antes que o acúmulo de sujeira nestes espaços pudesse gerar condução entre as espiras, foi colocada como solução, o preenchimento destes espaços com silicone e o alívio da isolamento nas extremidades da interligação das bobinas, deixando-as isoladas somente na face reta de seu suporte. Com isso espera-se que esta região absorva os esforços centrífugos que estavam sendo submetidos sobre as espiras do pólo.

Ainda sobre os geradores de Salto Osório e a modernização realizada em suas estruturas, podem-se citar algumas mudanças contempladas nos pólos. Nesta ocasião foi executada, conforme já citado, a usinagem das placas de aperto dos núcleos polares como uma das medidas para solucionar o problema de sobreaquecimento dos pacotes extremos do estator que não eram dispostos em degraus. O escopo do contrato contemplava, também, a reisolação dos pólos, além da inserção de calços metálicos entre as chavetas móveis e a coroa polar,

essa última medida executada para solucionar a extrema dificuldade de remoção dos pólos do rotor, desde que no projeto original não existiam esses calços.

Outra ocorrência na região dos pólos, agora registrada nos geradores da Usina de Ponte de Pedra, impôs grandes danos ao gerador. Por ser um gerador de alta velocidade (> 500 rpm), a região interpolar possui calços isolantes suportes que impedem a abertura das bobinas durante o funcionamento da máquina, tais como a figura abaixo.



Figura 10: Conexão interpolar dos geradores de Ponte de Pedra.

O problema ocorreu devido a um erro de montagem, em que estas estruturas foram montadas na sua posição invertida. Isto fez com que, a cada procedimento de partida e parada da máquina, esta peça deslocasse de sua posição por gravidade até se soltar completamente provocando um sinistro resultando na danificação de todos os pólos e de algumas barras de topo pelo impacto desses componentes com os pólos e barras estatóricas.

Ainda com respeito ao enrolamento de campo, o que se verifica nos geradores da empresa, são pólos com ligações das bobinas tanto soldadas quanto aparafusadas. No entanto conexões soldadas não são aconselháveis em novos projetos devido ao fato de que dificultam a desmontagem para inspeção e manutenção nas estruturas das máquinas. Outro aspecto é a existência de rotores constituídos tanto de pólos iguais como diferentes em relação à ligação para determinação do sentido magnético. Pólos iguais, também, são mais aconselháveis, pois requerem menos sobressalentes e exigem uma montagem mais fácil.

4.0 CONCLUSÕES

O estudo dos aspectos de projeto e montagem de geradores é de extrema importância no domínio destes equipamentos. Permite obter análises críticas sobre cada tecnologia aplicada nos diversos sistemas que compõem as estruturas do gerador e as possíveis implicações que tais tecnologias podem acarretar na vida útil do gerador e no histórico de ocorrências. Além disso, podem-se obter relações que possíveis montagens mal executadas ou materiais mal aplicados podem implicar no gerador de acordo com a experiência acumulada ao longo dos anos pelas equipes de manutenção.

Principalmente, nos geradores 1 a 4 da Usina de Salto Osório pôde-se concluir como um projeto mal especificado contribuiu para a diminuição da vida útil do gerador optando-se pela modernização com modificação total dos sistemas do estator, além do sistema de ventilação.

Nos geradores de Ponte de Pedra, por exemplo, pôde-se verificar, também, como uma montagem mal executada comprometeu toda a estrutura do gerador na ocorrência citada no trabalho.

Outros projetos puderam ser comparados de modo a quantificar características como custos e manutenibilidade entre as diversas tecnologias aplicadas. Uma simples conexão soldada de um pólo, por exemplo, pode ter implicações na manutenibilidade que podem aumentar o tempo de uma parada consideravelmente em relação a uma conexão aparafusada.

Todos estes aspectos são importantes para avaliação de novos projetos e supervisão de montagem de modo a garantir a qualidade dos materiais e processos empregados e consolidar a análise crítica das tecnologias aplicadas nos diversos sistemas destes equipamentos. Deste modo pode-se evitar ocorrências nestes equipamentos e vida útil prolongada, obtendo geração ao menor custo.

5.0 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) BOLDEA, I. Synchronous Generators. Taylor & Francis Group;
- (2) NICOLINI, A. C. Revitalização dos Geradores da UHSO. 1º Seminário de Geração da Tractebel Energia;
- (3) WALKER, J. H.; ROGRES, G.J.; JACKSON R.L. Pressing and Clamping Laminated Cores;
- (4) MARTINEZ, M. L. B. Estrutura da Matéria, Materiais Condutores e Isolantes. Universidade Federal de Itajubá;
- (5) FITZGERALD A. E. Electric Machinery. McGraw-Hill 6th Edition;