



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

FI/GGH/14
18 a 21 de Outubro de 2015
Foz do Iguaçu - PR

GRUPO - I

GRUPO DE ESTUDO GERAÇÃO HIDRÁULICA- GGH

A EXPERIÊNCIA DA VOITH HYDRO COM O ENVELHECIMENTO DA ISOLAÇÃO

Dr. Marcelo Jacob da Silva(*) Dra. Camila dos Santos Gonçalves Fernando Pereira Dr. Tomás Erikson Lamas João Fiorini Cordeiro Ma. Tamy Aoki Koreeda Egidio Faria Thomas Hildinger

VOITH HYDRO LTDA

RESUMO

Barras estatóricas foram avaliadas sistematicamente quanto a seu envelhecimento em condições de teste e operação. Métodos de envelhecimento acelerado conduzidos no laboratório permitiram verificar que o sistema de isolamento Micalastic® não sofre alterações significativas quando submetido aos esforços típicos de ensaios elétricos, térmicos ou termomecânicos comumente praticados pela indústria. Em complemento ao estudo, componentes retirados de hidrogeradores que operaram por longos períodos em regime cíclico e em regime de base permitiram investigar os efeitos do envelhecimento após condições reais de trabalho. Os resultados indicam que o regime de operação reversível não necessariamente cria efeitos relevantes de degradação na interface cobre-isolação enquanto o regime de operação de base, intuitivamente considerado mais seguro no longo prazo, pode – em algumas situações – causar severa degradação do sistema de isolação.

PALAVRAS-CHAVE

Isolação, Envelhecimento, Ciclo térmico, máquina reversível, regime de base.

1.0 - INTRODUÇÃO

Apesar de recorrente, o tema *envelhecimento de isolação* de grandes máquinas rotativas é ainda controverso e objeto de intenso debate. O presente trabalho abordou esse assunto através do estudo sistemático de barras Roebel envelhecidas em condições de laboratório e também em condições reais de operação.

Os estudos de envelhecimento realizados em laboratório normalmente utilizam os chamados ensaios de envelhecimento acelerado onde um, ou mais esforços, são criados e mantidos ao longo do tempo em componentes individuais como fonte de envelhecimento. Tais esforços podem ser de natureza elétrica, térmica, termomecânica, mecânica ou qualquer combinação entre eles. No presente estudo o envelhecimento puramente elétrico "acelerado" foi realizado através de uma série de ensaios de tensão elevada, onde cada componente foi mantido sob um estresse elétrico muito superior àquele experimentado em operação, criando assim a "aceleração" do envelhecimento. O desempenho, para uma condição fixa de "aceleração" (kV/mm fixo), foi então medido através do tempo necessário para o rompimento da isolação pela erosão elétrica. O envelhecimento puramente térmico foi estudado através do tratamento em estufa de amostras de isolação em diferentes temperaturas, cada uma delas mais elevada que as esperadas em operação, criando assim, a fonte de "aceleração" térmica do envelhecimento. Nesse caso, o desempenho foi medido através da quantificação da massa de material orgânico (resina) degradada durante o esforço térmico. Por fim, o envelhecimento termomecânico foi estudado através da criação de sucessivos ciclos de aquecimento e esfriamento induzidos pela passagem de corrente elétrica controlada através da seção transversal de barras de teste. Centenas de ciclos de temperatura, realizados sucessivamente em uma faixa de variações superior à esperada em regime de operação, foram usados como fator de "aceleração" termomecânica.

(*) Rua Friedrich von Voith, n° 825 – CEP 02995-000 São Paulo, SP – Brasil
Tel: (+55 11) 3944-5049 – Fax: (+55 11) 3944-4813 – Email: marcelo.jacob@voith.com

Entre as várias formas possíveis de se procurar mensurar os efeitos de tal esforço, ensaios elétricos quantitativos (descargas parciais e fator de dissipação) e também medições qualitativas da força de adesão isolamento-cobre foram as técnicas escolhidas.

O estudo realizado em barras originais envelhecidas em regime de operação foi usado para complementar as avaliações de laboratório, tendo como grande diferencial o uso de objetos envelhecidos ao longo de décadas de operação submetidos aos mecanismos de envelhecimento reais. Nessa parte da análise procurou-se obter máxima abrangência utilizando componentes removidos de importantes geradores que operaram ou em regime de base ou então em regime reversível (motor ou gerador alternadamente no mesmo equipamento). Desse modo, abordaram-se duas condições comuns, porém distintas, quanto aos possíveis esforços de envelhecimento predominantes no longo prazo.

A possibilidade de estudar barras estatóricas envelhecidas nos regimes cíclico e de base, combinada ao estudo de barras envelhecidas em laboratório, permitiu ao presente trabalho uma abordagem sistemática do tema.

2.0 - ENVELHECIMENTO DA ISOLAÇÃO ATRAVÉS DE MÉTODOS DE LABORATÓRIO

O sistema de isolamento Micalastic® praticado pela Voith Hydro foi utilizado no estudo de laboratório para a caracterização do envelhecimento através de testes elétricos, térmicos e termomecânicos. O Micalastic® é um sistema mica-epóxi no qual a construção da isolação de alta tensão se dá através de três etapas principais: i) aplicação automática das camadas de fita de mica, ii) impregnação com resina epóxi em ciclo de vácuo e pressão e iii) cura em estufa. Para os estudos de envelhecimento puramente elétrico e puramente térmico, foram utilizadas barras Roebel “de laboratório” que diferem de barras originais de geradores reais apenas quanto a sua conformação, pois são construídas a partir de segmentos Roebel (fios de cobre isolados e transpostos) retilíneos e não possuem as curvas e frontais típicos de barras “reais” de geradores. Quanto ao design de isolação, foram utilizadas seções transversais e espessuras de isolação tipicamente encontradas em barras originais para geradores refrigerados a ar de tensão nominal de 13,8 kV. As proteções de corona utilizadas (de ranhura e de cabeça de bobina) foram as mesmas utilizadas modernamente para a construção de geradores, baseadas em fitas condutivas e semicondutivas.

2.1 Envelhecimento Elétrico

A técnica de ensaio de envelhecimento “acelerado” puramente elétrico baseou-se nos procedimentos de teste das normas IEEE 1043 [1] e IEEE 1553 [2], onde os componentes são submetidos a um esforço elétrico superior ao esperado em operação, ao qual devem suportar por um intervalo de tempo mínimo pré-determinado de 250h ou 400h dependendo do nível de estresse do teste. No presente estudo, no entanto, os testes foram mantidos para quatro diferentes níveis de esforço elétrico (ao invés de apenas dois) e por um intervalo de tempo suficientemente longo para que todos os objetos de testes fossem eletricamente rompidos (ao invés um tempo mínimo pré-determinado). Com esse procedimento se estabelece a “curva de vida” elétrica dos componentes. A figura 1 apresenta os resultados experimentais obtidos através do ensaio até ruptura de 22 barras distribuídas nos níveis de esforço elétrico de 11,5 kV/mm; 15,5 kV/mm; 31 kV/mm e 36 kV/mm. Para guiar a interpretação, os resultados da figura 1 são comparados no gráfico (linha pontilhada) às condições de referência utilizadas nas duas rotinas de teste prescritas segundo a norma IEEE 1553, onde os tempos mínimos para ensaios em 2,17 e 3,53 vezes as tensões nominais devem ser 400h e 250h, respectivamente. Os resultados mostram que os tempos de vida em envelhecimento elétrico atingidos são confortáveis em relação às práticas consideradas satisfatórias na indústria. Não é possível extrapolar a curva do gráfico da figura 1 para níveis de estresse semelhantes aos encontrados em operação (2-3kV/mm) com o objetivo de estimar a vida residual ou esperada de um conjunto de barras estatóricas por duas razões principais: i) em operação o estresse elétrico é combinado com outros esforços (térmico, mecânico, etc), e ii) mesmo que o esforço fosse puramente elétrico ainda assim não se saberia ao certo se a redução da intensidade do esforço (menores kV/mm) não alteraria o mecanismo de envelhecimento dominante no teste. Apenas como exercício, no entanto, uma extrapolação da curva da figura 1 para esforços de operação na vizinhança de 3 kV/mm produziria tempos de vida elétrico da ordem de centenas a milhares de anos. Mesmo que possivelmente irreal quanto à precisão numérica, tais ordens de grandeza encontradas para tempos de vida puramente elétrico em modernos sistemas de isolação são intuitivamente consistentes com o fato de essas isolações serem essencialmente compostas por mica que é um mineral sabidamente muito resistente à erosão puramente elétrica.

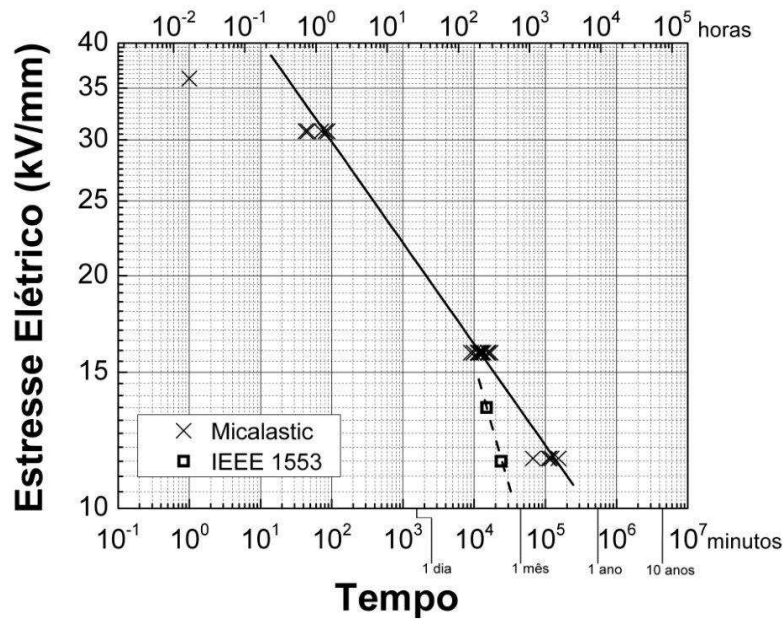


FIGURA 1 – Curva de “tempo de vida puramente elétrico” para as barras Micalastic® de laboratório (linha contínua). Como referência, foram incluídos os dois pontos de referência encontrados segundo os critérios da IEEE 1553 (linha pontilhada).

2.2 Envelhecimento Térmico

A avaliação em laboratório dos efeitos do envelhecimento puramente térmico sobre as propriedades do sistema de isolamento foi realizada tendo como referência os procedimentos de teste descritos no conjunto de normas IEC 60216 [3]. Diferentemente do que acontece no ensaio de envelhecimento puramente elétrico, onde o “tempo de vida elétrico” é uma medida direta e bem definida do tempo necessário para a erosão elétrica romper completamente o volume de isolamento, para o envelhecimento térmico não há uma ocorrência bem determinada que marque inequivocamente o final da “vida” do sistema sendo testado. Conceitualmente, o envelhecimento térmico se baseia na exposição de amostras de isolamento a rotinas de envelhecimento térmico (aquecimento por certo intervalo de tempo) seguida da mensuração das alterações em alguma propriedade considerada relevante para a caracterização do material isolante. Especificamente para os sistemas de isolamento de alta tensão em geradores é comum se caracterizar a isolamento termicamente através da perda de massa causada pelo envelhecimento térmico. Apesar de não haver um padrão exato na indústria, a perda de massa de 3% é o mais comumente aceito como referência para a caracterização da degradação térmica. A Figura 2 apresenta os resultados da curva de envelhecimento puramente térmico para 3% de perda de massa. A extrapolação da curva para o tempo de envelhecimento específico de 20.000 h dá origem ao chamado índice térmico (a partir da perda de massa), determinado como sendo 168 °C nesse experimento. Assim como discutido para o caso da curva de envelhecimento elétrico da seção anterior (Figura 1), não se pode, com rigor, extrapolar a curva de envelhecimento térmico para temperaturas próximas as encontradas em operação uma vez que os pontos experimentais efetivamente utilizados para a obtenção da curva envolvem temperaturas muito maiores que as tipicamente encontradas em operação. No entanto, apenas como exercício, o gráfico da Figura 2 apresenta essa extrapolação para sugerir que perdas de massa da ordem de 3 % em temperaturas de operação envolveriam escalas de tempo da ordem de centenas de anos.

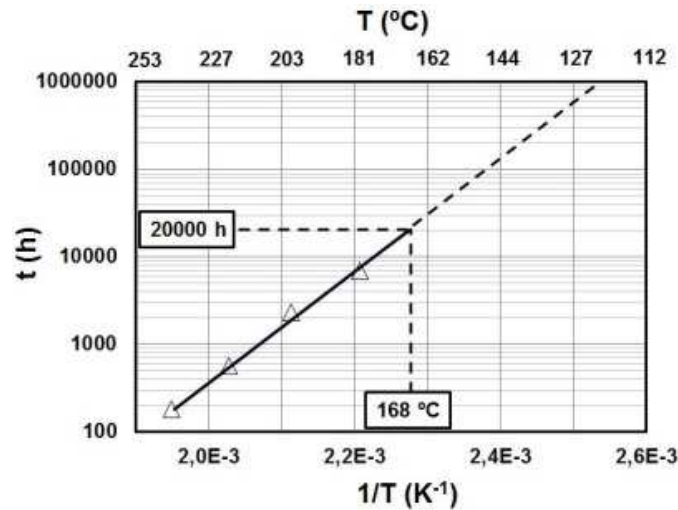


FIGURA 2 – Curva de “tempo de vida puramente térmico” para as barras Micalastic® de laboratório segundo o critério de 3% de perda de massa. O rigor do teste e seu procedimento seguiram os recomendados no grupo de normas IEC 60216.

2.3 Envelhecimento Termomecânico

O método utilizado para a criação do esforço de envelhecimento termomecânico foi aquele descrito na IEEE 1310 [4]. Nesse ensaio os objetos de teste são instalados numa ligação em série sobre uma câmara de circulação de ar (“plenum”). O arranjo completo é aquecido a partir da temperatura inicial de referência de 40 °C até a temperatura máxima de 155 °C através da passagem de corrente elétrica. Quando a temperatura no cobre atinge 155 °C a corrente elétrica de aquecimento é interrompida e o sistema de ventilação da câmara de ar é ativado para promover o resfriamento, criando assim um ciclo térmico completo de aquecimento-resfriamento (40 °C-155 °C-40 °C). No presente experimento o ciclo foi repetido sucessivamente por 500 vezes para promover o efeito de envelhecimento.

Como o mecanismo de envelhecimento que se deseja investigar pode depender da forma exata das barras (comprimento, conformação, seção transversal, etc.) optou-se por utilizar barras novas e originais de um gerador com tensão nominal de operação de 16,5 kV ao invés de se utilizar barras Roebel de teste de laboratório, como feito para os envelhecimentos puramente elétrico e térmico discutidos nas seções anteriores. Os possíveis efeitos do esforço termomecânico foram avaliados inicialmente através de ensaios elétricos típicos como medições do fator de dissipação e descargas parciais. Como tais ensaios não são destrutivos, eles puderam ser realizados antes e também após o envelhecimento termomecânico, permitindo assim uma comparação entre o desempenho inicial e aquele posterior ao esforço. O gráfico da figura 3a apresenta os resultados da máxima variação do fator de dissipação (FD) calculada em intervalos de 20% da tensão nominal (“tip-up” do fator de dissipação) e a figura 3b apresenta os resultados obtidos para a medição de descargas parciais (DP). Em ambos os casos os resultados sugerem que a estrutura do volume de isolamento não foi afetada ao ponto de produzir alterações relevantes no desempenho elétrico - à luz do fenômeno de descargas parciais. Estatisticamente, as distribuições de valores de fator de dissipação e descargas parciais antes e depois do esforço termomecânico repetitivo não foram muito alteradas como resultado de qualquer efeito que possa ter sido causado pelos sucessivos ciclos térmicos.

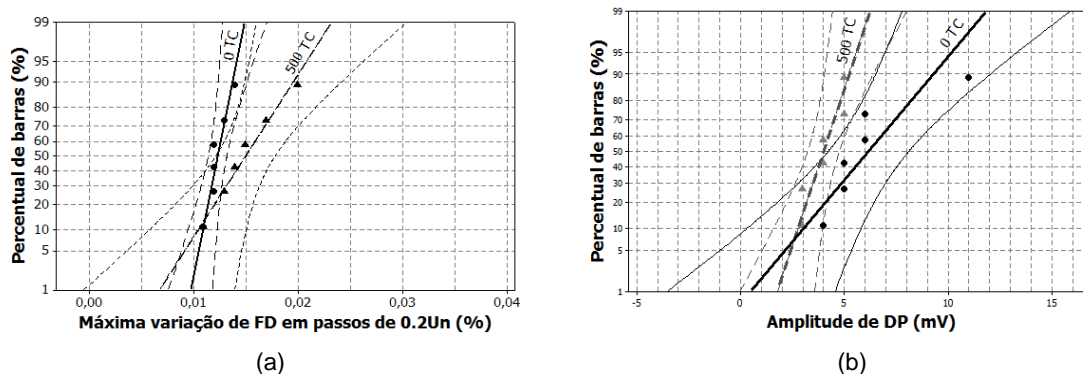


FIGURA 3 – Resultados das medições de (a) máxima variação de FD e (b) amplitude de DP para o conjunto de barras testado no ensaio de ciclo térmico. As curvas indicadas como “0 TC” representam medições realizadas nas barras antes do envelhecimento termo-mecânico.

Entre os possíveis danos que o envelhecimento termomecânico pode causar ao componente está a perda de coerência da interface cobre-isolação. Teoricamente, as diferenças entre os coeficientes de expansão térmica do cobre e da isolação devem produzir na interface com os dois materiais esforços mecânicos cíclicos acompanhando cada um dos ciclos de aquecimento-esfriamento do teste.

Durante o processo de fabricação das barras estatóricas, a isolação é consolidada ao cobre em alta temperatura ($\sim 140^\circ\text{C}$) de modo que o estresse mecânico de cisalhamento na interface cobre-isolação é mínimo na vizinhança dessa temperatura. Se a temperatura do componente é reduzida em direção a temperatura mais baixa do ciclo de envelhecimento (40°C) a interface cobre-isolação se “afasta” continuamente da condição de sua consolidação original criando assim uma elevação da tensão de cisalhamento durante o resfriamento. Por esse mecanismo, um efeito de degradação da interface por estresse mecânico pode ser gerado e – ao menos hipoteticamente – contribuir para a perda da coerência da interface cobre-isolação.

Entre as várias formas de se avaliar os efeitos dos sucessivos ciclos térmicos sob a qualidade da interface cobre-isolação, o presente trabalho optou pelo desenvolvimento de um método que pudesse avaliá-la globalmente em oposição a métodos de avaliação local, como dissecações, análises microscópicas em amostras de seção transversal da barra ou ensaios de percussão (“*coin-test*”). O método desenvolvido se vale exatamente da diferença de contração entre o cobre e a isolação quando a barra está em temperatura ambiente (e, portanto, distante da temperatura na qual foi consolidada). A figura 4 ilustra esquematicamente o conceito do teste: inicialmente em temperatura ambiente existe um equilíbrio na interface, no qual o cobre é mantido pela isolação em um comprimento superior àquele que adotaria se estivesse livre para contrair (figura 4 superior). Se a parte superior da isolação é removida, a interface deixa de existir naquela região e o cobre – ao menos em um dos lados – é permitido contrair-se (figura 4 do centro). Como resultado de tal contração em um dos lados e manutenção da tensão no lado oposto, a barra tende a vergar como mostrado na figura 4 (centro). A envergadura é, portanto, uma indicação direta da existência de coesão entre cobre e isolação na interface oposta, mantida coerente. Quando a segunda metade da isolação é finalmente removida (figura 4 inferior) não há mais qualquer restrição à contração livre do cobre, que retorna a forma retilínea (porém, mais curto).

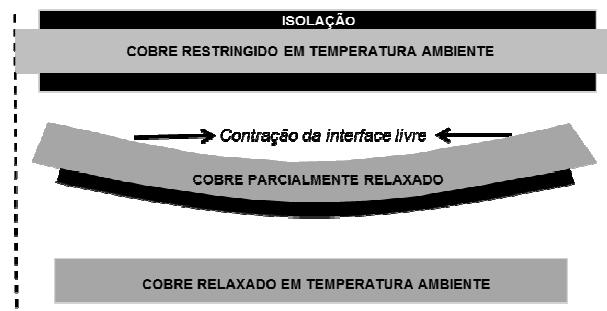


FIGURA 4 – Ilustração do método de avaliação da interface cobre-isolação, mostrando a tendência de envergadura da barra estatórica quando uma parte da isolação é removida e a parte oposta mantém uma boa adesão ao cobre.

O método ilustrado pela figura 4 foi aplicado nas barras envelhecidas através de ciclos térmicos como meio de avaliação da interface junto ao cobre. A figura 5 ilustra a condição após a remoção de um dos lados da isolação. Na figura, existem duas barras, uma delas não envelhecida (referência) e uma envelhecida através de 500 ciclos térmicos de 40°C a 155°C . Como pode ser observado, a curvatura em ambos os casos é semelhante, indicando que o envelhecimento termomecânico realizado não afetou severamente a coerência da interface cobre-isolação.

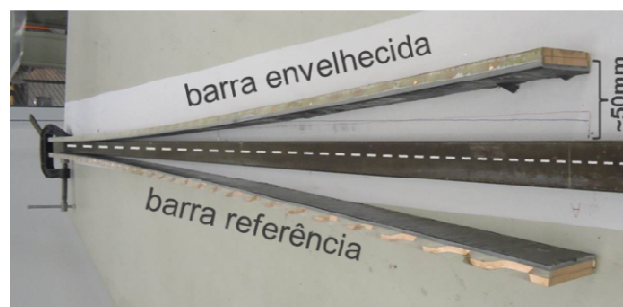


FIGURA 5 – Resultado da aplicação do método ilustrado na figura 4 em uma barra previamente submetida a 500 ciclos térmicos (barra de cima) e uma barra não envelhecida (barra de baixo).

3.0 - ENVELHECIMENTO DA ISOLAÇÃO EM OPERAÇÃO

Barras estatóricas que operaram nos regimes cíclico e de base foram removidas dos geradores após longo período de serviço para servirem de objetos de teste no presente trabalho. Apesar das tecnologias de isolação usadas terem sido provenientes de dois diferentes fabricantes, em ambos os casos (equipamento reversível e de base) se utilizou sistemas de isolação mica-epóxi. Até a data da retirada das barras, o moto-gerador do qual se obteve as barras que operaram em regime reversível não havia apresentado falhas ou qualquer evidência de envelhecimento precoce do sistema de isolação. Por outro lado, o gerador a partir do qual foram obtidas as barras do regime de base havia apresentado falhas em operação e suspeitas de degradação da isolação, conforme informado pelo operador do equipamento. Em ambos os casos as avaliações das quais tratam as seções 3.1 e 3.2 a seguir, procuraram aplicar o método descrito na seção 2.3 para investigar a condição atual da interface cobre-isolação.

3.1 Regime Reversível

Entre os pontos mais incertos a respeito da forma com a qual sistemas de isolação se desgastam em resposta à ação de esforços em regime real de operação, destaca-se a questão específica dos esforços termomecânicos presentes em grandes moto-geradores ventilados a ar e que operam em regime cíclico e reversível. Tais equipamentos podem ser ligados e desligados repetidamente em um mesmo dia de trabalho ao longo de décadas de operação. Uma vez que os sucessivos processos de liga-desliga criam ciclos de aquecimento e esfriamento do enrolamento estatórico, especula-se que esforços mecânicos cíclicos de cisalhamento possam contribuir no longo prazo para um envelhecimento prematuro do sistema de isolação em comparação ao que se encontraria para máquinas semelhantes operando em regime de base.

Os resultados da seção 2.3 sugerem – a luz dos ensaios de laboratório - que tal esforço repetitivo pode não implicar necessariamente em um mecanismo real de degradação em regime de operação. No entanto, a avaliação de barras estatóricas que, de fato, operaram em tal regime, representa uma excelente oportunidade de se investigar esse tema em maior profundidade. A tabela 1 apresenta as informações que caracterizam o moto-gerador a partir do qual as barras de estudo do regime reversível foram retiradas.

TABELA 1 – Informações do moto-gerador reversível

Potência (MVA)	447
Tensão Nominal (kV)	20
Comprimento do estator (mm)	2870
Tempo em operação (anos)	10
Número de partidas e paradas	> 10.000
Temperatura RTD (°C)	~100

Conforme a tabela 1, as barras investigadas a partir do regime de operação reversível equiparam o moto-gerador durante uma década atingindo uma quantidade de partidas e paradas superior a dez mil. Pode-se esperar, portanto, que qualquer mecanismo de degradação relevante advindo desse tipo de esforço deva ter se tornado detectável nas barras investigadas. No entanto, a estrutura geral da isolação apresentou-se íntegra a despeito da presença de defeitos locais revelados por micrografias localizadas em seções transversais após o corte e dissecação das barras.

O método de avaliação da coerência da interface cobre-isolação ilustrado nas figuras 4 e 5 foi também utilizado nas barras envelhecidas em operação para se checar a existência de efeitos destrutivos causados pelos repetidos ciclos termomecânicos ao longo do tempo de serviço do moto-gerador.

Os resultados mostraram (barra superior na Figura 6) que, assim como o que foi encontrado para as barras envelhecidas em ciclos térmicos de laboratório, não há efeitos muito relevantes sobre a interface cobre-isolação que possam ser associados aos cerca de 10.000 ciclos de partida e parada do moto-gerador.

3.2 Regime de base

Para se avaliar uma situação complementar aquela do regime reversível, barras envelhecidas em operação no regime de base foram também estudadas. A tabela 2 apresenta as informações que caracterizam o gerador a partir do qual as barras foram obtidas.

TABELA 2 – Informações do gerador de base

Potência (MVA)	374
Tensão Nominal (kV)	19
Comprimento do estator (mm)	2565
Tempo em operação (anos)	30
Número de partidas e paradas	< 200
Temperatura RTD (°C)	~120

Diferentemente do encontrado para as barras que operaram em regime reversível, as barras avaliadas após 30 anos de operação em regime de base apresentaram severa degradação junto à interface cobre-isolação. A barra inferior na Figura 6, que não apresentou nenhum arqueamento quando da remoção de parte da isolação, é um exemplo da perda completa da coerência entre cobre e isolação.



FIGURA 6 – Comparação da curvatura obtida entre uma barra do regime reversível (superior) e outra do regime de base (inferior). A barra do regime de base não apresentou arqueamento após a remoção de parte da isolação, evidenciando a perda da coerência cobre-isolação.

Dissecações realizadas em várias regiões das barras do regime de base mostraram que a estrutura do volume de isolação não estava tão degradada quanto à interface junto ao cobre. Os componentes orgânicos (resina, verniz) normalmente presentes na isolação de cada condutor de cobre que forma o feixe da barra de cobre apresentava sinais de grande degradação térmica.

4.0 - CONCLUSÃO

O estudo sistemático de barras estatóricas envelhecidas em ensaios de laboratório indica que o sistema Micalastic® apresenta poucos efeitos de degradação quando submetido aos métodos típicos de envelhecimento praticados pela indústria. A análise de componentes envelhecidos em condições reais de operação mostrou – através de uma metodologia de avaliação desenvolvida no presente trabalho – que barras submetidas a esforços termomecânicos típicos do regime de operação cíclico/reversível não apresentarão necessariamente degradações significativas da interface cobre-isolação. Por outro lado, tal degradação pode ocorrer em casos específicos mesmo em regimes de operação de base, considerados mais “seguros” quanto aos efeitos de longo prazo.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] IEEE 1043 - 1996 – IEEE Recommended Practice for Voltage-Endurance Testing of Form-Wound Bars and Coils
- [2] IEEE 1553 – 2002 – IEEE Standard for Voltage Endurance Testing of Form-Wound Coils and Bars for Hydrogenerators
- [3] IEC 60216 – 2001 – Electrical insulating materials – Properties of thermal endurance
- [4] IEEE 1310 – 2012 – IEEE Recommended Practice for Thermal Cycle Testing of Form-Wound Stator Bars and Coils for Large Rotating Machines

DADOS BIOGRÁFICOS

- (1) **Dr. Marcelo Jacob da Silva**, nascido em Santo André - SP em 1972. Bacharel em Física pela Universidade Estadual Paulista – SP em 1996. Mestre em ciências (1999) e Doutor em Física Aplicada (2003) pela Universidade de São Paulo – SP. Atualmente é responsável pelos laboratórios de tecnologia de isolamento da Voith Hydro.
- (2) **Dra. Camila dos Santos Gonçalves**, nascida em São Paulo - SP em 1981. Bacharel em Química (2002); Mestre em Química Orgânica (2004) e Doutora em Química de Materiais (2008) pela Universidade de São Paulo – SP. Atualmente é coordenadora química dos laboratórios de tecnologia de isolamento da Voith Hydro.
- (3) **Eng. Fernando Pereira**, nascido em São Paulo - SP em 1981. Graduado em Engenharia Elétrica pela Universidade São Judas Tadeu – SP em 2006. Atualmente trabalha no departamento de tecnologia de isolamento para hidrogeradores na Voith Hydro.
- (4) **Dr. Tomás Erikson Lamas**, nascido em Jundiaí - SP em 1974. Bacharel em Física Aplicada (1997), Mestre em Física do Estado Sólido (1999) e Doutor em Física (2004), todos pelo Instituto de Física da USP-SP. Trabalha no Laboratório de tecnologia de isolamento da Voith Hydro.
- (5) **Eng. João Fiorini Cordeiro**, nascido em São Paulo – SP em 1982. Graduado em Engenharia elétrica pela Faculdade de Campo Limpo Paulista – FACCAMP em 2007. Atualmente é engenheiro de pesquisa dedicado ao estudo da tecnologia de isolamento e proteções de corona para componentes do enrolamento estatórico utilizados em hidrogeradores.
- (6) **Ma. Tamy Koreeda Aoki**, nascida em São Paulo – SP em 1982. Bacharel em Química com Atribuições Tecnológicas pela Universidade Estadual de Campinas – SP em 2004. Mestre em Química Analítica com foco em Análise Térmica (2010) pela Universidade de São Paulo – SP. Atualmente é responsável pelo controle de qualidade de materiais e desenvolve pesquisa no laboratório de química da Voith Hydro.
- (7) **Eng. Egidio José Faria**, nascido em Belo Horizonte – MG em 1962. Graduado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – SP em 1985. Atualmente é gerente do departamento de engenharia de desenvolvimento da Voith Hydro.
- (8) **Eng. Thomas Hildinger**, nascido em São Paulo – SP em 1960. Graduado em Engenharia Elétrica pela Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – SP em 1983 e em Administração de Empresas pela Faculdade de Economia e Administração da Universidade de São Paulo – SP em 1989. Atualmente é diretor do Centro de Engenharia e Desenvolvimento da Voith Hydro.