

# Ferramentas de Manutenção Preditiva em Máquinas Elétricas: Diagnóstico x Status

Igor de S. M. Torres\*, Edson G. Costa\*\* Fernando A. Moreira\*\*\*

\*Universidade Federal da Bahia, Salvador - BA  
(Tel: 71 99273-7201; e-mail: igorsmt@gmail.com).

\*\* Universidade Federal de Campina Grande (e-mail: edson@dee.ufcg.edu.br)

\*\*\* Universidade Federal Da Bahia, Salvador – BA – Departamento De Engenharia Elétrica - PPGEE (e-mail: moreiraf@ufba.br)

---

**Abstract:** Predictive maintenance tools proved to be extremely valuable in order to verify the status of electrical machines and to measure the aging of its insulation material throughout the expected useful life. However, it is important to guarantee the correlation between tests and the machine condition. This paper intends to present actual cases, when predictive tools are used and discusses hypothesis to improve reliability of such tests so the test can actually represent the machine situation.

**Resumo:** As ferramentas de manutenção preditiva provaram ser extremamente valiosas para verificação do estado das máquinas elétricas e aferição do seu envelhecimento ao longo de sua vida útil. Entretanto, é importante garantir a correlação entre os testes e a condição da máquina. O objetivo desse artigo é apresentar estudos de caso, com uso de ferramentas preditivas e discutir hipóteses para melhorar a garantia de correlação do teste com a realidade encontrada.

*Keywords:* Electrical machines, Insulation, Predictive maintenance, Partial discharges, Polarizing index, Current signature.

*Palavras-chaves:* Máquinas elétricas, Isolação, Manutenção preditiva, Descargas parciais, Índice de polarização, Assinatura de corrente.

---

## 1. INTRODUÇÃO

As máquinas elétricas rotativas são grandes aliadas do setor industrial ao realizar a conversão de energia elétrica em mecânica, e vice-versa, de sorte a possibilitar a execução de processos produtivos incapazes de serem alcançados pela força motriz humana ou animal.

Criadas a partir da segunda metade do século XIX e hoje largamente difundidas, as máquinas elétricas apresentam, em geral, excelente robustez e são capazes de trabalhar sob os mais variados regimes operacionais.

Entretanto, são equipamentos que, ao ter sua manutenção negligenciada, implicam defeitos que podem gerar grandes repercussões e, por conseguinte, prejuízos.

Motivados pela possibilidade de evitar perdas de produção, surgiram então as técnicas de manutenção preventiva e preditiva.

A manutenção preditiva, aplicada a máquinas elétricas, emprega técnicas não invasivas de análise de variáveis elétricas e mecânicas que podem fornecer informações valiosas sobre o estado da máquina e princípios de falha em componentes.

Manutenção Preditiva é o processo que requer tecnologias e expertise das pessoas e que integra todos os indicadores disponíveis de condição dos equipamentos (dados de performance e diagnóstico e operacionais), histórico de manutenção

e informações de projeto para basear decisões tempestivas de requisitos de manutenção para equipamentos importantes (EPRI, 2000).

Entretanto, nem sempre esse diagnóstico está firmemente coerente com a situação encontrada nos equipamentos, após a ação conseguinte de manutenção, levando à utilização de recursos que poderiam ter sido empregados de outra forma.

O presente trabalho tem por objetivo apresentar alguns casos ocorridos na manutenção de uma usina termelétrica a ciclo combinado, com a aplicação de técnicas modernas de manutenção preditiva de máquinas elétricas, e discutir formas de melhoria do emprego dessas ferramentas.

Para contextualizar os dados que serão apresentados nesse artigo, realiza-se primeiramente uma abordagem sobre os aspectos de manutenção preditiva em máquinas elétricas no item 2, com foco nas técnicas do Índice de Polarização, seguido das Descargas Parciais e, por fim, assinatura de corrente. Em seguida são apresentados estudos de caso utilizando-se das ferramentas apresentadas com o contraponto do diagnóstico e situação real encontrada para dois conjuntos de máquinas elétricas no item 3. Finaliza-se então com a análise dos resultados no item 4 e a conclusão no item 5.

## 2. MANUTENÇÃO PREDITIVA EM MÁQUINAS ELÉTRICAS

As atividades de manutenção preditiva para máquinas elétricas objetivam avaliar, principalmente, o estado do isolamento elétrico dessas máquinas. Essa característica é uma das mais relevantes na garantia de confiabilidade de um motor ou gerador elétrico.

A maior parte das faltas envolvendo o isolamento do sistema são causadas por deterioração e falha do isolamento entre espiras. Portanto, o monitoramento da condição dessa isolação é de especial interesse dos usuários (Grubic, et al., 2008).

Algumas técnicas de avaliação do isolamento e de outras características elétricas se consolidaram nos últimos anos como excelente fonte de informação para a tomada de decisão de quando se deve intervir ou não em um equipamento, buscando assim uma intervenção programada. Algumas das técnicas mais empregadas na indústria são descritas a seguir.

### 2.1 Índice de Polarização

O sistema de isolamento de um enrolamento estático é composto de numerosas interfaces que existem entre diferentes tipos de materiais como mica, vidro e matrizes poliméricas, sejam de epóxi ou poliéster. Como consequência, o processo de condução elétrica é principalmente controlado pelo mecanismo de polarização interfacial (IEEE, 2013).

A IEEE 043, referenciada acima, explana e determina como os índices de polarização refletem a condição do isolamento do estator de máquinas elétricas. O índice de polarização é normalmente definido como a razão entre a resistência de isolamento após 10 minutos de tensão aplicada pela resistência medida após 1 minuto.

**Tabela 1 - Tensão de Teste (IEEE, 2013)**

Tensão nominal do enrolamento	Tensão de teste da resistência de isolamento
< 1000	500
1000-2500	500 a 1000
2501-5000	1000 a 2500
5001-12000	2500 a 5000
>12000	5000 a 10000

Para as máquinas de médio porte objeto de análise deste trabalho, de tensão nominal de 4160 V, deve ser aplicada uma tensão de teste de 2500 Vdc (o instrumento utilizado é o Megôhmetro), conforme pode ser visto na Tabela 1. Caso a máquina possua fechamento estrela e os terminais do equipamento sejam acessíveis, é possível verificar a isolação de cada bobina entre si e do conjunto para a massa.

Dois dados relevantes podem ser obtidos deste teste: o valor da isolação das bobinas e o índice de polarização. Para o primeiro, a norma IEEE 043 determina que o valor mínimo para motores deve seguir a seguinte fórmula:

$$IR_{min} = kV + 1 \quad (1)$$

onde kV é o valor da tensão nominal da máquina. Para um motor de 4,16 kV, esse valor seria então de 5,16 MΩ. Esse então seria o requisito mínimo de resistência de isolação recomendado para essa máquina, sendo uma referência vital para operação segura do motor/gerador.

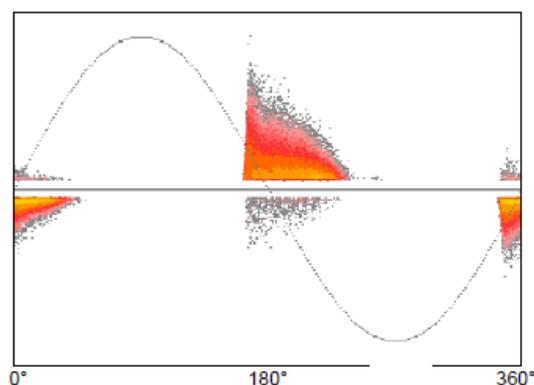
Já o índice de polarização mínimo recomendado é de 2 para motores classe F de isolação. Isso significa que o efeito de polarização provoca uma leitura de resistência ôhmica de isolamento que deve ser, pelo menos, o dobro após 10 minutos de tensão aplicada. A movimentação de íons durante a tensão DC aplicada explica essa diferença de leituras. Caso o índice seja inferior a 2, há indícios de que o estator da máquina pode estar contaminado e uma intervenção seria necessária.

### 2.2 Descargas Parciais

Um método popular, confiável e frequentemente utilizado para encontrar problemas em sistemas de isolamento de máquinas de média e alta tensão é o método das Descargas Parciais (DP) (Grubic et al., 2008).

De forma generalista, as descargas parciais podem evoluir em localidades onde as propriedades dielétricas do material isolante são não-homogêneas. Nesses pontos, o gradiente do campo elétrico local pode ser reforçado. Em razão do estresse elétrico, esse fato pode levar a uma ruptura local de forma parcial. Essa ruptura parcial não ocorre de forma total no sistema de isolação. Descargas parciais, de forma geral, necessitam de um volume de gás para ocorrer, ou seja, em vazios preenchidos com gás dentro da isolação adjacente a condutores ou interfaces de isolação (IEC 60034-27-2, 2012).

Pela natureza da ocorrência dessas descargas se intensificarem com o tempo e a alta tensão aplicada, a avaliação de descargas parciais pode fornecer um excelente prognóstico sobre o grau de envelhecimento da isolação elétrica de um equipamento. Ademais, dadas as características construtivas de cada máquina, e o tipo de isolamento empregado em alguns casos é possível até mesmo determinar a localidade de ocorrência do fenômeno conforme disposto na norma IEC 60034-27-2 apenas pelo padrão de descargas parciais. A fig. 1 apresenta um padrão típico de descargas parciais presentes entre o núcleo e o bobinado de uma máquina: amplitude elevada na passagem pelo zero da forma de onda, extinguindo-se em aproximadamente 45°.



**Fig. 1 - Gráfico representativo de descargas parciais entre o núcleo e os enrolamentos de uma máquina (IEEE, 2013)**

### 2.3 Assinatura de Corrente

Resumidamente, podemos dizer que os efeitos das falhas elétricas e mecânicas ocorrendo em um motor elétrico aparecem refletidos na corrente do estator em função de perturbações que estas falhas geram no fluxo do entreferro (*air-gap flux*). Essas falhas podem ser divididas, para efeito de estudo, basicamente em dois grupos em função da variação que causam no entreferro, e conseqüentemente, nas forças eletromagnéticas entre o rotor e o estator: falhas que provocam alteração estática e as que provocam alteração dinâmica no entreferro (Freitas, 2008).

As falhas de origem estática dizem respeito a defeitos no estator, ao passo que as falhas dinâmicas são reflexos de problemas no rotor.

Baseado em análise de frequência, conforme ilustrado na fig. 2, a técnica verifica componentes alheias à fundamental e que surgem quando algumas falhas características se desenvolvem no rotor ou estator.

Ao acompanhar a corrente de um motor em funcionamento, durante um curto intervalo de tempo, e realizando uma análise espectral destes dados recebidos, é possível estabelecer a presença dos seguintes defeitos nos motores: defeitos no rotor, curto-circuito nos enrolamentos do estator, rotor travado, desalinhamento do eixo do motor e carga acionada, aumento da excentricidade do rotor, dentre tantos outros (Reis, 2010).

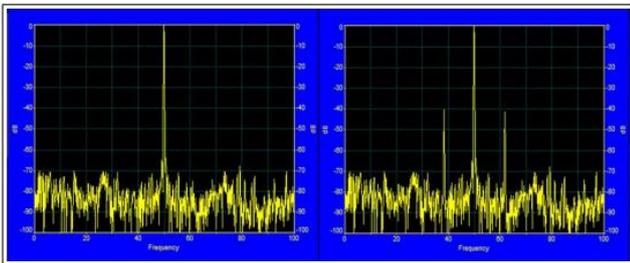


Fig. 2 Espectro de corrente de motor saudável (à esquerda) e motor com barras quebradas (à direita) (Reis, 2010).

### 2.4 Técnicas Complementares

Algumas técnicas complementares são empregadas na avaliação de máquinas elétricas, como o Surge Test. Ele consiste na aplicação de um impulso nos terminais da máquina para verificar se existe algum curto entre espiras baseado na reflexão desse impulso. Caso exista alguma falha, as formas de onda de saída e reflexão não serão iguais. O teste de surto elétrico pode detectar os estágios iniciais de falhas no isolamento, nomeadamente entre espiras, entre bobinas, entre fases, ligações invertidas, ligações abertas e número de espiras errado (Rodrigues, 2010).

Ademais, outras duas técnicas com foco mecânico são também utilizadas: Análise de Vibração Mecânica, que verifica o nível de vibração nos mancais da máquina e fornece valiosas informações sobre eventuais falhas incipientes no conjunto rotativo, a depender do grau de vibração encontrado. Outra técnica então seria a análise boroscópica, que consiste na avaliação a olho nu dos componentes internos da máquina mediante o auxílio de instrumentos visuais.

## 3. ESTUDOS DE CASO

Alguns casos de máquinas elétricas e seus diagnósticos serão apresentados adiante para avaliação de aderência aos diagnósticos apresentados. Os ensaios foram realizados durante paradas de manutenção programada da unidade termelétrica.

### 3.1 Motores de Média Tensão

A usina termelétrica que foi a fonte dos dados deste trabalho possui 3 motores de média tensão, a saber: 2 bombas de alimentação de caldeira com potência nominal de 4000 cv cada e um motor de compressor de gás de 2000 cv. Convém ressaltar que apenas um motor de 4000 cv opera enquanto o outro se mantém disponível.

Ainda em 2008, foi realizada a análise de uma série de informações, e, dentre as medições realizadas, está a avaliação de descargas parciais. Verificou-se baixo índice de polarização na máquina (1,39), porém baixa atividade de descargas parciais.

Já em 2015 foi realizado novo ensaio, onde o índice de polarização apresentou valor excelente (acima de 4) mas o ensaio de descargas parciais demonstrou acúmulo de contaminantes na superfície do enrolamento e nas cabeças de bobina.

No ano seguinte foi realizada inspeção na máquina e constatado que o diagnóstico do relatório se deu conforme situação encontrada. Na fig. 3, pode-se ver um elevado grau de contaminação por poeira entre as bobinas do motor. Antes da execução do serviço, o índice de polarização acusado foi 1,8.



Fig. 3 - Cabeças de Bobina do drive de um compressor de gás durante inspeção

O grau de contaminação severo pode ser explicado pela ausência de filtros de ar na entrada do enclausuramento do sistema de compressão de gás e também de obras de construção na refinaria que fica conjugada à térmica e que transcorreu alguns anos antes.

Na mesma oportunidade de ensaios elétricos realizados em 2015, os motores das bombas de alimentação da caldeira também foram avaliados. Ambos os equipamentos apresentaram índice de polarização abaixo de 2, indicando necessidade de manutenção. No entanto, a avaliação de descargas parciais indicou, apenas, existência de vazios nos terminais de ranhuras e de forma superficial em uma das máquinas e conteúdo elevado de descargas parciais na outra.

Nessa oportunidade, foi também realizado ensaio de assinatura de corrente em um dos motores das bombas de água polida para verificar aderência ao diagnóstico de descargas parciais, indicando, porém, operação normal, dado que as bandas laterais de frequência encontravam-se abaixo dos limiares de alerta (-60 dB), conforme pode ser observado na fig. 4.

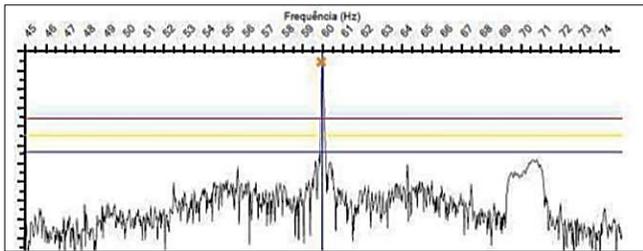


Fig. 4 - Espectro de Frequência da Corrente do Motor

De toda sorte, em 2017 foi realizada inspeção em ambas as máquinas e verificado que a atividade de descargas parciais na verdade não condizia com o estado da máquina. Os enrolamentos apresentavam estado de conservação excelente, assim como ranhuras e cabeças de bobina, o que pode ser averiguado pela fig. 5.



Fig. 5 - Cabeças de Bobina de um dos motores das bombas de água polida

Pode-se verificar como fato contribuinte para o diagnóstico falho a ineficácia da resistência de aquecimento dos motores de 4000 cv. Essa resistência mantém o motor aquecido e impede o acesso da umidade ambiente aos enrolamentos do motor, evitando redução em sua isolamento sempre que equipamento se encontra desligado. Cabe ressaltar que apenas um dos motores opera por vez, com revezamento mensal. Isso implica que sempre uma das máquinas sob teste estava parada há bastante tempo.

Durante a inspeção, foi constatada que a resistência de aquecimento das máquinas, composta por fita térmica que envolve o estator, apresentava corrente de leitura bastante aquém à nominal, indicando baixa dissipação de energia térmica.

### 3.2 Turbogenerador 300MVA

Principal equipamento elétrico da usina, o gerador da termelétrica possui capacidade instalada de 300 MVA, trabalha

com tensão de 21 kV e é uma das maiores máquinas de geração de energia da empresa. Durante medições de manutenção preditiva em maio de 2016, a máquina foi diagnosticada com atividade intensa de descargas parciais localizadas nas cabeças de bobina, com característica de descarga para a massa, onde foi sugerida intervenção em até 6 meses para avaliação. A forma de onda obtida no ensaio está apresentada na fig. 6.

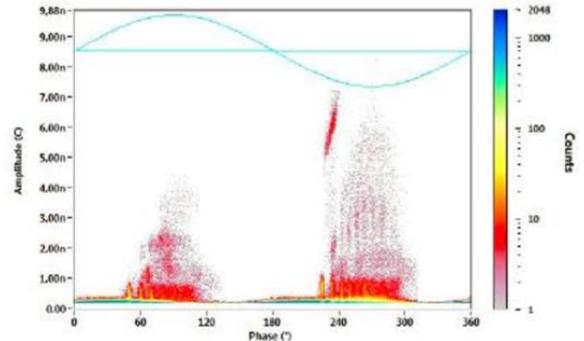


Fig. 6 - Análise de Descargas Parciais Off-line

É importante que ao contratar o serviço de descargas parciais, o responsável técnico pelo acompanhamento possa fazer a distinção dos sinais de descarga parcial e descargas corona. O primeiro ocorre próximo ao zero da senóide, enquanto o segundo ocorre nos picos. A atividade reportada acima é, portanto, de descargas corona e não de descargas parciais, conforme visto na figura 6.

É também digno de nota que, por se tratar de uma máquina de grande porte, poucos prestadores de serviço possuem equipamentos capazes de injetar a tensão apropriada de avaliação nesse sistema (pouco mais de 12 kV).

Já em 2017, por oportunidade, foi realizada a inspeção recomendada pelo relatório, uma vez que a máquina vinha apresentando oscilações ocasionais em leituras de tensão/corrente e não puderam ser associadas a eventos externos no grid da rede básica. A máquina foi, conforme exibido na fig. 7, objeto de inspeção minuciosa nas cabeças de bobina, conforme diagnosticado no ensaio do ano anterior.

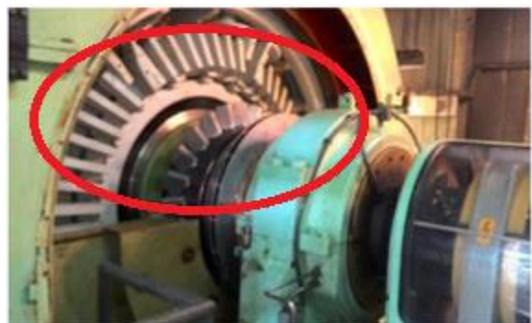


Fig. 7 - Máquina com as Cabeças de Bobina Expostas

O que pode ser constatado pela manutenção é que o enrolamento estatórico estava em perfeitas condições, não sendo condizente com o ensaio de descargas parciais aplicado e diagnosticado um ano antes. Nenhum defeito, em absoluto, foi encontrado na isolamento, sem quaisquer indícios de quaisquer descargas para a terra ou atividade de corona nos enrolamentos terminais. Nessa mesma atividade de manutenção, os ensaios foram repetidos com indicativo de baixa atividade de descargas parciais, porém com o índice de polarização baixo.

Esse índice, notadamente, foi influenciado pelo período chuvoso durante a realização dos testes.

Ademais, nas duas situações, foram realizados ensaios de *Surge Test* mediante acesso aos anéis coletores da excitatriz, onde a forma de onda de reflexão deve ser idêntica à aplicada na máquina. Caso contrário, existe a possibilidade de haver curto entre espiras.

Além dos ensaios habituais realizados na máquina, uma atividade de manutenção preditiva em particular, pouco praticada, foi executada então em razão do porte da máquina: boroscopia no rotor do gerador.

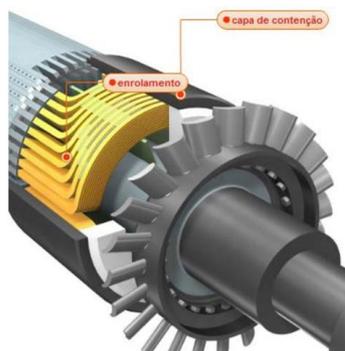


Fig. 8 - Desenho demonstrativo do enrolamento das bobinas do rotor, com os terminais sob a capa de contenção.

Em turbogeradores, a boroscopia pode ser feita sob a capa de contenção do rotor, onde é possível a entrada do boroscópio. Nas figs 8 e 9, é possível verificar os pontos de inspeção e de acesso, respectivamente.



Fig. 9 - Ponto de Acesso do Boroscópio

Apesar de ser uma constatação puramente visual, foi possível verificar estágio inicial de oxidação, com possível evolução para curto entre espiras, além de amarrações das bobinas e calços folgados, conforme figs. 10 e 11.



Fig. 10 - Oxidação com possível evolução para curto entre espiras



Fig. 11 - Amarrações de calços com folgas

#### 4. ANÁLISE

Os equipamentos verificados durante os processos de manutenção explanados podem então ter os resultados de suas análises postas em foco com o que se detectou e o que realmente foi avaliado fisicamente nos equipamentos.

A tabela 2 abaixo resume o prognóstico e o status dos casos apresentados. Ressalte-se que todos os valores de resistência de isolamento atenderam os critérios da equação (1).

Tabela 2 - Resumo dos Estudos de Caso

Equipamento	Ferramenta	Diagnóstico	Realidade	Ano
Motor de Compressor	Descargas Parciais (DP), Índice de Polarização (IP)	Baixa atividade de DP, IP ruim	Não houve abertura da máquina	2008
	DP, IP	Atividade de DP, IP bom	Contaminação, Isolação Perfeita	2015
Motor Bomba de Água Polida	DP, IP	Baixa Atividade de DP, IP ruim	Descontaminado, Isolação Perfeita	2015
Gerador 300 MVA	DP, IP, <i>Recurrent Surge Oscillograph</i> (RSO)	Alta Atividade de DP, IP bom	Descontaminado, Isolação Perfeita, Rotor em Observação	2017

Verifica-se então que os ensaios de descargas parciais, na detecção de defeitos graves, apresentaram resultado satisfatório, apontando precisamente qual o tipo de falha estava em progresso na máquina. Entretanto, para o gerador de 300 MVA, o diagnóstico provou-se diferente da situação real encontrada.

Já os equipamentos, cuja inspeção em campo verificou um bom estado, não revelaram uma atividade de descargas parciais condizentes ao seu estado de vida útil, como era esperado. Além disso, ainda acabou por apresentar diagnóstico alarmante, onde se recomendava serviços adicionais que levaram a intervenções desnecessárias nos equipamentos para inspeções corretivas posteriores.

Outrossim, a ferramenta do índice de polarização, por sua característica simples, acabou sendo mais bem-sucedida nos cenários positivos, mas falhou em detectar a falha incipiente no

motor do compressor de gás onde a elevada contaminação poderia desencadear um defeito grave.

Por fim, a ferramenta de avaliação RSO falhou em detectar prematuramente pontos de possível evolução de um curto entre espiras no rotor, sendo a inspeção visual decisiva na constatação do fenômeno.

Não menos importante para a avaliação dos equipamentos são as condições ambientais e de conservação da máquina. Os ensaios de descargas parciais e avaliação de índice de polarização apresentaram os resultados mais destoantes da realidade quando foram executados em situações adversas: Seja com umidade elevada, seja com a resistência de aquecimento da máquina inoperante ou com baixa eficiência.

O aspecto da umidade, pouco mencionado em ambas as normas, termina por apresentar-se como fator a ser levado em consideração na avaliação de resultados ou mesmo na decisão em se seguir adiante com os ensaios. A existência da umidade possibilita o trânsito mais facilitado de íons ao contaminar o papel isolante, e mascara o resultado de ambas as técnicas. Por isso, garantir a operação das resistências de aquecimento dessas máquinas, responsáveis por impedir o acesso de umidade mantendo o motor aquecido, é fundamental.

Procedimentos básicos de manutenção, como manter o sistema motriz limpo, seco e bem conectado, evitar umidade e poeira, e efetuar medições da tensão de alimentação, temperatura ambiente e desgaste prematuro de componentes, possibilitam uma manutenção eficiente com custo relativo baixo frente à confiabilidade do sistema. (Silva & Gonzalez, 2008).

A melhor forma de se evitar falsos positivos nos ensaios de manutenção preditiva, é, de fato, combinar técnicas que não sejam apenas complementares mas que analisem as mesmas variáveis por outros mecanismos. A assinatura de corrente pode ser usada em paralelo com o Surge Test para agregar confiabilidade ao resultado. Ademais, os ensaios de descargas parciais associados à avaliação de isolamento elétrico com absoluta garantia das condições ambientais, sejam climáticas ou controladas (como o bom funcionamento das resistências de aquecimento) em parâmetros aceitáveis pode ser uma boa precaução a ser utilizada previamente aos ensaios.

A inspeção visual, apesar de envolver elevado custo com mão de obra na desmontagem da máquina, é, ainda, a ferramenta definitiva de diagnóstico dos equipamentos e é pouco empregada na indústria quando se trata de avaliação do rotor. Nesse caso provou-se insubstituível.

## 5. CONCLUSÃO

Diante das situações expostas, é possível mencionar valiosas aprendizagens. Apesar de pouco citada, tanto na IEEE 043 para avaliação do índice de polarização, ou tampouco nas IEEE 1434 e IEC 60034-27-2 para monitoramento de descargas parciais, as condições ambientais e de aquecimento da máquina demonstram ser imperativas para a qualidade do resultado.

Os testes realizados sob condições de umidade ambiente elevada, ou onde a resistência de aquecimento dos equipamentos apresentava resultado deficiente, levaram a conclusões pouco assertivas sobre a real condição dessas máquinas. Até mesmo

levaram à adoção de procedimentos de manutenção que poderiam aguardar o tempo correto de abertura dessas máquinas para averiguação.

É importante ressaltar que a análise combinada de mais de uma técnica de manutenção preditiva, associada a condições ambientais controladas, prova-se a melhor prática a ser adotada no ambiente industrial.

Por fim, é notório que, por mais que sejam empregadas técnicas modernas de manutenção preditiva nas máquinas elétricas, a inspeção visual sob o olho técnico e treinado é ainda o diagnóstico definitivo acerca do estado de uma máquina. Não se deve, pois, menosprezar essa ferramenta. Uma simples inspeção boroscópica é capaz de diagnosticar uma série de potenciais riscos que ainda hoje não podem ser determinados por testes não invasivos.

É preciso, portanto, conceder às máquinas elétricas a relevância e o tratamento que merecem no caráter preditivo, tal como é realizado para os acionadores como turbinas a gás e a vapor. Por serem máquinas robustas e de elevada eficiência, muitas vezes geradores e motores são negligenciados em suas inspeções até que ocorra a falha, podendo levar a um período de manutenção elevado.

## AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho gostariam de agradecer às gerências da Termelétrica Termobahia as informações que embasaram esse trabalho.

## REFERÊNCIAS

- EPRI (2000). *Predictive Maintenance Self-Assessment Guidelines for Nuclear Power Plants*. Manual, Palo Alto, EUA;
- Freitas, A. P. (2008). *Novas Técnicas de Manutenção Preditiva em Máquinas Elétricas de Médio e Grande Porte*. Monografia, Itajubá;
- Grubic, S., Aller, J. M., Lu, B. & Habetler, T. G. (2008). *A Survey on Testing and Monitoring Methods for Stator Insulation Systems of Low-Voltage Induction Machines Focusing on Turn Insulation Problems*. IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 55, No. 12, 2008;
- IEC 60034-27-2 (2012). *On-line partial discharge measurements on the stator winding*. Genebra, Suíça;
- IEEE (2013). *IEEE Standard 43: Recommended Practice for Testing Insulation Resistance of Electric Machinery*. Nova Iorque, EUA;
- Reis, A. J. S. (2010). *Reconhecimento de Padrões de Falhas em Motores Trifásicos Utilizando Redes Neurais*, Dissertação de Mestrado, PPGEE-UFRN, Natal;
- Rodrigues, Ana L. M. (2010). *Estudo Comparativo De Sistemas De Isolação Em Motores MT*. Dissertação de Mestrado, Universidade do Porto, Jaguariúna do Sul;
- Silva, M. A. d. & Gonzalez, M. L. y. (2008). *Influência de Fatores de Manutenção Que Afetam a Vida Útil de Motores de Indução*. VIII INDUSCON, Poços de Caldas;