

O DIAGNÓSTICO DE MÁQUINAS VOLTADO PARA A MANUTENÇÃO PREDITIVA E A EXPERIÊNCIA DA MARINHA DO BRASIL NESTE CAMPO-ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS E UMA ANÁLISE DE CASO.

Tiudorico Leite Barboza¹ (Contra-Almirante EN Ref.)

¹ Centro de Máquinas do CIAW

1- INTRODUÇÃO

O nível da organização da manutenção no Brasil é, de certa forma, reflexo do estágio de desenvolvimento industrial do país, onde grande parte dos investimentos realizados na indústria e nas atividades secundárias e terciárias (serviços) são relativamente recentes, não passando de algumas dezenas de anos. Esta situação contrasta com aquelas existentes nos parques industriais europeus e norte-americanos, onde a tecnologia despontou há mais tempo, fazendo com que o envelhecimento dos equipamentos e instalações realçassem a necessidade de uma racionalização das técnicas e dos procedimentos de manutenção. Foi assim que apareceu uma disciplina de gerenciamento técnico conhecida em Inglês como “Maintenance” e em Francês como “Mantenaince”. Em Portugal, a mesma disciplina é designada como Conservação e no Brasil, como Manutenção.

Este artigo se propõe a discorrer sobre aspectos técnicos e gerenciais associados ao tipo de manutenção chamada preditiva, introduzida no Brasil, ao que tudo indica, por volta da década de 1980²

A escolha do tema foi motivada pelo “Plano de Trabalho de Doutorado” do autor, este por sua vez embasado por sua experiência em gerenciamento técnico de empreendimentos correlatos a este tipo de manutenção, no âmbito da Marinha do Brasil e pretende apontar conceitos técnicos e resultados práticos, na forma de “tratamento de casos”.

2- MANUTENÇÃO PREDITIVA

2.1- Conceituação

A manutenção preditiva tem por finalidade estabelecer diagnósticos de possíveis, defeitos, desgastes, falhas e avarias futuras, através da análise fina da evolução de certos parâmetros dos sistemas produtivos. Recorrendo à Língua Inglesa, esta utiliza a expressão “Condition Monitoring”, cujo equivalente em Português mais exato vem a ser caracterização ou avaliação de estado ou de condição. Para essa caracterização de estado, medições são realizadas a intervalos regulares, são estabelecidos e conhecidos determinados limites, leituras são registradas em forma gráfica, e a predição de tempo para a ocorrência de falha pode ser feita com razoável precisão.

A literatura técnica apresenta diferenciações nas conceituações que vão desde o conceito de defeito, até aos conceitos de avaria. Neste artigo, consideraremos as seguintes definições (Lawrence H.V. V. (1977) e I.S.S.C (1967):

² Não se dispõe, neste artigo, de fonte histórica que assegure a época precisa de sua ocorrência.

Defeito- é qualquer imperfeição no material seja ela nata, ou decorrente do seu processamento industrial, ou ainda de sua degradação, por força de sua utilização, quando do cumprimento da missão para a qual foi projetado;

Desgaste- é o defeito resultante unicamente de sua degradação, por força de sua utilização, quando do cumprimento da missão para a qual foi projetado;

Falha- é qualquer ocorrência indesejável no equipamento ou material, resultante de um defeito de qualquer natureza entre aqueles acima mencionados, que pode afetar, em diferentes níveis de gravidade, a eficiência de sua operação, quando do cumprimento da missão para a qual foi projetado;

Avaria- é o resultado de uma falha que passou a ser deveras perceptível ou mensurável, no material ou equipamento, atingindo um estágio que permite sua aferição qualitativa ou quantitativa, do ponto de vista da eficiência da operação, quando do cumprimento da missão para a qual foi projetado; a avaria possui ainda como variantes a ruína que é o resultado de uma falha que impede parcial ou totalmente material ou equipamento cumprir missão para qual foi projetado e o colapso que é o resultado de uma avaria que impede o material ou equipamento de absorver qualquer solicitação adicional ou totalmente o cumprimento da missão para a qual foi projetado.

A caracterização de estado não utiliza nada mais do que quatro sentidos clássicos que já eram utilizados desde os primórdios, ou seja, a visão, a audição, o olfato e o tato, porém de uma forma extremamente científica e com poderosos instrumentos introduzidos pela tecnologia; “a chave de fenda no ouvido” vinha e vem, há muito tempo, sendo um indicador qualitativo global de amplitude de vibrações. A diferença é que, ao passar dos anos, numerosas técnicas foram desenvolvidas contemplando testes frequentemente chamados não destrutivos, como testes para água e óleo combustível de caldeiras, assim como variados testes de desempenho, tais como os de potência a toda carga e os de governo (no caso de navios)³

2.2- O planejamento

Vem a ser o conjunto de métodos, instrumentos e atividades, constituindo o que se chama de “Sistema de Manutenção Planejada” que visam a caracterizar, monitorar, diagnosticar, analisar e prognosticar a condição ou estado de equipamentos, com a finalidade de definir o momento mais adequado, em termos de confiabilidade e custos, chamado de “ponto preditivo”, em que estes estão sujeitos a probabilidades de falhas inaceitáveis.

A determinação do ponto preditivo utiliza duas ferramentas de planejamento:

- Análise Estatística, e
- Análise Sintomática.

2.2.1-A análise estatística

É aplicada quando se dispõe de um número suficiente de dados históricos de manutenção corretiva e preventiva, por intervalo de tempos (“calendária”), oriundos de populações apreciáveis de equipamentos com características semelhantes, dados esses que são utilizados para o cálculo das probabilidades de falhas e para a determinação dos parâmetros

³ O autor é engenheiro naval.

utilizados em engenharia de confiabilidade. Com esses dados se obtém a chamada “curva de falhas” em função do tempo. São comuns neste tipo de análise as figuras de: taxa de falhas $\lambda(t)$ -o número de falhas que o equipamento sofre na unidade de tempo; vida útil-o tempo durante o qual um sistema ou equipamento desempenha a sua missão com taxa de falhas aceitável; confiabilidade R(T)-a probabilidade de que um equipamento sobreviva (não falhe) até um intervalo de tempo T; “Mean Time to failure” (MTTF)-média dos tempos de falha calculada a partir de distribuição de probabilidade que os seus tempos de falha seguem.

Os números obtidos da análise do histórico do equipamento são dispostos em séries estatísticas, sendo conhecidas cinco tipos de séries, a saber:

I- Série temporal, na qual os dados são apresentados em função do tempo, permitindo uma identificação da evolução de medidas ou parâmetros ao longo do tempo de vida útil;

II- Série geográfica, em que os dados são representados em função da área geográfica de onde provêm;

III- Série de distribuição de frequência, na qual os dados são agrupados em faixas de intervalos observados, onde a frequência indica o número de vezes em que uma mesma falha ocorreu em cada intervalo;

IV- Série específica, em que os dados são dispostos em correspondência com uma certa qualidade; e

V- Série mista, em que os dados são dispostos em tabela de dupla entrada, podendo combinar os critérios temporal, geográfico e específico.

As distribuições de probabilidades mais usadas são a binomial, a exponencial, a normal, a lognormal e a de Wueibull.

2.2.2-A análise sintomática

É aplicada em equipamentos isolados e complementa a análise estatística, pois cada equipamento, mesmo pertencendo a uma população grande, apresenta comportamento próprio, que lhe é inerente, podendo assim seus parâmetros individuais se desviar dos valores médios ou padrões deduzidos, estatisticamente, para a população ou espaço amostral a que pertence. Além disso, alguns parâmetros mensuráveis alteram-se em função do uso, das condições ambientais e do desgaste dos materiais que o constituem. A medição desses parâmetros, por meio de sensoriamento, permite a aquisição de dados para a manutenção sintomática preditiva, ou seja, um vetor de parâmetros medido num instante t é comparado com o vetor de valores destes parâmetros que apresentavam quando o equipamento estava novo (situação ideal), ou, na pior das hipóteses, quando este estava num estado de referência em que se fez a primeira medição correspondente a um estado inicial designado por $\{E_0\}$.

O uso e a degradação dos materiais por agentes externos levam este conjunto a um estado $\{E_t\}$, surgindo assim diferenças entre os valores dos parâmetros medidos e os valores iniciais como abaixo:

$$E_{01} - E_{t1=\Delta_1}$$

$$E_{02} - E_{t2=\Delta_2}$$

.....

$$E_{0n} - E_{tn=\Delta_n}$$

Valores de Δ_K diferentes de zero indicam envelhecimento ou degenerescência do equipamento e para além de um certo limite requerem a substituição de componentes, tendo-se como exemplos: a espessura de uma tubulação, ao diminuir por efeito da corrosão; o nível de ruído de um rolamento, por efeito do desgaste das pistas das esferas; as perdas dielétricas de uma bucha de transformador, aumentando por efeito da degradação; o diâmetro de uma

bucha de mancal aumentando por efeito da degradação; o teor dos componentes metálicos presentes no de óleo de lubrificação, por ação do desgastes das partes metálicas de diferentes ligas ou metais; a temperatura de contato de um barramento elétrico por ação de aumento involuntário da resistência elétrica de componentes.

A variação do vetor de estado $E(t)$ em função do tempo é chamado de curva de degenerescência e, na manutenção preditiva, os valores de $E(t)$ são medidos com frequência o suficiente, ou continuamente, para que o tratamento matemático dos valores permita a determinação do “ponto preditivo”. Cabe frisar que nos casos de diferentes parâmetros ou variáveis de importância para o estabelecimento da previsão do equipamento, são necessárias curvas de cada um deles. A finalidade básica da manutenção preditiva é aumentar, o máximo possível, o “Tempo de bom funcionamento” (TBF).

Para que seja adotada a manutenção preditiva são necessárias duas condições:

- que haja possibilidade de mensurar a degradação, ligada ao estado do sistema;
- que o material seja suficientemente importante e crítico.

O gráfico abaixo ilustra graficamente os conceitos de manutenção preditiva e de ponto preditivo.

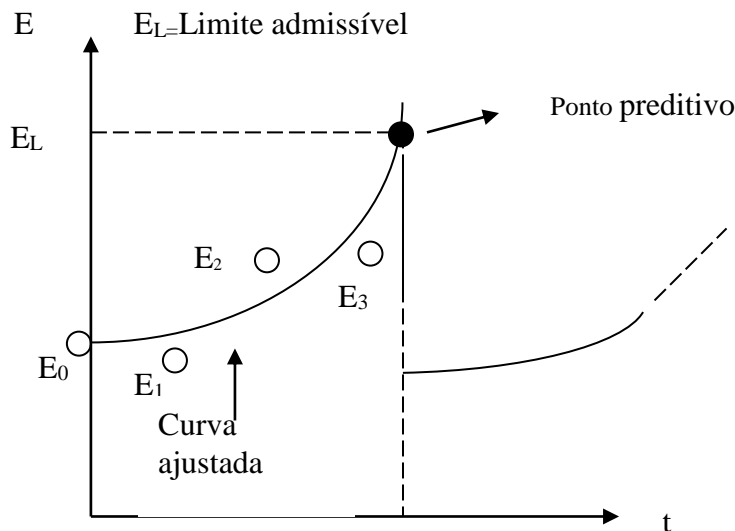


Figura1-Curva de degenerescência

É necessário que a organização disponha de sistemas digitais de aquisição de dados e de tratamento e gravação das medidas e parâmetros enviados pelos sensores remotos e transmissores associados, além de pessoal treinado para interpretação das medidas e para a tomada de decisões pelo setor do planejamento, que por sua vez deve estar dotado o suficiente de técnicas técnico-gerenciais específicas.

As vantagens da manutenção preditiva podem ser entendidas como:

- extensão do tempo de utilização das peças e partes componentes;
- possibilidade de diminuição de estoques;
- diminuição da manutenção corretiva restante; e
- maior facilidade de análises técnico-financeiras.

Por outro lado, as desvantagens podem ser enumeradas como abaixo:

- maior dificuldade de planejamento, pela necessidade de um gerenciamento individualizado do programa das máquinas críticas;
- necessidade de recursos materiais específicos e especializados como equipamentos de medida, sensores, computadores digitais, “softwares” especialistas e permanente atualização para trazê-los ao estado da arte;
- necessidades de recursos humanos especializados nas técnicas e nos seus processamentos; e
- difícil implementação, requerendo grandes investimentos para um espaço temporal, relativamente longo, em termos de obtenção dos resultados, cuja taxa de retorno é de difícil quantificação.

2.3- A execução

Em face da natureza da análise estatística, muito abordada somente nas cadeiras de engenharia de confiabilidade, a análise sintomática será abordada em maior profundidade e os exames de casos que serão apresentados neste texto são a elas correlatos.

2.3.1- Origem e evolução da degradação e do desgaste

As causas responsáveis pela degradação ou desgaste do material podem ser intrínsecas como, por exemplo, alteração da estrutura micro-cristalina dos metais, ou extrínsecas, como a erosão nas palhetas de uma turbina. Cabe ressaltar, entretanto, que nem sempre é fácil ou mesmo possível afirmar que degradações consideradas intrínsecas não têm uma causa associada ao meio ambiente e, portanto, externa, como ação da temperatura, da umidade, da presença de campos alternativos, etc. Os modos de falhas associadas a degradações e desgastes podem de uma forma resumida, ser agrupados em três grandes conjuntos, a saber:

- modo de falhas mecânicas;
- modo de falhas elétricas;
- modo de falhas físico-químicas.

Como se pode depreender, o modo de falhas eletrônicas, por exemplo, poderia ter sido incluído, mas ao nível do conhecimento do autor, as técnicas de manutenção preditiva ainda não privilegiam os equipamentos eletrônicos, pelo menos ao mesmo nível que ocorre a equipamentos mecânicos, principalmente os rotativos.

2.3.2- Modos de falhas mecânicas

As principais causas de falhas mecânicas são:

- Sobrecarga mecânica: Quando esforços estáticos ou dinâmicos atingem valores tais que as tensões dela decorrentes fazem com que seja ultrapassado o limite de elasticidade ou de resistência à flambagem do material, trazendo, como conseqüência, deformações permanentes ou mesmo ruptura do material. No caso da flambagem, esta pode levar a estrutura ao colapso, mesmo em tensões abaixo do limite de ruptura ou mesmo do limite de elasticidade, pois se constitui num fenômeno de instabilidade em que as flechas são indeterminadas.
- Fadiga mecânica: Quando esforços de natureza alternada e repetitiva (ciclos) fazem com que seja ultrapassada a “tensão limite de fadiga” e o material se degenera alterando a sua estrutura cristalina e se rompe após um determinado número de ciclos, mesmo que não tenha atingido a carga limite de elasticidade. A fadiga pode ser classificada como de baixo ciclo ou de alto ciclo.
- Choque: Excitação de grande conteúdo energético, com duração extremamente reduzida, da ordem de milissegundos; as amplitudes não são elevadas, se comparadas à quantidade de energia associada, situando-se entre 1cm e 5cm em estruturas rígidas, mas as acelerações são

de grande monta, podendo atingir a faixa de 200 a 1000 vezes a aceleração da gravidade terrestre, como no caso de uma explosão submarina. Dele decorrem forças de inércia capazes de introduzir deformações permanentes ou rupturas. Por sua natureza, o choque não é levado em conta nos cálculos de confiabilidade e a sua consideração no projeto é mais afeta a equipamentos militares. Em bibliografia não específica, o choque é definido muito mais como sendo um mero impacto, fruto de um acidente de transporte ou de uso;

- Fadiga térmica: decorrente de variações rápidas de temperatura ou extremos de temperatura que podem produzir tensões térmicas com conseqüentes deformações permanentes, oxidações, alteração da estrutura metalográfica (tratamentos térmicos involuntários) ou cristalina, fusões e ruptura.

- Fluência: deformação ou desgaste produzido pela combinação das ações mecânicas e térmicas, como no interior de uma descarga de gases de uma chaminé;

- Abrasão: resultado do atrito seco de uma superfície de maior dureza contra uma de menor dureza, produzindo desgaste;

- Erosão: produzido pelo impacto de partículas sólidas ou líquidas a grande velocidade, fazendo com que a superfície erodida pareça “roída”. As partículas podem ter dureza inferior à da superfície erodida;

- Desgaste pelo uso: também devido ao atrito, mesmo de materiais menos duros. É uma degradação devido à deslaminagem junto à superfície, produzindo perda de material em que se distinguem três fases chamadas de rodagem, desgaste lento e grimpagem, esta última, consistindo de um desgaste muito rápido com grande perda de metal;

2.3.3- Modos de falhas elétricas

As principais causas de falhas elétricas são:

- Degradação de dielétrico sólido: decorrente, principalmente das ações externas da umidade, do oxigênio e do ozônio do ar e da ação química de poluentes. A degradação devida a estes fatores é acelerada pelo aumento da temperatura e leva a defeitos de isolamento como resistência de isolamento baixa e perfuração dielétrica;

- Degradação de dielétrico líquido: se resume na degenerescência do óleo do transformador, o qual se degrada, principalmente, por ação da umidade e do oxigênio, dos arcos elétricos e descargas corona. A degradação é mais rápida em altas temperaturas, sendo de evolução lenta;

- Roturas dos circuitos: embora catástóficos são normalmente efeitos secundários devido a ações mecânicas ou térmicas do tipo choque, alterações diferenciais ou a ações químicas como a corrosão ou ainda esforços eletrodinâmicos durante um curto circuito;

- Descargas coronas: em equipamentos de alta tensão, as sobretensões e degradação dos dielétricos causam a formação de descargas, superficiais ou internas, capazes de acelerar a degradação dos dielétricos.

- Aquecimento ou fusão dos condutores: nos casos de sobrecargas ou de curtos circuitos, os condutores, que normalmente são de cobre ou alumínio, podem atingir altas temperaturas ao ponto de se fundir.

- Perfuração dielétrica: Ocorre quando a tensão aplicada a uma isolação (sólida ou líquida) ultrapassa certos valores, a ponto de produzir um arco através da isolação ocasionando, normalmente, a sua destruição;

2.3.4-Modos de falhas físico-químicas

Neste modo de falhas estão incluídas, basicamente, as corrosões que podem ser produzidas pelos seguintes fatores:

- Corrosão por ações eletroquímicas: a corrosão devido a ações eletroquímicas é uma das principais causas da degenerescência dos equipamentos³. As perdas de metal devido à corrosão representam uma grande porcentagem da produção anual de metal. De acordo com as estatísticas americanas, 40% da produção de aço é destinada à substituição de equipamentos destruídos pela corrosão (HORTA SANTOS J.J.) (1996).

- Corrosão por ações químicas: o contato de peças metálicas de equipamentos com produtos quimicamente agressivos conduz a uma corrosão química, a qual origina perda de material de forma irregular, formação de “pits” ou fissuras por corrosão intergranular. Os produtos corrosivos mais habituais são os ácidos minerais ou orgânicos, substâncias alcalinas, compostos halogenados e atmosferas redutoras ou oxidantes. Os óleos lubrificantes podem gerar ácidos orgânicos, por oxidação, e neste caso, ao invés de proteger, passam a ser fontes de corrosão das superfícies que deveriam, isto sim, estar lubrificadas e protegidas;

- Corrosão por correntes parasitas: se entre duas superfícies metálicas originam-se diferenças de potencial, que seja devido ao atrito ou triboeletricidade, ou devido ao fenômeno da indução eletromagnética, podem se originar pequenos arcos elétricos e, em consequência, pequenas crateras de fusão, as quais muitas vezes, somente podem ser vistas à lupa. A origem é a formação de correntes induzidas em peças móveis dentro do campo magnético de fugas e cargas geradas eletrostaticamente por atrito (correias plásticas, movimentos de farináceos, atrito de plásticos e têxteis);

- Corrosão bacteriana: as águas industriais, os óleos de corte e certas águas naturais podem conter “ferro-bactérias” aeróbicas chamadas pseudomonas as quais usam a oxidação do ferro para produzir a energia de que necessitam. Outras ferro-bactérias são anaeróbicas e retiram a energia de que precisam da passagem do ferro ferroso para o férrico; cabe mencionar que a velocidade de reprodução dessas bactérias é muito grande, pois uma única bactéria pode originar um bilhão de descendentes em 12 horas (J.J. HORTA SANTOS) (1996) .

- Corrosão por cavitação: nos equipamentos onde há líquidos em escoamento turbulento ou próximo à pressão de vaporização, podem se formar bolhas transitórias em zonas de baixa pressão localizada. Estas bolhas, ao atingirem zonas de pressão maior, podem implodir, bruscamente, originando ondas de choque, vibrações ultra-sônicas e uma temperatura alta do ponto de implosão. As forças e temperaturas assim originadas podem produzir a degradação de peças e componentes, mesmo muito confiáveis como, por exemplo, sedes de válvulas de controle, pás de hélices das turbinas, pás de hélices de navios, tubulações e camisas de motores;

2.4- Técnicas gerais para a identificação do diagnóstico de máquinas aplicáveis à manutenção preditiva

As técnicas atuais mais comuns para a configuração do diagnóstico são:

³ Nos E.U. A, o custo anual devido à corrosão atingia, na década de 1990, 100 bilhões de dólares. Os custos indiretos devido a perdas de produto, a rupturas com vazamento, a contaminações, e a acidentes humanos, aumentam ainda mais este valor de prejuízo. (HORTA SANTOS J.J.) (1996)

- Monitoração de emissão acústica: decorre dos resultados das pesquisas em ultra-sônica, na qual o campo de análise vibracional é hoje estudado em termos de teoria dos sinais, a qual coincidiu com o progresso na análise da “assinatura” de vibração. Esta técnica baseia-se na observação, iniciada ainda na década de 1950, de que as fraturas de peças podem ser previsíveis por meio da técnica chamada “Monitoração das ondas sonoras produzidas por fraturas em crescimento”. Apesar da escala microscópica, a técnica é equivalente à monitoração de vibrações sísmicas.

- Análise de espectro de vibração: nesta análise o movimento mecânico instantâneo (aceleração, velocidade ou deslocamento) é convertido numa tensão elétrica por meio de um transdutor. Este sinal de tensão é amplificado, e em seguida, filtrado em diversas faixas de frequências e apresentadas nas seguintes formas mais conhecidas:

- Analógica: Indicação, em forma contínua, de valores das variáveis dinâmicas monitoradas (muitas vezes chamados, impropriamente, de amplitudes), em diversas faixas de frequência;

- Digital: Indicação numérica de valores digitalizados (“sample data”) das variáveis dinâmicas monitoradas, em diversas faixas de frequência;

- Gráfica-Registro gráfico digital ou analógico no domínio do tempo ou da frequência;

Por meio da análise espectral, não somente os sinais componentes do sinal global monitorado, bem como o conteúdo de energia de cada componente ou frequência pode ser determinado utilizando-se a técnica chamada de “Fast Fourier Transform” ou FFT.

A figura 2 abaixo ilustra, de forma simplificada, o arranjo dos dispositivos utilizados nesta técnica.

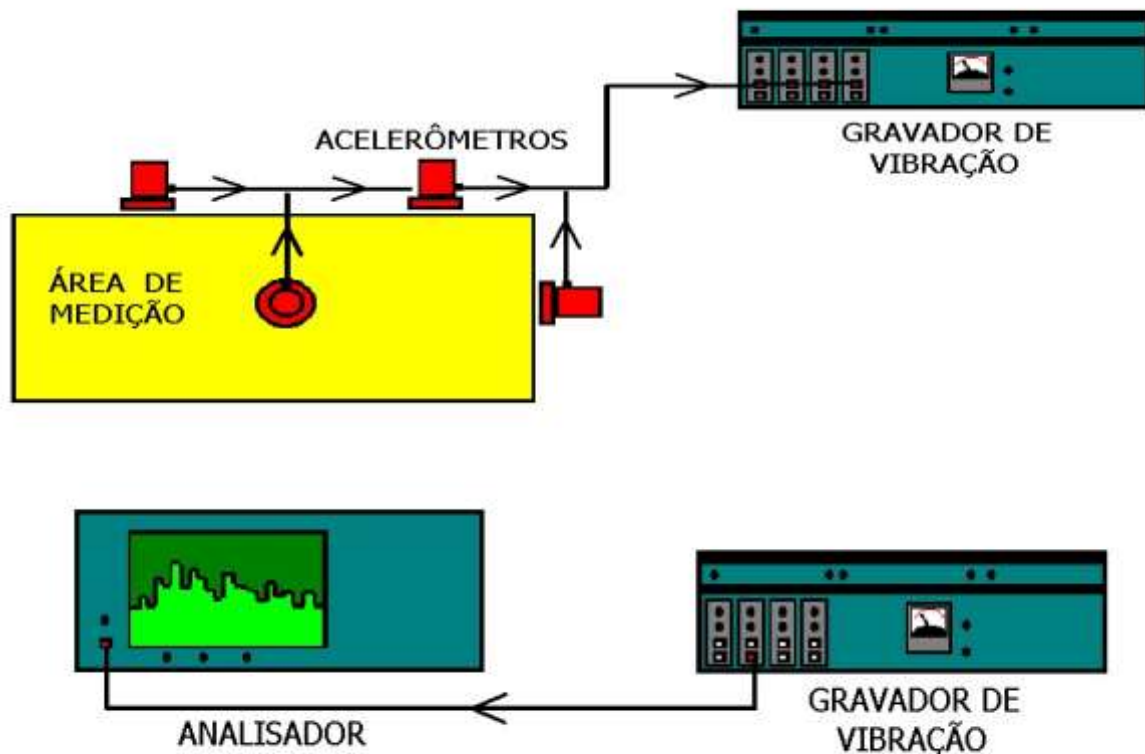


Figura 2- Arranjo dos dispositivos utilizado na técnica de análise de espectro de vibração

O mais importante desta técnica, no que diz respeito à manutenção preditiva, é que ela pode revelar como variáveis dinâmicas normalmente medidas por suas amplitudes, podem

variar de umas análises para outras e mostrar os seus crescimentos em função do tempo e assim permitir a predição de uma falha iminente. Por outro lado, cabe realçar também que problemas como perda de lubrificação, somente se manifestam por uma vibração em fase tardia. Como alternativa, a análise do espectro de vibrações possui uma derivação em seu uso que é a “Detecção de Falhas Incipientes” (DFI) que não se limita à análise individual de componentes, mas abrange também à pesquisa global de defeitos, o que permite detectá-los numa fase inicial, mesmo em equipamentos mecânicos estáticos, como por exemplo, em vasos de pressão (caldeiras a vapor, ebulidores de centrais nucleares) em que a emissão acústica do material sob teste mostrou-se um método bastante sensível para detectar o crescimento subcrítico de fraturas internas e se baseia no exame de vibrações internas em frequências muito altas (ultra-sônicas) em que a influência do ruído de fundo é muito baixa. Esta mesma técnica é utilizada na monitoração de grandes máquinas rotativas, nas quais é necessário detectar defeitos quando eles são ainda muito incipientes, quando a energia correlata emitida se apresenta também em níveis muito baixos. A faixa de frequência mais útil do método é a que se situa entre 80kHz e 120 kHz.

Nesta técnica há três avaliações fundamentais: A do RMS (“root mean square”), a do SAT (“signal above threshold”) e análise espectral. O parâmetro RMS fornece o valor eficaz da amplitude do sinal medido ao longo da faixa de frequência do sistema DFI, obtendo-se uma indicação do ruído global de fricção; o SAT, também chamado fator de crista, é o sinal acima de um limiar estabelecido o qual permite detectar, normalmente, defeitos presentes nos rolamentos e nas superfícies de contato dos equipamentos rotativos; a análise espectral é a avaliação mais significativa entre as três mencionadas, pois as informações obtidas são diretamente relacionadas com a frequência rotacional da máquina e derivada de uma faixa de frequência “silenciosa” e mais sensível a problemas incipientes.

- Promedições sincrônicas ou promedições sincronizadas no tempo (“Synchronous Time Averaging”): baseia-se no cálculo da média das amplitudes de um somatório de medidas feitas a intervalos regulares sob condições consistentes de repetibilidade, em vários ciclos sucessivos de uma onda numa frequência escolhida. Nesta técnica não são necessários os analisadores de FFT, pois se trata de um processo especial de filtragem de sinais digitais feito no domínio do tempo.

Aplica-se em especial, ao diagnóstico de defeitos em engrenagens, rolamentos, eixos, em motores, geradores e transformadores elétricos. A promedição sincronizada somente é possível quando se trata de sinais repetitivos, sendo necessária a aplicação de um pulso de referência que se repete para cada ciclo do sinal escolhido, gerado, normalmente, a partir da rotação de um dos eixos da máquina. Todos os sinais que não têm um número inteiro de ciclos no intervalo entre sucessivos pulsos conduzem a uma média nula ao fim de um número suficiente de pulsos da medição. Por esta razão, somente são detectados, com intensidade média não nula, os sinais com a frequência dos pulsos ou com frequências múltiplas da dos pulsos.

- Termovisão e Termografia: a termovisão é uma técnica de diagnóstico, não destrutiva, que se fundamenta na recepção da radiação do infravermelho (IR) emitida de acordo com a faixa de temperatura em que se encontram os materiais de onde são emanadas as radiações e na transformação da imagem IR que não se localiza no espectro visível em uma imagem no espectro visível. Esta imagem é formada à distância, sem qualquer contato com o equipamento cuja temperatura superficial se quer medir. Devido à possibilidade de quantificação numérica da imagem térmica, a Termografia é muito útil em diagnóstico de manutenção preditiva em equipamentos industriais e de serviços tais como: subestações elétricas de alta tensão, fornos, caldeiras, trocadores de calor, reatores da indústria química e redes de linha elétricas.

A imagem térmica, em associação com a interpretação quantitativa das temperaturas das peças com anomalias, permite a detecção de dos componentes defeituosos e possibilidade de aplicação das técnicas estatísticas para determinação do ponto preditivo.

- Espectrometria do óleo lubrificante: a análise periódica do óleo lubrificante permite a aquisição de dados de interesse para anomalias de funcionamento e, principalmente, o desgaste de componentes. O óleo ao ficar contaminado devido ao uso pode adquirir água, ferrugem, poeira, outros óleos e metais resultantes do desgaste. As principais propriedades de óleo lubrificante cuja alteração pode ser indicadora de envelhecimentos e de anomalias são a densidade, a viscosidade, o ponto de fulgor, a cor, o índice de neutralização (PH), o teor de água e o teor de insolúveis e cinzas.

- Cromatografia: Usada na manutenção preditiva de transformadores elétricos e se baseia na detecção de gases dissolvidos no óleo de um transformador, em que, por exemplo, um sobreaquecimento num contato entre barras com aperto inadequado pode originar a formação do Etileno (C₂H₂), bem como um centelhamento descontínuo pode gerar a formação de Metano (CH₄). Esta análise é feita por meio de cromatógrafos, instrumentos que permitem não somente a identificação dos gases dissolvidos, como também a percentagem presente em p.p.m.

2.5- Testes e instrumentos gerais de parâmetros para a manutenção preditiva

Este item foi incluído neste artigo para fornecer uma idéia de quão abrangentes e numerosas são as técnicas atuais voltadas para a manutenção preditiva, razão pela qual foi reduzido ao mínimo, não sendo, portanto, objeto de aprofundamentos maiores que estenderiam o texto demasiadamente, fugindo dos seus objetivos maiores. As técnicas, de tão abrangentes, fugiriam aos limites do conhecimento do autor e assim, a descrição do funcionamento dos instrumentos, por exemplo, será descartada ao longo deste artigo.

- Testes de parâmetros mecânicos: medição e análise de vibrações, empregando medidores analógicos e digitais de variáveis dinâmicas e instrumentos para análise espectral; medição de espessuras, detecção de defeitos internos e defeitos incipientes (medidor ultra-sônico); testes de motores em carga (freios); medição de dureza superficial;
- Testes de parâmetros elétricos: envolvem medição de resistência de isolamento DC (medidor MEGGER), de perdas dielétricas (medidor DOBLE), da relação de transformação em transformadores (medidor TTR), de baixas de resistências elétricas (medidor DUCTER), de resistência ôhmica (medidores DUCTER, PONTE DE WHEATSTONE, PONTE DE KELVIN), de capacitâncias (com pontes de capacitância), de campo elétrico (medidores do tipo “free body” e do tipo aterrados), de campo magnético (com o MEGGER DE TERRA), de rigidez dielétrica de óleo isolante (com células específicas para este fim, além de testes com geração de corrente e tensões para testes destrutivos e não destrutivos);
- Testes de parâmetros térmicos: envolvem medição direta de temperatura (com o uso de termoresistências, termopares bimetálicos e de dilatação) e medição indireta (com base na medição da resistência dos enrolamentos), além da medição por termovisão e termografia;

- Testes de parâmetros químicos e físicos: envolvem análise dos óleos por Cromatografia (uso de cromatógrafos), medição de teores de umidade e viscosidade e análise de cinzas de óleo lubrificante (por espectrometria);
- Testes de parâmetros eletromagnéticos: envolvem medição de rádio-interferências (RIV), descargas parciais (DP) e interferências telefônicas;
- Testes de parâmetros de tempo: envolvem a medição de simultaneidade de fases de movimentos, para análise de atuação de equipamentos de manobra, por meio de oscilógrafos e contadores de tempo digitais;

3- A EXPERIÊNCIA EM MANUTENÇÃO PREDITIVA NA MARINHA DO BRASIL

3.1-Antecedentes

A repercussão na Marinha do Brasil (MB) quanto à utilização de técnicas do “condition monitoring” na Royal Navy, fez com que, a partir de 1986, o chamado “Setor do Material” da MB começasse a realizar medições dos níveis de vibração gerados por equipamentos, tanto de navios de superfície, quanto de submarinos, passando a formar um banco de dados, realizando análises e gerando competência, objetivando o diagnóstico e a prevenção de falhas e avarias, de modo a identificar ações, preventivas ou corretivas, de manutenção. Como parte desse esforço, haviam sido realizadas, até 1994, medições de vibração nos seguintes equipamentos (BARBOZA TIUDORICO (2004):

- todos os equipamentos rotativos dos 6 (seis) navios varredores da classe Aratu, resultando em recomendações de diversas ações de manutenção;
- motores dos submarinos da ex-classe Humaitá para, com bases nas análises, definir juntamente com o Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro (AMRJ), as necessárias ações de manutenção; e
- vários equipamentos rotativos das corvetas da classe Inhaúma, visando “Avaliação de Engenharia”, termo cunhado no âmbito da própria MB.

Esse esforço não foi em vão, pois em meados da década de 1990, começaram a surgir indícios na MB de uma consciência de que o Sistema de manutenção Planejada (SMP) correntemente nela adotado, primariamente do tipo preventivo periódico (dito calendárico na MB), não mais se apresentava como uma solução única e que a manutenção preventiva preditiva passava a ser objetivo de marinhas mais avançadas e da indústria. Em 1991, o Plano de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Marinha (PDCTM) passou a contemplar um projeto chamado “Manutenção por Diagnose”, com o propósito de desenvolver técnicas que permitissem a realização de diagnóstico ou condição do estado de um equipamento em serviço para orientar as ações de manutenção (BARBOZA TIUDORICO (2004).

As aquisições dos contratorpedeiros (CT) da Classe Pará e do Navio de Desembarque Doca (NDCC) Matoso Maia vieram a confirmar que, de fato, a manutenção preventiva preditiva estava sendo praticada com ênfase pelas marinhas mais avançadas. Isto porque estes navios trouxeram como parte integrante de seus motores diesel (diesel geradores no caso dos CT da Classe Pará e os MCP no caso do NDCC Matoso Maia) o sistema “Automated Diesel Engine Trend Analysis” ou ADETA. Entende-se como “trend analysis”, cujo equivalente em Português é análise de tendências, o processo no qual dados característicos de uma determinada máquina, devidamente transformados em informações na forma de variáveis, são coletados a intervalos regulares sob condições consistentes de repetibilidade, para determinar onde e quando o desgaste de componentes irá exigir ações corretivas. BARBOZA T. (2004).

O sistema fora desenvolvido na U.S. Navy, ainda na década de 1960, com o propósito de estender o intervalo entre “overhauls” dos submarinos convencionais daquela Marinha. Como exemplo, para os submarinos SS 563, este intervalo cresceu de um intervalo entre 3600 a 4800 horas para um valor médio de 12000 horas. O sistema é constituído de sensores para monitoração dos dados de entrada, os quais são processados por um “software” específico, e são produzidos gráficos nos quais um dos eixos coordenados é sempre o número de horas de operação, enquanto no outro eixo, são registrados os valores das seguintes variáveis consideradas altamente relevantes para a caracterização das condições do motor BARBOZA T.L. (2004):

- Pressões de compressão dos cilindros;
- Pressões de queima nos cilindros;
- Temperaturas de descarga dos cilindros;
- Pressão de óleo lubrificante na admissão do motor;
- Posição do êmbolo de força do regulador ou da cremalheira;
- Consumo de óleo lubrificante;
- Vácuo do cárter;
- Pressão do ar de lavagem;

Como resultados práticos se destacaram os empreendimentos promovidos na MB em parceria com a COPPE/UFRJ de três sistemas de software⁴, quais sejam o ATEMEDI, O LUBE e o SAVMAQ. O ATEMEDI tinha como referência o ADETA acima mencionado e obtido junto à U.S. Navy que foi produzido a partir da experiência de operadores experimentados na manutenção de motores Diesel. O ATEMEDI era um sistema especialista, isto é, não necessitava da “expertise” de um especialista para a produção de análise de resultados. O LUBE era também um sistema especialista, similar ao ATEMEDI quanto aos dados de saída, diferindo, entretanto, quanto aos dados de entrada, uma vez que estes dados são obtidos a partir de análises espectrométricas do óleo lubrificante usado no motor Diesel em avaliação. O SAVMAQ era um sistema não especialista, isto é, requerendo a “expertise” de um especialista para a análise dos resultados. Utilizava um coletor de sinais para a aquisição de dados do espectro de vibrações em vários pontos de equipamentos rotativos, permitindo assim a análise por especialista para o fornecimento de diagnósticos de falhas e análise de tendências, como também o gerenciamento de dados que viriam a ser obtidos para os diversos navios da MB. Se atualmente estes sistemas estão desativados não é do conhecimento do formal do autor.

Neste artigo serão apresentados os fundamentos do ADETA, como exemplo de técnica de monitoração preditiva de máquinas alternativas, para as quais as técnicas de análise de vibrações não têm a mesma abrangência e aplicabilidade que aquelas empregadas para máquinas rotativas. Para O ATEMEDI acima mencionado, e concebido com base no ADETA, embora produzido junto à COPPE, não se dispõe de documentação para abordá-lo, uma vez que a sua implementação foi descontinuada na MB por razões financeiras.

Máquinas alternativas como as acima mencionadas, normalmente trabalham conjuntamente com máquinas rotativas na maioria das plantas industriais, portanto uma contínua e sintomática monitoração de máquinas críticas alternativas é de vital importância para uma produção eficiente e lucrativa, da mesma forma que o é para máquinas rotativas. Conseqüentemente, as máquinas alternativas não deveriam jamais estar de fora de qualquer programa de manutenção baseado na condição (“condição based maintenance”) se o programa pretende ser tão efetivo quanto possível.

Enquanto a monitoração de máquinas rotativas tem se beneficiado enormemente, ao longo dos anos, dos desenvolvimentos obtidos pela técnica de análise de vibrações, a monitoração de máquinas alternativas tem geralmente ficado limitada pelas técnicas de

análise de óleo lubrificante, monitoração de temperaturas, análises de pressões e volumes e simples análises de vibrações torcionais.

Os sinais de vibração produzidos por uma máquina rotativa de velocidade constante são considerados estacionários. Isto significa que podemos analisar os sinais a qualquer instante e obter os mesmos resultados, ou seja, se ajustam muito bem a uma variedade de técnicas de vibração, em que a FFT é a mais comum utilizada atualmente. Entretanto, os sinais de vibração emanados de uma máquina alternativa não são estacionários, o que significa que qualquer resultado de qualquer análise será diferente, dependendo do instante em que estes são analisados ao longo de um ciclo, em que diferentes eventos ocorrem tais como a combustão em cada cilindro, aberturas e fechamento de válvulas e esforços instantâneos no pistão. Para se aplicar análises convencionais de vibração com uma série tão complexa de eventos, somente as contribuições médias daqueles específicos poderão ser levadas em conta e, conseqüentemente, alterações em alguns eventos serão provavelmente indetectáveis. O que se pode dizer é que não é de conhecimento do autor nenhuma técnica de vibração atualmente existente, a nível comercial, que consiga levar em conta a uma natureza muito mais complexa e não estacionária do sinal.

3.2- Os fundamentos do “ADETA”, substituído na MB pelo “ATEMDI”, produzido pela COPPE/UFRJ para manutenção preditiva em motores Diesel navais.

Em face do acima discutido, este artigo se limitará a descrever como, na impossibilidade de contar com a análise de vibração de motores diesel, cujas pesquisas correlatas são ainda incipientes, configurando, pelo menos por enquanto, um contexto de inadequabilidade desta técnica a este tipo de máquina, pode-se recorrer a uma técnica alternativa como a do ADETA para a análise da sua condição ou estado, utilizando determinadas informações gráficas traçadas, todas contra o número de horas de operação do motor, para a evolução de variáveis consideradas relevantes para uma análise de tendências. Por questões de clareza, será aqui repetido que, infelizmente, não são disponíveis na MB informações sobre os resultados obtidos com o ATEMDI, pois a sua implementação foi infelizmente descontinuada em face da escassez de recursos financeiros para a sua total implementação e evolução.

De modo a não tornar o texto do artigo muito denso na apresentação de ilustrações gráficas oriundas de análises práticas efetuadas no âmbito da U.S Navy, quando do treinamento da tripulação brasileira que recebeu o NDCC Matoso Maia adquirido àquela Marinha serão descritas como as variáveis consideradas de relevância eram representadas graficamente:

- Pressão nos cilindros e pressão de queima nos cilindros: tanto para uma, quanto para a outra pressão, eram plotados valores para faixas de alta, média e baixa pressão do motor. Em condições normais, estas curvas mantêm-se planas (“flat”) até um ponto em que começam a ficar nitidamente decrescentes (“slopes” negativos), permitindo a possibilidade de estabelecimento do ponto de predição em que o motor requer manutenção, segundo o critério estabelecido. Cabe ressaltar que num motor normal, isto é, sem defeitos de fabricação ou de operação, para as duas variáveis de pressão consideradas, as ordenadas correspondentes às faixas de alta e baixa pressão devem permanecer, ao longo do tempo, distanciado de valor aproximadamente constante em relação à faixa de média pressão.
- Temperaturas de descarga dos cilindros: é um indicador da condição ou estado da válvula de exaustão, como também do balanço de carga do motor. Qualquer variação anormal na temperatura de descarga dos cilindros, sem que haja variações similares

nas várias outras curvas que estão sendo aqui mencionadas, tanto pode ser atribuído à falha no sensor de temperatura (pirômetro ou termopar), neste caso, um falso alarme, quanto uma perda na eficiência do processo de combustão, quando então a curva deixa de ser plana e passa a apresentar um nítido crescimento (“slope positivo”);

- Pressão de óleo lubrificante: é um indicador, principalmente, da condição dos mancais, juntas e válvulas de “by-pass”, podendo haver outras causas menos frequentes. Em condições normais a curva é plana, até um ponto em que começa a ficar nitidamente decrescente. Caso ocorra uma súbita redução na pressão de óleo lubrificante, o estabelecimento do ponto preditivo deixa de ser possível, pois na verdade uma falha imprevisível já ocorreu e todo o sistema requer exame para identificar a sua fonte.
- Consumo de óleo lubrificante: aqui entendido como a média de óleo lubrificante utilizado por hora, desde a última coleta de dados para avaliação de tendência, ou seja, não é o valor instantâneo do consumo específico. As ordenadas desta curva são inicialmente elevadas, decrescendo depois para um patamar onde permanecem planos por certo tempo, até que os anéis do pistão(s) ou do cilindro(s) começam a se desgastar à medida que se aproximam da condição que deve ser o ponto preditivo. Caso ocorra um aumento significativo no consumo de óleo lubrificante, uma avaliação deve ser feita para identificar se o óleo está sendo, de fato, consumido pelo motor, caso em que já há falha que inviabilizou a determinação do ponto preditivo, ou se este consumo é devido a vazamentos e perdas no sistema de óleo lubrificante externo ao motor.
- Posição do êmbolo de força do regulador ou da cremalheira: é um importante indicador global da condição ou estado do motor ou do sistema de óleo combustível, isoladamente. À medida que o motor se aproxima do ponto preditivo, a curva que estava plana, começa a ser nitidamente crescente (“slope positivo”), normalmente indicando deterioração da bomba de óleo combustível ou perda da eficiência do processo de combustão (ilustrado na figura 6 do anexo).
- Vácuo do Carter: é um indicador da condição de anel, pistão, cilindro ou cárter. Esta curva é normalmente plana, até que alguma anormalidade a faça crescer ou decrescer. Se a variação for abrupta, uma falha já ocorreu e perdeu-se a previsibilidade do ponto preditivo, como ocorre no caso de uma trinca no pistão, desgaste nos anéis ou cilindros fazendo com que a insuflação de ar cresça, causando um acréscimo de pressão ou, equivalentemente, perda de vácuo no cárter. Se o vácuo decresce, sem nenhuma outra alteração em qualquer outro indicador, o sistema de lavagem do cárter deve ser verificado quanto à normalidade de sua operação, em suma o sistema de ventilação do cárter (ilustrado na figura 7 do anexo);
- Pressão do ar de lavagem: esta curva é normalmente plana. Caso ela venha a se tornar crescente, isto é uma indicação de obstruções que podem ser tanto no sistema de admissão, quanto no de exaustão de ar; caso venha a se tornar decrescente, há indicações de alguma anormalidade no sistema de filtragem, na admissão, ventilador ou turbocarregador. Se a variação é abrupta, em ambos os casos, há necessidade de imediata verificação (ilustrado na figura 8 do anexo).

Infelizmente, não se dispõe de dados para apresentar uma análise de caso ocorrido na própria MB, após a implementação do “ATEMDI” produzido pela COPPE/UFRJ, em substituição e modernização do “ADETA”, pelas razões já mencionadas.

3.3- O atual “status” da análise de vibrações na MB, visando a manutenção preditiva.

Hoje a Marinha Brasileira, após ter há cerca de vinte anos iniciado ações isoladas na “Diretoria de Engenharia Naval” (DEN), voltadas para a utilização da análise de vibrações e ruído acústico, não somente no que compete à caracterização de assinaturas acústicas de equipamentos, complementando o trabalho realizado pelo Instituto de Pesquisas da Marinha, com a utilização de sua raia acústica em Cabo Frio para a caracterização das assinaturas acústicas de seus meios navais, mas também para as manutenções preventiva e preditiva, esta última para tornar a primeira mais flexível, no que compete ao intervalo entre revisões dos principais equipamentos. Por esta razão, na MB, a manutenção preditiva é chamada, mais precisamente, de preventiva preditiva e é executada quase que integralmente pelo “Laboratório de Choque, Vibração e Ruído” do “Centro de Projetos de Navios” (CPN).

Embora o Laboratório acima mencionado esteja modernamente instrumentado, não existem nos navios sistemas de monitoração contínua (sensores de bordo) para que as próprias tripulações façam o permanente acompanhamento dos equipamentos principais, pelo menos. Assim, o Laboratório segue um programa de medições a bordo dos navios, ou seja, **monitoração intermitente a intervalos quase regulares**, pois os programas de treinamento, com saídas dos navios para diferentes missões, impedem uma regularidade mais sistemática.

Em que pese a existência deste programa, não é incomum o fato de o Laboratório ser chamado para examinar um problema de vibração detectado pela própria tripulação, como será ilustrado na análise de caso apresentada neste artigo. A experiência adquirida pelo Laboratório, juntamente com os dados coletados ao longo dos anos, permite identificar que em cerca de 90% dos casos de nível de vibração excessiva, segundo critérios das normas adotadas na MB, que são a ISO 2372 e a MIL STD 1671, têm suas causas atribuídas a desbalanceamento, desalinhamento e folgas (entre partes rotativas e não rotativas), nesta ordem de hierarquia; os cerca de 10% restantes estão diluídos em causas diversas como, por exemplo, aquelas constantes do manual de orientações da empresa “Brüel & Kjaer” de renome internacional neste campo. Os critérios para limites toleráveis estabelecidos pelas normas acima são apresentados de forma gráfica nas figuras 3 e 4, para o caso de carcaças e mancais de turbinas. Note que, nestas figuras, as tolerâncias para acelerações (rms, m/s^2), velocidades (rms, mm/s) e deslocamentos (zero a pico em milésimos de polegadas (mils) são apresentadas aproveitando os mesmos valores referidos no eixo das ordenadas, por uma questão de praticidade. A figura 5 apresenta um quadro gráfico comparativo entre os limites toleráveis de vibração estabelecidos pelas várias classes de aplicações da ISO 2372 e a MIL STD 1671. Tendo em vista a análise de caso que será apresentada a seguir, cabe mencionar que este se insere na classe III da ISO 2372 aplicável a equipamentos de alta potência com montagem rígida, isto é, sem calços flexíveis.

No caso de desbalanceamento, os altos níveis de vibração são, predominantemente na direção radial, sendo que a equipe do Laboratório já possui a “expertise” para afirmar que o desalinhamento somente fica configurado quando a frequência de vibração axial é, no mínimo, cerca de 60% maior que a frequência de vibração radial.

MIL STD 167-1 - TURBINAS

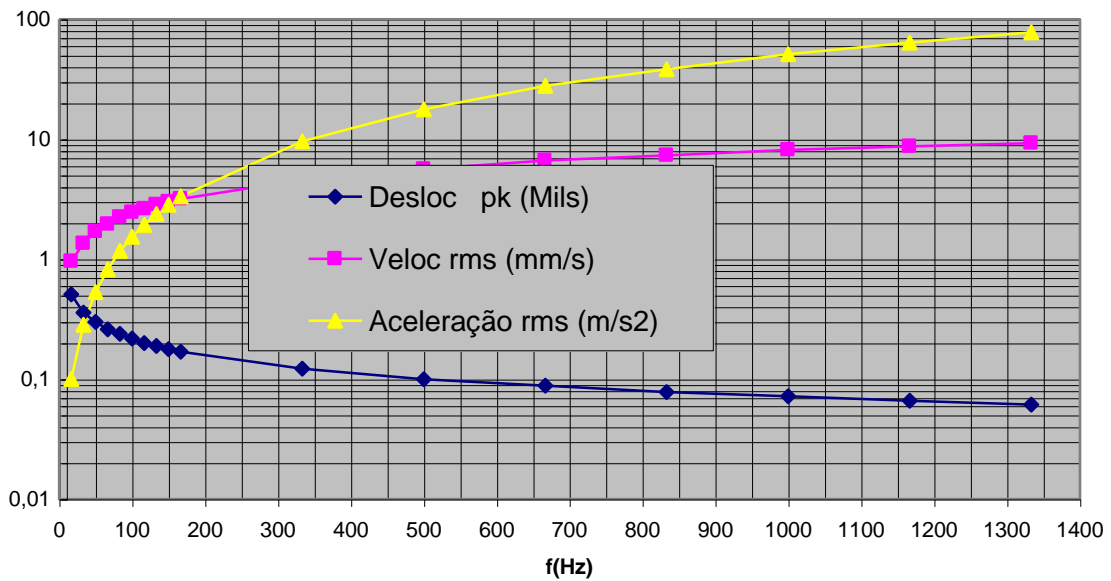


Figura 3- Representação gráfica dos limites toleráveis estabelecidos pela MIL STD 167-1 para níveis de vibração em carcaças de turbinas navais.

MIL STD 167-1 - Bearing

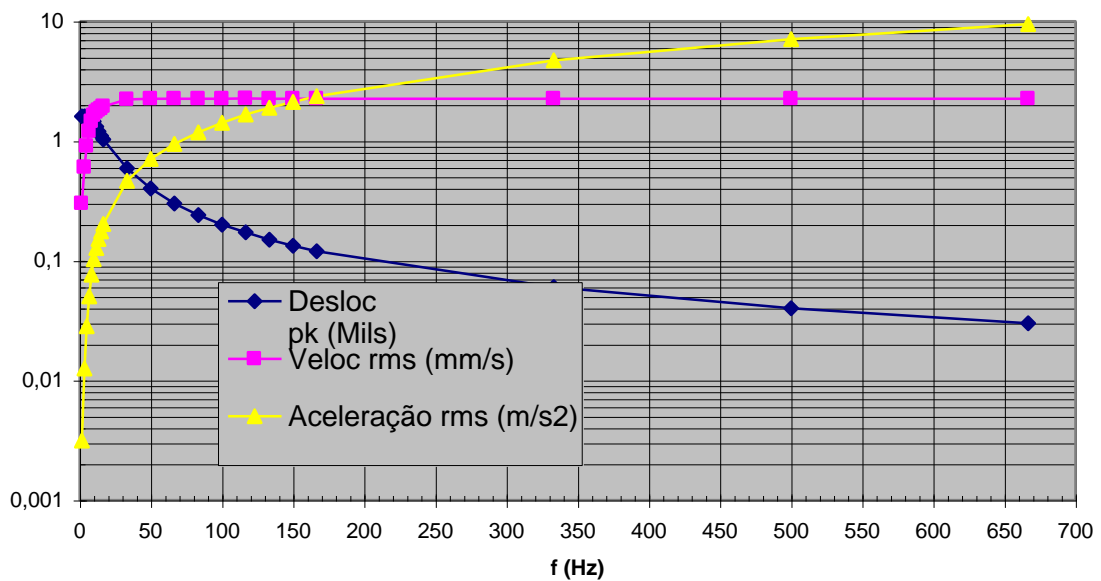


Figura 4- Representação gráfica dos limites toleráveis estabelecidos pela MILSTD 167-1 para mancais de turbinas navais

As tolerâncias para acelerações (rms, m/s^2), velocidades (rms, mm/s) e deslocamentos (zero a pico em milésimos de polegadas ou mils) são apresentadas aproveitando os mesmos valores referidos no eixo das ordenadas, por uma questão de praticidade.

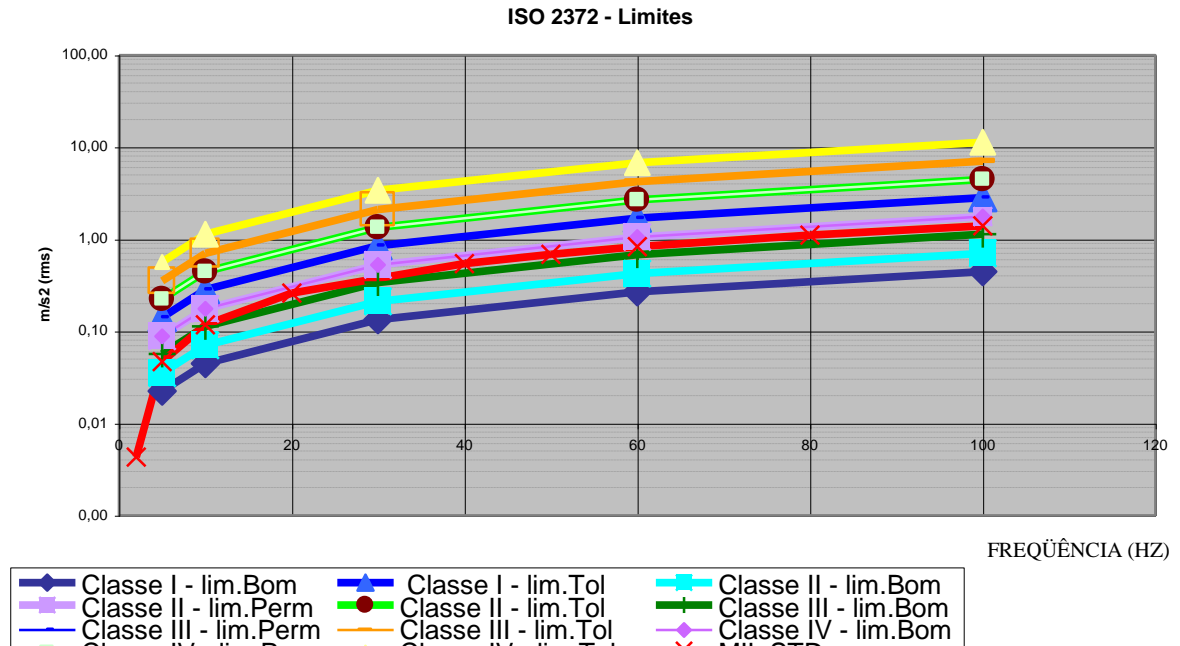


Figura 5- Comparação gráfica dos limites toleráveis de vibração estabelecidos pela MIL STD 167-1 e a ISO 2372 para mancais em turbinas navais

3.4-Um exemplo de caso na MB

Para contextualizar o que foi dito no item anterior, será apresentada, a seguir, um exemplo de caso, seguido de sua análise, para configurar vários casos semelhantes encontrados pela equipe do Laboratório e que surgiu, como já foi dito, como fruto da observação da tripulação de um dos navios da MB, cujo indicativo não será citado, por razões de confidencialidade. Foi identificada, de forma intuitiva, pelos componentes da tripulação que operam a propulsão do navio, um nível de vibração elevado na turbina de alta pressão de bombordo (do lado esquerdo para o observador que olha no sentido da popa para a proa do navio). A configuração da planta da propulsão é constituída de dois grupos idênticos ao ilustrado, esquematicamente, na figura na figura 6 para a planta de bombordo, lado em que a anomalia ocorreu.

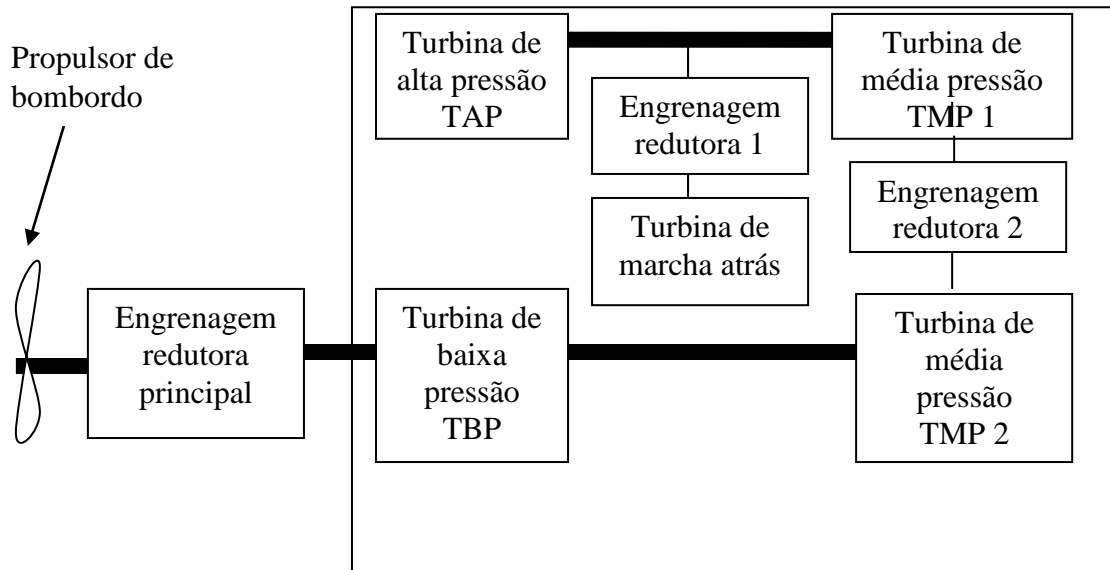


Figura 6- Arranjo esquemático da configuração da planta propulsora de bombordo

Realizadas as primeiras medições, as quais estão correlacionadas com as fotos 1, 2 e 3, posteriores medições feitas um ano após confirmaram o estado ou condição do equipamento, permitindo razoável grau de predição. Os resultados das medições e suas análises estão mostradas na coletânea de gráficos condensada na figura 7 a seguir.

NAVIO "X"

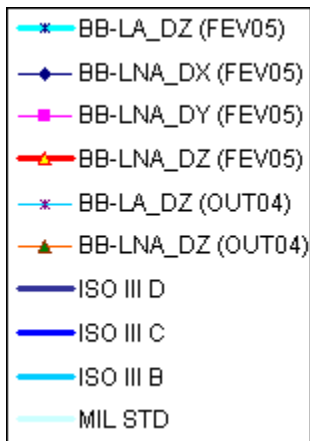
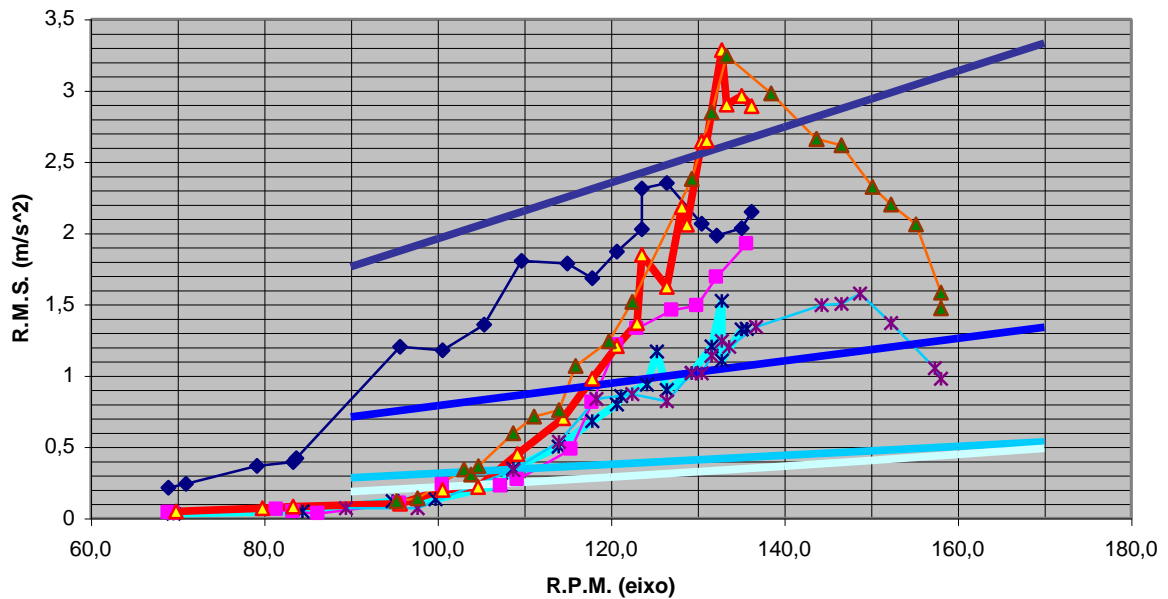


Figura 7- Resultados das medições de nível de vibrações para a turbina de alta pressão de bombordo do navio em pauta

LEGENDAS ADICIONAIS:

X E Z- Direções radiais
 Y- Direção longitudinal
LA- Lado acoplado
LNA- Lado não acoplado

Feito o diagnóstico, que concluiu pela existência inequívoca de desbalanceamento e um muito provável desalinhamento, o Laboratório que, normalmente também faz o prognóstico, para subsidiar decisões, no caso analisado emitiu o seguinte parecer:

- Evitar operar, continuamente, o navio entre 135 e 145 rpm, no eixo de bombordo, em função dos resultados das medições realizadas para a turbina de alta pressão deste bordo;
- Evitar passagens frequentes por esta faixa de rotação;
- Caso não haja possibilidade imediata de balanceamento, efetuar novas medições de vibração na turbina de alta pressão de bombordo, ao se completarem 250 horas de operação.

Cabe observar que a 3ª recomendação entre as três mencionadas acima, estabelece uma predição, o que não seria possível fazê-la sem a cultura, a visão e a base de dados já organizados na MB voltados para a manutenção preditiva utilizando técnicas de análise de vibrações.



Foto Nº 1- Vista da turbina de alta pressão de bombordo e do interior da praça de máquinas, lado acoplado



Foto N° 2- Mostra a conexão dos acelerômetros na carcaça do mancal de sustentação da turbina de alta pressão de bombordo, do lado não acoplado.



Foto N° 3- Mostra um “zoom” de uma das conexões dos acelerômetros na carcaça do mancal de sustentação da turbina de alta pressão de bombordo, do lado não acoplado.

4- CONCLUSÕES

A prática da manutenção preditiva em marinhas avançadas como a Royal Navy, objeto de artigo pelo autor, enumerado na lista de referências, mostra que esta não é uma abordagem a ser contemplada somente por empresas, mas também no âmbito das Forças Armadas em que, sem dúvidas, a Marinha do Brasil é precursora. Com investimentos em C&T, o que requer que os orçamentos permitam, tais técnicas, mais e mais, chegarão para ficar, já que o tempo é o grande inovador.

REFERÊNCIAS

- (HORTA SANTOS) (1996) -“Manutenção Preditiva”- Núcleo de Treinamento Tecnológico (NTT), Rio de Janeiro, Brasil;
- ((Lawrence H.V. V. (1977)-“Princípios de Ciência dos Materiais- Michigan University, U.S. A-Tradução EPUSP;
- I.S.S.C (1967)-International Structure Society Committee;
- (W.N. WATSON) (1989)-“Condition Based Maintenance in the Royal Navy, Centenary Year Conference 1989-Royal Naval Engineering College Manadon U.K;
- (TIUDORICO LEITE BARBOZA) (2004)-“A Logística De Manutenção Na MB e a Influência da Filosofia de Manutenção de Outras Marinhas no Seu Desenvolvimento”-Revista Marítima Brasileira, volume 124 abr.il/junho 2004;
- OPNAV INSTRUCTION 9233.2^A (1992)-“U.S.Navy Automated Diesel Trend Analysis Program”
- (SERRIDGE M.) (1991)-“Cyclic analysis: An on-line and off-line automated technique for the vibration monitoring of reciprocating machines”- Condition Monitoring System (CMS) Group-Brüel &Kjaer- COMADEM 91