

MARINHA DO BRASIL  
DIRETORIA DE ENSINO DA MARINHA  
CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE WANDENKOLK

CURSO DE APERFEIÇOAMENTO AVANÇADO EM  
PROPULSÃO NAVAL

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

MANUTENÇÃO PREDITIVA APLICADA AOS NAVIOS DA MARINHA DO BRASIL E  
ESTUDO DE CASO

CAPITÃO-TENENTE RAFAEL PINTO ROIFFÉ

Rio de Janeiro  
2020

CAPITÃO-TENENTE RAFAEL PINTO ROIFFÉ

MANUTENÇÃO PREDITIVA APLICADA AOS NAVIOS DA MARINHA DO BRASIL E  
ESTUDO DE CASO

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Propulsão Naval.

Orientadores:

Engenheiro Luiz Augusto Rocha Batista

Capitão-tenente (EN) Sá dos Reis

## **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**CAPITÃO-TENENTE RAFAEL PINTO ROIFFÉ**

**MANUTENÇÃO PREDITIVA APLICADA AOS NAVIOS DA MARINHA DO BRASIL E  
ESTUDO DE CASO**

Monografia apresentada ao Centro de Instrução Almirante Wandenkolk como requisito parcial à conclusão do Curso de Aperfeiçoamento Avançado em Propulsão Naval.

Aprovada em \_\_\_\_\_

Banca Examinadora:

---

Luiz Augusto Rocha Batista, D.Sc. – UFRJ

---

CC (RM-1) Carlos Alfredo Orfão Martins, M.Sc. – UFRJ

---

Capitão-tenente (EN) Sá dos Reis

## MANUTENÇÃO PREDITIVA APLICADA AOS NAVIOS DA MARINHA DO BRASIL COM ESTUDO DE CASO

### **Resumo**

O presente trabalho expõe os principais conceitos de manutenção, suas subdivisões mais comuns na literatura, bem como as principais técnicas de manutenção preditiva. É apresentado também um histórico da manutenção na Marinha do Brasil, de forma a contextualizar e entender como está sendo aplicada a manutenção preditiva nos seus navios, tendo em vista a restrição orçamentária e idade avançada dos navios. Por fim, será apresentado um relatório com o diagnóstico da análise de vibração, realizada em equipamentos de um dos navios da Marinha do Brasil, de forma a mostrar a eficiência e as possibilidades do uso dessa técnica de manutenção preditiva.

**Palavras- chave:** Manutenção, manutenção preditiva, análise de vibração, Marinha do Brasil.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Acelerômetro Pizoelétrico .....	25
Figura 2 – Revelações típicas com o uso do líquido penetrante .....	28

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Evolução da manutenção .....	30
Gráfico 1 - Evolução da demanda dos serviços do CPN nos últimos anos .....	39

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Técnicas Preditivas .....	23
--------------------------------------	----

## LISTAS DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ADETA	<i>Automated Diesel Engine Trend Analysis</i>
AMRJ	Arsenal de Marinha no Rio de Janeiro
ATENDI	Análise de Tendências de Motores Diesel
CCI	Corvetas Classe inhaúma
COPPE	Instituto Alberto Luiz Coimbra de Pós-Graduação e Pesquisa de Engenharia
CPN	Centro de Projetos de Navios
CT	Contratorpedeiros
DN	Distrito Naval
EUA	Estados Unidos da América
FCN	Fragatas classe Niterói
FCG	Fragatas classe Greenhalgh
IAM	Inspeção Administrativo-Militar
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
LUBE	Sistema de Análise Químico/Metálico de Óleos Lubrificantes de Motores Diesel
MB	Marinha do Brasil
MCA	Motor de combustão auxiliar
MCP	Motor de combustão principal
MP	Manutenção Preditiva
NDCC	Navio de Desembarque de Carros de Combate
OM	Organização Militar
OMPS	Organização Militar Prestadora de Serviço

RN	<i>Royal Navy</i>
SAVERA	Sistema de Medição e Análise de Vibração de Equipamentos Rotativos e Alternativos
SAVMAQ	Sistema de Análise de Vibração de Máquinas Rotati
SMP	Sistema de Manutenção Planejada
UFRJ	Universiade Federal do Rio de Jjaneiro
USN	<i>United States Navy</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>1.1 Breve Histórico da Manutenção .....</b>	<b>12</b>
<b>1.2 Apresentação do Problema.....</b>	<b>13</b>
<b>1.3 Justificativa e Relevância .....</b>	<b>13</b>
<b>1.4 Objetivos .....</b>	<b>14</b>
<b>1.5 Metodologia .....</b>	<b>14</b>
<b>2. REFERENCIAL TEÓRICO .....</b>	<b>16</b>
<b>2.1 Conceito de Manutenção .....</b>	<b>16</b>
<b>2.2. Manutenção Corretiva.....</b>	<b>17</b>
<b>2.3 Manutenção Preventiva .....</b>	<b>18</b>
<b>2.4 Manutenção Preditiva.....</b>	<b>19</b>
2.4.1 Técnicas Preditivas .....	21
2.4.1.1 Análise de Vibração.....	23
2.4.1.2 Radiações Ionizantes .....	26
2.4.1.3 Energia Acústica (Ultra-som).....	26
2.4.1.4 Energia Eletromagnética.....	27
2.4.1.5 Líquidos Penetrantes.....	27
2.4.1.6 Análise Óleos Lubrificantes .....	28
<b>2.5 Manutenção Detectiva .....</b>	<b>28</b>
<b>2.6 Engenharia de Manutenção .....</b>	<b>29</b>
<b>3. MANUTENÇÃO NA MARINHA DO BRASIL .....</b>	<b>31</b>
<b>3.1 Histórico da Manutenção na MB.....</b>	<b>31</b>
<b>3.2 Manutenção Preditiva na MB .....</b>	<b>33</b>
3.2.1 Antecedentes.....	33
3.2.2 Situação Atual.....	36
<b>4. ESTUDO DE CASO .....</b>	<b>42</b>
<b>4.1 Referências.....</b>	<b>42</b>
<b>4.2 Instrumentação Utilizada .....</b>	<b>42</b>

<b>4.3 Procedimento experimental.....</b>	<b>43</b>
<b>4.4 Resultados Obtidos e Análise .....</b>	<b>43</b>
<b>4.5 Recomendações.....</b>	<b>46</b>
<b>4.6 Conclusões do Estudo de Caso .....</b>	<b>49</b>
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>50</b>
<b>5.1 Considerações Finais.....</b>	<b>52</b>
<b>5.2 Sugestões para Futuros Trabalhos .....</b>	<b>52</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>53</b>

# 1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a função da manutenção tem-se demonstrado como uma das mais importantes, tanto para diminuição dos custos de produção como para redução dos impactos ambientais causados pela indústria. Como consequência, essa área tem experimentado grandes investimentos e vem acompanhando a evolução tecnológica. Sendo assim, buscam-se alternativas para evitar a falha (soluções que conduzem ao aumento da eficácia), em detrimento da repetida correção, ainda que esta se dê da melhor forma possível. Dessa maneira, uma manutenção eficaz e eficiente se tornou primordial não apenas para o sistema de produção, mas para toda empresa ou instituição.

## 1.1 Breve Histórico da Manutenção

A contar a partir dos anos de 1930, Kardec e Nascif (2009) dividem e explicam a evolução da manutenção em quatro gerações:

- A Primeira geração abrange o período antes da Segunda Guerra Mundial, quando a indústria era pouco mecanizada e os equipamentos eram simples. Além disso, em função do cenário econômico da época, não se priorizava a produtividade. Em consequência, não existia uma manutenção sistematizada, e os reparos eram feitos basicamente após a quebra do equipamento, ou seja, era utilizada a manutenção corretiva não planejada. Dessa forma, buscava-se aperfeiçoar a habilidade de executar o reparo da melhor forma possível.
- A Segunda Geração ocorre entre as décadas de 1950 e 1970. Durante a guerra ocorreu um grande crescimento da mecanização e evolução das máquinas industriais, principalmente devido a um forte aumento da demanda por todo tipo de produtos e redução da mão de obra. Então, a produtividade começou a ganhar importância e agora que a produção dependia em grande parte das máquinas, surgiu a preocupação de evitar as falhas dos equipamentos, resultando no conceito de manutenção preventiva. Desde já, foi percebido que os custos para se realizar este tipo

de manutenção eram altos e buscou-se formas de aumentar a vida útil dos itens dos equipamentos.

- A Terceira Geração se estende do início da década de 1970 até antes da metade dos anos 90. Ainda na década de 1970, adotou-se o sistema *Just in time*, tornando-se uma tendência mundial, trazendo a idéia de que pausas na produção poderiam comprometer o atendimento da demanda em razão dos baixos estoques mantidos. Confiabilidade e disponibilidade se tornaram pontos-chaves, tendo em vista que os padrões de exigência em segurança e meio ambiente aumentaram rapidamente. Sendo assim, o conceito de manutenção preditiva e o avanço da informática permitiram a utilização de computadores para o planejamento, controle e acompanhamento dos serviços de manutenção.
- A Quarta Geração se inicia antes da metade da década de 1990 e se estende até hoje. Nela, busca-se cada vez mais uma garantia de disponibilidade e confiabilidade, tendo como desafio a redução de falhas prematuras. Então a prática de análise de falhas torna-se uma metodologia consagrada e capaz de melhorar o desempenho dos equipamentos de uma empresa e com o objetivo de intervir o mínimo possível na planta, as práticas de manutenção preditivas são cada vez mais usadas. Consequentemente, há uma redução da utilização das manutenções preventiva e corretiva não planejada, ao passo que esta última se torna indicadora da ineficácia da Manutenção.

## **1.2 Apresentação do Problema**

O orçamento restrito da MB, o envelhecimento dos seus navios e uma estrutura de manutenção que não acompanha as tendências atuais, tem contribuído para que esta área seja muito onerosa para a instituição.

## **1.3 Justificativa e Relevância**

A preocupação em aplicar da melhor maneira possível os recursos disponíveis, exigem que a Marinha busque formas alternativas de se aumentar a eficiência e a eficácia na realização da manutenção dos seus navios. Para tal , é necessário compreender os diferentes tipos de manutenção e como um dos seus mais importante métodos, a preditiva, está inserida na MB.

## **1.4 Objetivos**

O trabalho tem o intuito de apresentar os principais conceitos e características dos tipos de manutenção, bem como algumas de suas vantagens e desvantagens, que poderá servir de auxílio para pesquisas e outros trabalhos. Também é objetivo deste trabalho abordar como a Marinha tem aplicado os tipos de manutenção em seus navios e, baseado nos conceitos supracitados, fazer uma contribuição para melhorar este processo.

Mostrar, através de um estudo de caso, que com a implementação da manutenção preditiva é possível prever o estado de um equipamento, bem como de suas partes. E, a partir disso, identificar e prevenir eventuais falhas, das mais simples as mais complexas, e sugerir um procedimento para conservação do equipamento.

## **1.5 Metodologia**

Foi realizada uma pesquisa bibliográfica a partir de periódicos, livros técnicos e artigos, com o objetivo de fundamentar os conceitos e métodos de manutenção. Além disso, procedeu-se análise documental dos manuais, normas técnicas e publicações da MB que tratam sobre o assunto.

Gil (2007, p. 58) conceitua o estudo de caso como um estudo aprofundado sobre objetos que podem ser um indivíduo, uma organização, um grupo ou um fenômeno e que pode ser aplicado nas mais diversas áreas do conhecimento. Sendo assim, lançou-se mão dessa ferramenta para obtenção de informações que permitam atingir os objetivos.

Foi realizada também uma entrevista de campo com o pessoal que realiza a manutenção preditiva no âmbito da Força, com o intuito de entender, na prática, como funciona o mecanismo burocrático para a realização deste tipo de manutenção.

## 2. REFERENCIAL TEÓRICO

Nesse capítulo serão apresentados conceitos básicos de manutenção e seus principais tipos, bem como suas vantagens, desvantagens, buscando entender suas aplicações.

### 2.1 Conceito de Manutenção

No EMA-420, publicação da MB que trata sobre as Normas para Logística do Material, a manutenção é definida como “o conjunto de atividades técnicas e administrativas que são executadas visando manter o material na melhor condição para emprego com confiabilidade, segurança e custo adequado e, quando houver avarias, reconduzi-lo àquela condição” (BRASIL,2002, p. 3-1).

Segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994), manutenção é: “[...] combinação de todas as ações técnicas destinadas a manter ou recolocar um item em um estado no qual possa desempenhar uma função requerida.”

A partir dessas definições, que são afins, podemos supor que existem modos diferentes de se realizar as ações que garantam o bom funcionamento de uma máquina. Para Viana (2002, p.9) “[...] muitos autores abordam os vários tipos de manutenção possíveis, que nada mais são do que as formas como são encaminhadas as intervenções nos instrumentos de produção”. A manutenção pode ser dividida em inúmeras subáreas. Apesar de existirem outras, existe um consenso entre os autores nas classificações a seguir:

- Manutenção Corretiva;
- Manutenção Preventiva;
- Manutenção Preditiva;
- Manutenção Detectiva;
- Engenharia de Manutenção.

A MB não possui o conceito, em suas publicações relacionadas à manutenção, das duas últimas classificações. Entretanto ela inclui a definição de Manutenção Modificadora,

que não foi encontrada nas outras referências utilizadas neste trabalho. A publicação EMA-420 (2002, p.3-3) a define como “ações de manutenção destinadas a adequar o equipamento às necessidades ditadas pelas exigências operacionais ou ainda para otimizar os trabalhos da própria manutenção” e a MATERIALMARINST Nº 33-01 (2010, p. 6) acrescenta que para o caso de manutenção de *softwares*, há duas subdivisões:

- a) manutenção adaptativa – adaptações no software provenientes de alterações do ambiente tecnológico; e
- b) manutenção adaptativa – adaptações no software provenientes de alterações do ambiente.

## 2.2. Manutenção Corretiva

Geralmente, a Manutenção Corretiva provém de dano não previsto ao equipamento e está associada a elevado custo e perda da disponibilidade de um meio. A quebra aleatória de um equipamento pode gerar a parada brusca num sistema de grande monta e danificar outros componentes que, até aquele momento, funcionavam perfeitamente.

Para Viana (2002, p.10) “[...] manutenção corretiva é a intervenção necessária imediatamente para evitar graves consequências aos instrumentos de produção, à segurança do trabalhador ou ao meio ambiente”.

A norma NBR 5462 (ABNT,1994) descreve a manutenção corretiva como aquela feita após o acontecimento de uma falha em um item, com o objetivo de devolvê-lo em condições de realizar sua função.

No âmbito da MB, o EMA-420 (BRASIL, 2002, p. 3-3) define a Manutenção corretiva como o “tipo de manutenção que se destina a reparar ou recuperar o material danificado para repô-lo em condições de uso” e o EMA-400 (BRASIL,2003) acrescenta uma divisão desse conceito:

- Manutenção Corretiva não planejada: Também conhecida por emergencial ou não-programada, é executada após uma falha imprevista onde haja a

necessidade de intervenção imediata para a correção do problema, ou seja, não houve tempo hábil para a planejar o serviço. Normalmente é a mais onerosa, podendo provocar perda de produção e de qualidade do produto e gastos com aquisição emergencial de material.

Manutenção Corretiva planejada: nessa modalidade, há uma percepção na queda do padrão de funcionamento da máquina, obtida por uma monitoração preditiva. Ou seja, há um tempo para planejar a manutenção antes da falha, podendo, até mesmo, ser opção do gerente, de não realizá-la imediatamente. Graças à possibilidade de planejamento, essa modalidade exige menos tempo e custo que a anterior.

### **2.3 Manutenção Preventiva**

Manutenção preventiva é uma manutenção planejada, que é baseada nos históricos de quebras em funcionamento, ou das revisões periódicas realizadas. A idéia central é reduzir, evitar a falha ou queda no desempenho, obedecendo a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo, que geralmente são estabelecidos em manuais técnicos.

De acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 1994, p. 7) Manutenção Preventiva é definida “[...] como a manutenção efetuada em intervalos predeterminados, ou de acordo com critérios prescritos, destinada a reduzir a probabilidade de falhas ou a degradação”.

A publicação MATERIALMARINST 33-01 prevê que a manutenção preventiva “deve obedecer a um plano previamente elaborado, baseado em intervalos definidos de tempo (dias, semanas, meses, etc.) ou no uso do equipamento/sistema (partidas, distâncias percorridas, etc.) ” (BRASIL, 2010, p.5). A bordo dos navios da MB, grande parte dessa manutenção é realizada a partir das horas de funcionamento do equipamento, por isso é muito importante um controle eficiente dessas horas nos livros de registro.

A manutenção preventiva atua de forma a reduzir e evitar falhas e, se realizada de forma correta, possibilita ações previamente conhecidas, permitindo um melhor

gerenciamento das tarefas e emprego dos recursos. Além disso, como sabe-se quando e quais peças serão trocadas, proporciona uma boa previsão do emprego de sobressalentes e outros materiais. Entretanto, possui pontos negativos como a retirada do equipamento do sistema de operação, gerando a indisponibilidade do meio. Além disso, se a intervenção não for realizada de forma eficaz, pode introduzir aos sistemas defeitos outrora inexistentes, como, por exemplo: contaminação nos sistemas de óleo, danos durante partidas e paradas, falhas decorrentes de reposição errônea de sobressalentes. Por isso, deve ser utilizada quando razões de segurança do pessoal, do equipamento ou do meio ambiente assim a exigir ou por oportunidade em razão da manutenção de equipamento de difícil liberação operacional. Caso contrário, a manutenção preventiva deve ser preterida pela preditiva (Kardec e Narcif, 2010).

## 2.4 Manutenção Preditiva

Kardec e Narcif (2010) apresentam a quebra de paradigma na manutenção como sendo a inserção da preditiva, tendo em vista que as manutenções preventivas e corretiva sempre foram as mais empregadas e consideradas as mais eficientes. A quebra de paradigma diz respeito à mudança cultural que deve ser implementada na organização para a conscientização de novas práticas de manutenção. Isto é, são ações que devem ser executadas no ambiente laboral de forma a se opor a resistência natural do gestor de máquina (ou manutenção) e sua equipe à mudança.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas define manutenção preditiva como:

“Manutenção que permite garantir uma qualidade de serviço desejada, com base na aplicação sistemática de técnicas de análise, utilizando-se de meios de supervisão centralizados ou de amostragem, para reduzir ao mínimo a manutenção preventiva e diminuir a manutenção corretiva”. (BRASIL, 1994, p.7).

No âmbito da MB, o conceito dessa modalidade aparece na publicação EMA-420:

“Esta Manutenção é constituída pelo conjunto de medidas, com base em modificações de parâmetros de condições ou desempenho, que tem como propósito caracterizar, acompanhar, diagnosticar e analisar a evolução do estado de equipamentos e sistemas, subsidiando o planejamento e a execução de ações de manutenção para quando forem efetivamente necessárias, a fim de prevenir a ocorrência de falhas e avarias, permitindo a operação contínua pelo maior tempo possível.” (BRASIL, 2002, p. 3-3).

Kardec e Narcif (2002) definem manutenção preditiva como toda atividade de monitoramento, que tenha parâmetros científicos para coleta, registro e estudo, onde se obtenham dados com os quais se possam realizar uma análise de tendências, emissão de diagnóstico e tomada de decisão. Isso envolve métodos simples de acompanhamento, como por exemplo, a medição do nível de um reservatório de óleo, e também técnicas complexas como a análise de vibração e emissão acústica, onde são utilizados computadores e equipamentos sofisticados.

De acordo com Kardec e Nascif (2010), a manutenção preditiva privilegia a disponibilidade, à medida que os parâmetros de desempenho são acompanhados com o equipamento em operação, não necessitando interromper seu funcionamento. Através desse acompanhamento, tem-se a real noção do grau de degradação, e quando esta se aproxima ou atinge o limite prestabelecido para a variável monitorada, é tomada a decisão de intervenção. Este processo permite um adiantamento ou atraso na realização da intervenção, dando liberdade para decidir o momento mais propício para tal. Quando é decidido parar o equipamento, o que se faz, na verdade, é uma manutenção corretiva planejada.

Almeida (2008) acrescenta que pela manutenção preditiva é possível diminuir o escopo dos demais serviços de manutenção de um equipamento, reduzir paradas de emergência, evitar desmontagens desnecessárias com isso, aumenta-se a confiabilidade, melhora-se o desempenho e amplia-se a vida útil do equipamento.

Apesar de todas as vantagens, a manutenção preditiva não deve ser utilizada em qualquer equipamento, pois é uma técnica que exige um considerável investimento inicial para aquisição de tecnologia e de treinamento de uma equipe especializada. Sendo assim, equipamentos ou sistemas vitais, de cara aquisição ou cuja interrupção cause um grandes prejuízos são merecedores de deste tipo de manutenção.

Tendo em vista o que foi exposto anteriormente e utilizando um navio como espaço amostral, podemos identificar vários equipamentos onde a manutenção preditiva possui caráter mandatório. No sistema de propulsão temos os MCP's, no sistema de geração de energia, os MCA's e no sistema de governo, as bombas hidráulicas e motores elétricos que são a força motriz para alteração da posição do leme.

Não se deseja passar o entendimento de que as manutenções preventiva e corretiva devam ser extintas e substituídas pela preditiva. O que se quer é passar a visão de que a manutenção preditiva pode otimizar a gestão da manutenção, trazendo como benefícios a redução de intervenções preventivas desnecessárias ou recorrentes e diminuição considerável nas falhas do sistema, que deverá trazer como consequência a diminuição de práticas corretivas.

#### 2.4.1 Técnicas Preditivas

Como foi visto, a inserção da preditiva é a primeira grande quebra nos padrões da aplicação da manutenção. Também foi dito que o objetivo da manutenção preditiva é prever falhas em andamento, através do acompanhamento do estado do equipamento. Segundo Kardec e Nascif (2009) existem três formas de realizar esse acompanhamento ou monitoração:

- Monitoração ou acompanhamento subjetivo: Antes da utilização dos instrumentos que vemos hoje, já se realizava esse procedimento para verificar temperatura, folgas, ruídos e vibração. Através da utilização dos sentidos humanos podemos verificar a temperatura ou a viscosidade do óleo por exemplo. Esses “diagnósticos” serão mais confiáveis quanto maior for a experiência do operador e dos profissionais de manutenção.
- Monitoração ou acompanhamento objetivo: aqui, as medições são feitas utilizando equipamentos ou instrumentos especiais e com isso oferecem valores para o parâmetro medido, sendo mandatório instrumentos calibrados e pessoal capacitado. Ademais, se realizada de forma correta, o valor medido independe do operador do instrumento.
- Monitoração ou acompanhamento contínuo: como o nome propõe, trata-se de um sistema capaz de acompanhar um ou mais parâmetros, alarmar e desligar o equipamento caso os estes atinjam valores acima dos estipulados. São utilizados em situações onde o tempo entre a origem do defeito até a falha é

pequeno e apesar de serem caros, o investimento se justifica para equipamentos de grande responsabilidade.

Nepomuneco (2014) diz que, em qualquer hipótese, quando uma falha está em desenvolvimento, todo dispositivo apresenta sinais de alteração de seu funcionamento normal sob alguma forma de energia que é dissipada e que pode ser medida e analisada, ou seja, esta energia pode ser mensurada e transformada em valores numéricos. A alteração destes valores numéricos é a base para a determinação do estado do equipamento ou do componente.

Podemos entender que assim como os seres humanos apresentam sintomas à medida que adoecem, as máquinas também o fazem quando uma falha se desenvolve. Estes sintomas podem ser entendidos como alteração dos seus parâmetros normais de funcionamento. Os diversos tipos de técnicas preditivas que existem se desenvolveram para monitorar esses parâmetros operacionais, ou seja, existe uma ou mais de uma técnica específica para cada parâmetro. Os parâmetros mais citados pelos autores são: temperatura, pressão, vibração, ruído, corrente e tensão elétricas, presença de partículas e propriedades físico-químicas de óleos lubrificantes, etc.

Para prever uma falha, estes parâmetros devem ser monitorados periodicamente, ou seja, seus valores deverão ser medidos, registrados e analisados seguindo um intervalo de tempo, geralmente em horas de funcionamento, desde o momento em que o equipamento é comissionado até o momento que for descomissionado. Quando, em algum momento, um ou mais parâmetros começarem a variar é sinal que uma ou mais falhas estão ocorrendo. Cabe a um especialista no equipamento diagnosticar, a partir, destas variações quais são as falhas e os componentes afetados bem como quanto tempo até que uma condição inaceitável seja atingida. A partir desta análise a gerência de manutenção pode planejar a parada de manutenção.

Kardec e Nascif (2010) realçam que para realizar o acompanhamento de algum parâmetro uma máquina utilizando instrumentos é primordial que estes estejam regulados e precisos e não só haja pessoal treinado e habilitado para operá-los, mas também capaz de interpretar os dados e emitir um diagnóstico.

De acordo com Kardec e Nascif (2002), para efeito de estudo, podemos dividir as técnicas preditivas em famílias de especialização, conforme quadro abaixo.

**Quadro 1 - Técnicas Preditivas**

<b>Radiações Ionizantes</b> Raios X Gamagrafia	<b>Energia Acústica</b> Ultra-som Emissão acústica
<b>Energia Eletromagnética</b> Partículas magnéticas Correntes parasíticas	<b>Fenômenos de Viscosidade</b> (Líquidos penetrantes)
<b>Inspeção Visual</b> Endoscopia ou Boroscopia	<b>Análise de Vibrações</b> Nível global Espectro de vibrações Pulsos de choque
<b>Análise de Óleos Lubrificantes ou Isolantes</b> Viscosidade Número de neutralização – acidez ou basicidade Teor de água Insolúveis Contagem de partículas Metais por espectrometria (Absorção Atômica, Plasma, Rotrodo etc.) Espectrometria por infravermelho Cromatografia gasosa Tensão interfacial Rigidez dielétrica	<b>Análise de Temperatura – Termometria</b> Termometria convencional Indicadores de temperatura Pirometria de radiação Termografia
<b>Ferrografia</b> Ferrografia quantitativa Ferrografia analítica	<b>Verificações de Geometria</b> Metrologia convencional Alinhamento instrumentado de máquinas rotativas
<b>Ensaio Elétricos</b> Corrente Tensão Isolação Perdas dielétricas Rigidez dielétrica Espectro de corrente ou tensão	

Fonte: Kardec e Nascif (2002).

Não é objetivo desse trabalho se aprofundar nas técnicas de manutenção preditiva, por isso não serão abordadas todas elas. Cabe ressaltar que análise de vibração e análise de óleo lubrificantes são as técnicas mais executadas na MB.

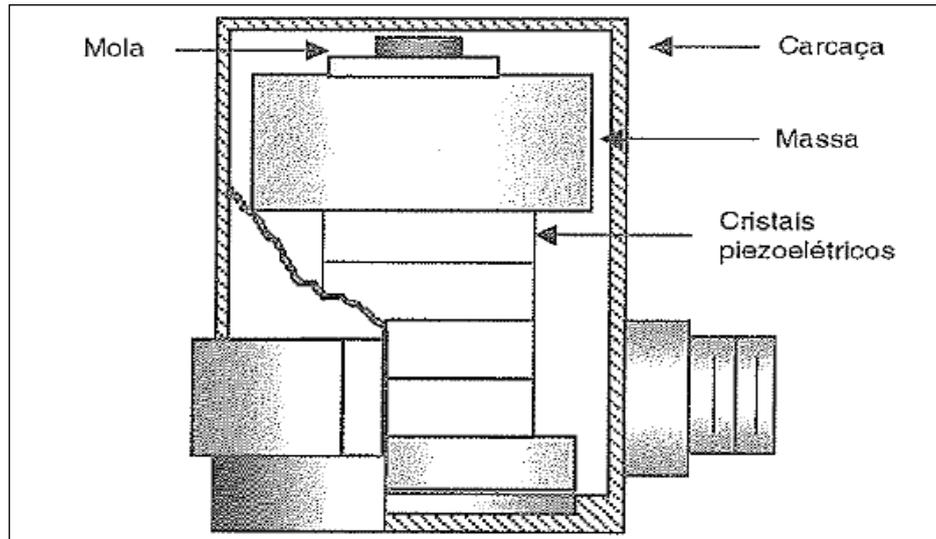
#### 2.4.1.1 Análise de Vibração

A análise de vibração é uma das mais antigas e importantes técnicas preditivas e particularmente, a mais utilizada na MB. Desde as primeiras máquinas o homem percebeu que quando havia vibração e barulho em excesso poderiam ser sinais de mau funcionamento. O acompanhamento da vibração possui como objeto principal de análise as máquinas rotativas, para as quais a metodologia e todo aparato de apoio como instrumentos, aparelhos e *softwares* evoluíram com maior ênfase. Os parâmetros de vibração, geralmente, são descritos como funções do deslocamento, velocidade e aceleração. Todas essas grandezas representam o “quanto” a máquina está vibrando. A frequência também é outra variável importante, utilizada para a identificação da causa vibração (Kardec e Nascif, 2002).

Cada máquina, em condições normais de funcionamento, vibrará de acordo com sua frequência característica, chamada de Assinatura Espectral Original. A partir do momento em que os componentes começam a falhar, haverá deterioração da assinatura por efeito da mudança de amplitude e frequência, o que demonstrará que o equipamento está perdendo sua integridade. A avaliação dos níveis de vibração estará de acordo com padrões estabelecidos em Normas Técnicas nacionais ou internacionais (ISO).

Para realizar a medição de vibração pode ser utilizados equipamentos portáteis de medição ou um sistema integrado de aquisição de sinal, composto por: sensor, condicionador de sinal, placa de aquisição e um computador com *software* para realizar a análise dos sinais coletados. Devido à sua operação em uma ampla faixa de frequências, o acelerômetro é um dos sensores mais utilizados em vibrações, sendo o tipo piezoelétrico o mais comum.

Kardec e Nascif (2002) explicam que o sensor pizoelétrico é constituído de um ou mais cristais pizoelétricos pré-tensionados por uma pequena massa envoltos por uma carcaça que os protege. Os cristais possuem a característica de produzirem sinal elétrico quando são pressionados. Quando o sensor está preso em uma máquina que vibra, isso causa uma excitação na massa que realiza uma força no cristal que por sua vez gera um pulso elétrico proporcional à aceleração.

**Figura 1 - Acelerômetro Pizoelétrico**

Fonte - Kardec e Nascif (2002).

Como todo equipamento, ele apresenta vantagens e desvantagens. Suas vantagens são: ampla faixa de resposta de frequência, peso e dimensões reduzidas, boa resistência a temperaturas, preços relativamente módicos. Suas desvantagens são: peça sensível, exigindo cuidados na montagem e é necessária instalação de filtro passa baixa se a ressonância for excitada no sensor (Kardec e Nascif, 2002)

Kardec e Nascif (et al., 2002) listam os principais problemas identificados através da análise de vibrações:

- Empenamento de eixo;
- Desbalanceamentos;
- Excentricidade de rotores;
- Desalinhamento de eixo;
- Afrouxamento/folga;
- Defeitos em correias;
- Defeitos em engrenagens;
- Defeitos em mancais;

- Falhas elétricas;
- Roçamento.

#### 2.4.1.2 Radiações Ionizantes

Dependendo do tipo de radiação empregada para a inspeção, diferencia-se o uso do Raios-X ou da Gamagrafia (fonte de raios gamas simples). A radiação ao passar por áreas onde há diferença de densidade entre os materiais, permite gerar uma imagem deferente da áera ao redor, que pode ser vista em um filme radiográfico ou no monitor fluoroscópico. Os principais defeitos que podem ser detectados com essa técnica são:

- Inclusões;
- porosidades,
- trincas,
- segregações em materiais fundidos
- qualidade de soldas. (KARDEC et al., 2002).

#### 2.4.1.3 Energia Acústica (Ultra-som)

A manutenção preditiva por ultra-som (>20KHz) também é um método não destrutivo que detecta descontinuidades internas pelo modo de propagação das ondas sonoras através de uma peça. Detecta descontinuidades internas em materiais, baseando-se no fenômeno de reflexão de ondas acústicas quando encontram obstáculos à sua propagação dentro do material. Uma das aplicações mais simples é a medição de espessura e a mais notável é a detecção e identificação de trincas e porosidades (KARDEC et al., 2002).

#### 2.4.1.4 Energia Eletromagnética

São ensaios não destrutivos que utilizam o campos magnético para distinguir descontinuidades. São utilizados dois procedimentos, um com partículas magnéticas e ou tro com corrente parasitas.

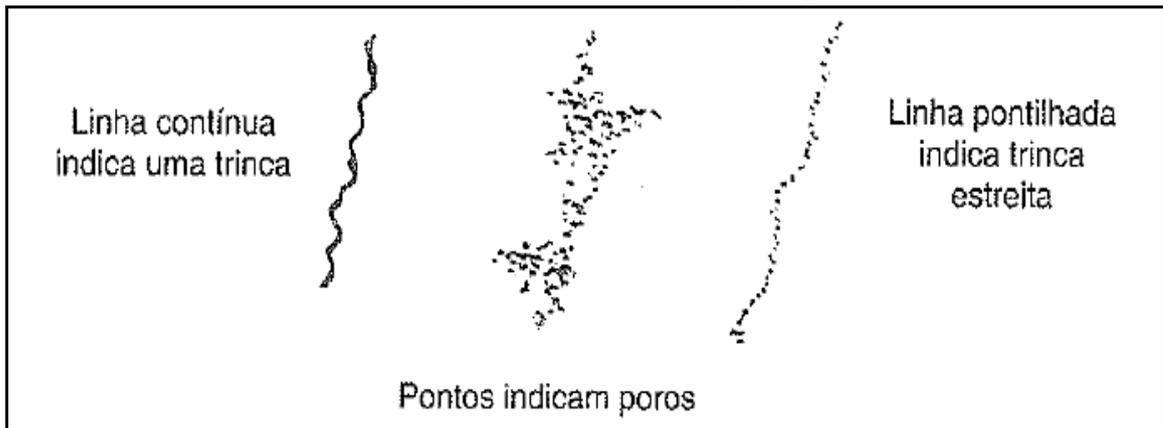
Com partículas magnéticas, é induzido um campo magnético na peça a ser analisada e espalha-se limalha de ferro. As limalhas seguirão perfeitamente campo magnético, porém caso haja alguma descontinuidade, elas se deformarão. Peças com geometria complexa são mais dificultosas de sofrerem análise (KARDEC et al., 2002).

No ensaio de corrente parasita, a peça estudada deve necessariamente se recondutora. Nela é induzida uma corrente elétrica através da criação de um campo magnético alternante próximo dela. Se estiver perfeita, a peça vai se comportar como o secundário de um transformador caso contrário, em um circuito parcialmente aberto (KARDEC et al., 2002).

#### 2.4.1.5 Líquidos Penetrantes

É uma técnica simples e limitada à identificação de descontinuidades superficiais. Primeiro é necessário fazer a limpeza da superfície que receberá o líquido penetrante e após sua aplicação, é utilizado um líquido de limpeza para retirar o excesso do líquido prenetante. Por fim, aplica-se um pó ou líquido revelador que irá se acumular nas trincas, onde há maior concentração do líquido penetrante (KARDEC et al., 2002). A figura abaixo descreve os tipos de defeitos numa superfíceio após a utilização dessa técnica.

**Figura 2 - Revelações típicas com o uso do líquido penetrante**



Fonte: Karde e Nascif (2002).

#### 2.4.1.6 Análise Óleos Lubrificantes

Nepomuceno (2014) explica que a análise de óleo lubrificante se tornou um dos principais itens dos programas de manutenção adotados por muitos operadores de equipamentos industriais e veiculares. Ele ressalta que o alto custo dos componentes e da mão de obra, somados com prejuízo da paralisação de equipamentos por falhas de origem mecânica, consiste forte motivação para implantar um programa de análise de lubrificantes usados. Ele ainda acrescenta que atualmente há serviços para, praticamente, todos os equipamentos lubrificados a óleo.

Para Kardec e Nascif (2002), as informações obtidas a partir de amostras de lubrificantes, podem ser investigadas para se obter as condições do próprio lubrificante ou da máquina. Em relação à primeira, determinam-se se as propriedades físico-químicas do óleo estão satisfatórias para uma lubrificação eficiente. Na segunda, há uma análise para determinar se existem substâncias estranhas imersas no óleo, como por exemplo partículas de desgaste ou até mesmo gases, obtendo uma avaliação da condição da máquina.

### 2.5 Manutenção Detectiva

Kardec e Nascif (2010, p. 47) definem manutenção detectiva como “a atuação efetuada em sistemas de proteção, comando e controle, buscando detectar falhas ocultas ou não

perceptíveis ao pessoal de operação e manutenção” e explicam que ela só começou aparecer na literatura a partir da década de 1990.

Sendo assim, são ações de manutenção detectiva, aquelas relacionadas para averiguar se um sistema de proteção está operando. Um exemplo simples é o botão de teste de lâmpadas de sinalização e alarme em painéis. Porém em sistemas mais complexos, essas ações só devem ser realizadas pelo pessoal da área da manutenção, que estejam capacitados, acessorados pelo pessoal de operação, conforma explicam Kardec e Nascif (2010).

Conforme aumenta a utilização de sistemas de comando, controle e automação, maior a necessidade de implementação da manutenção detectiva, principalmente se esses sistemas protegerem uma planta inteira de produção ou se forem a última barreira entre a integridade e a falha.

Campra (2016, p. 25 e 26) explica que “A MD tem um papel muito importante, em conjunto com a manutenção preditiva, na garantia da confiabilidade. A distinção entre elas reside no fato de que os testes detectivos não conseguem prever, mas sim descobrir uma falha que já ocorreu e que está oculta aos operadores”. Kardec e Nascif (2010) esclarecem que especialistas fazem verificações no sistema sem tirá-lo de funcionamento, e preferencialmente, podem corrigir as falhas ocultas, mantendo o sistema operando.

## **2.6 Engenharia de Manutenção**

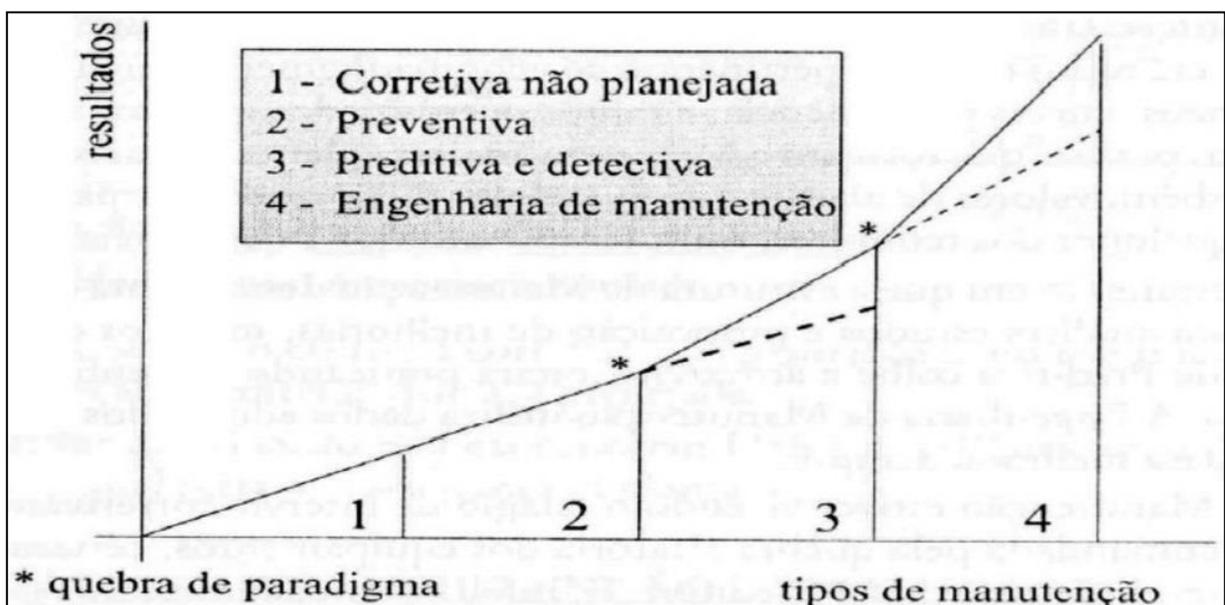
Este conceito não é comum a todos os autores, sendo explicado, dentre as referências, somente nos livros de Kardec e Nascif. Eles explicam que ela é a segunda quebra de paradigma e deve ser encarada como uma mudança cultural. Entende-se que ela transcende apenas um tipo de manutenção, podendo ser explicada como a reunião de todas ferramentas possíveis em prol de sempre melhorar.

Kardec e Nascif (2010) definem a engenharia de manutenção como o suporte técnico da manutenção e também significa estar nivelado com a manutenção do Primeiro Mundo. Dentre as suas atribuições, estão:

- Aumentar a confiabilidade.
- Aumentar a disponibilidade.
- Melhorar a manutenibilidade.
- Aumentar a segurança.
- Eliminar problemas crônicos.
- Solucionar problemas tecnológicos.
- Melhorar a capacitação do pessoal.
- Gerir materiais e sobressalentes.
- Participar de novos projetos (interface com a Engenharia).
- Dar suporte á execução.
- Fazer na;alise falhas e estudos.
- Elaborar planos de mnutenção e de inspeção e fazer sua na;alise cr;itica.
- Acompanhar os indicadores.
- Zelar pela documentação técnica.

O gráfico abaixo mostra a melhoria de resultados, à medida que se evolui dentre os tipos de manutenção. As duas mudanças de inclinação representam as quebras de paradigma. Observe o salto significativo quando se adota engenharia de manutenção.

**Gráfico 1 - Resultados X Tipo de Manutenção**



Fonte: Kardec e Nascif (2010).

### **3. MANUTENÇÃO NA MARINHA DO BRASIL**

Esse capítulo abordará a evolução da manutenção na Marinha, os seus recursos e a forma como estes são utilizados. Serão feitas observações de forma a incrementar o uso da manutenção como uma ferramenta cada vez mais eficiente.

#### **3.1 Histórico da Manutenção na MB**

O embrião da manutenção na MB remonta ao início da década de cinquenta, durante o governo de Getúlio Vargas, quando foi assinado o Acordo de Assistência Militar Brasil-EUA, que facilitou o recebimento de navios da Marinha Americana empregados na Segunda Guerra Mundial, e junto deles, uma grande quantidade de sobressalentes. Este acordo, segundo Barboza (2004, apud Cambra, 2016), desencorajou a indústria na área da construção naval militar no país e conseqüentemente a atividade da manutenção, que em função da ausência de um sistema de planejamento e a grande oferta de peças de reposição, era baseada na manutenção corretiva não planejada.

No final da década seguinte, em 1967, a logística sofreu uma grande evolução com o Programa Decenal de Renovação de Meios Flutuantes e a posterior construção de navios no AMRJ, em estaleiros privados nacionais, na Alemanha e no Reino Unido, destacando-se, neste último, as Fragatas Classe Niterói, as quais ainda se encontram em operação e constituem os principais navios de escolta da Esquadra brasileira. Cabe ressaltar que a Fragata Niterói, foi desativada no último ano.

Segundo Cambra (2016), em função do advento destas fragatas, dois grandes aperfeiçoamentos aconteceram na MB, no âmbito da manutenção:

- Formação do Sistema de Manutenção planejado (SMP), com o estabelecimento de um conjunto integrado de rotinas de manutenção com procedimentos, periodicidade, qualificação de mantenedores e sobressalentes definidos;
- Emprego da manutenção preventiva por meio de rotinas executadas a partir do tempo de funcionamento dos equipamentos, com objetivo de

prevenir as falhas. Essas rotinas estavam baseadas na manutenção realizada pela Marinha Real Inglesa (“*Royal Navy*”) em seus navios.

Para entender o SMP hoje, o EMA-420 o define como “a reunião das ações de manutenção planejada preventiva e preditiva, em uma coletânea de rotinas programadas, que obedece a um método racional de planejamento, execução e controle”(BRASIL, 2002, p. 3-6), bem como lista os propósitos imediatos que devem ser alcançados com o cumprimento das rotinas nele estabelecidas:

- a) Definir a atividade de manutenção necessária, por intermédio de tipos, métodos, procedimentos e critérios padronizados, de fácil identificação e administração;
- b) Detectar possíveis deficiências do material, de modo a permitir o aperfeiçoamento de futuras especificações técnicas;
- c) Avaliar a eficácia das atividades de manutenção, à luz dos registros que são feitos durante sua execução;
- d) Identificar as necessidades de aperfeiçoamento da formação de pessoal e das técnicas de manutenção;
- e) Conhecer o custo da manutenção; e
- f) Aumentar a confiabilidade e a disponibilidade dos meios.

Segundo Barboza (2004, p. 111), a manutenção na RN apresentava, àquela época, a vulnerabilidade de fundamentar os programas de manutenção, exclusivamente, na recomendação dos fabricantes que privilegiam, ainda hoje, as tarefas preventivas, visando:

- Reduzir o risco de falhas no início da vida útil, tentando evitar o fenômeno da “mortalidade infantil<sup>1</sup>” e, dessa forma, os gastos com garantias contratuais;
- Aumentar o lucro, sugerindo a manutenção em função do tempo e não da condição dos equipamentos e estabelecendo uma dependência com base na

---

<sup>1</sup> Falhas que ocorrem no início da vida útil do equipamento causadas por fatores como problemas de fabricação, defeitos na instalação, erros no projeto, componentes inadequados e montagem incorreta (Kardec e Nascif, 2010).

necessidade constante de sobressalentes, mão de obra e serviços especializados.

Dessa maneira, o final da década de 1970, a RN viveu um período de aumento com gastos devido ao modelo de manutenção, basicamente em função das intervenções desnecessárias com base no tempo de funcionamento, além da necessidade de aumentar a disponibilidade e a confiabilidade dos seus meios, devido aos compromissos operativos. Então, buscando uma autosuficiência em relação aos fabricantes, a RN buscou estratégias otimizar a sua manutenção, e passou a desenvolver conhecimento próprio e aumentou a utilização da manutenção preditiva.

Entretanto na MB, o SMP das FCN se tornou modelo, pois a forma de conduzir a manutenção dos seus navios remontam à filosofia desta época. Isto fica claro na publicação normativa ENGENALMARINST 85-18, que rege a conduta do SMP, onde é preconizada a utilização das informações e recomendações dos vários fabricantes como base para a criação das rotinas de manutenção. Dessa forma, Cambra (2016) realça que a MB vem incorrendo no mesmo problema vivido pela RN ao priorizar a manutenção preventiva e não sendo observado grandes melhoramentos nos últimos 40 anos.

Cambra (2016) ressalta que “alterações profundas nos processos de gerenciamento de grandes organizações, como a RN e USN, sofrem, em geral, resistência por parte de seus integrantes em todos os níveis organizacionais”. Ele acrescenta que essas mudanças se deram a partir de decisões da alta administração com a reformulação das políticas de manutenção, testados em projetos-piloto para a verificação dos resultados de disponibilidade e custos, além do esforço na formação e treinamento do pessoal em gerência de manutenção.

## **3.2 Manutenção Preditiva na MB**

### **3.2.1 Antecedentes**

Por volta do ano de 1986, influenciada pelas técnicas do “*condition monitoring*” empregadas pela RN, a MB iniciou medições dos níveis de vibração dos equipamentos de

meios de superfície e submarinos, gerando banco de dados, fazendo análises e desenvolvendo competência. Essas ações tinham como objetivos o diagnóstico e a prevenção de falhas através da identificação de ações preventivas ou corretivas. Barboza (2005) descreve que até o 1994 foram realizadas medições de vibração em todos os equipamentos rotativos dos 6 (seis) navios varredores da classe Aratu, nos motores dos submarinos da ex-classe Humaitá e vários equipamentos rotativos das corvetas da classe Inhaúma, culminando com diversas recomendações e ações necessárias de manutenção.

No primeiro ano da década seguinte, começou a surgir na MB indícios de uma mudança de consciência em relação ao SMP. Passou-se a entender que a adoção da manutenção preventiva como prioridade não era a única solução existente, tendo em vista que a manutenção preditiva estava sendo bastante utilizada na indústria e nas marinhas mais avançadas. Então, segundo Barboza (2005), em 1991, o Plano de Desenvolvimento Científico e Tecnológico da Marinha incluiu o projeto “Manutenção por Diagnose”, com o propósito de desenvolver técnicas preditivas para realização de diagnóstico da condição do estado de um equipamento e para orientar as ações de manutenção.

Barboza (2005) afirma que a aquisição dos contratorpedeiros (CT) da Classe Pará e do Navio de Desembarque de Carros de Combate (NDCC) Matoso Maia confirmou aquilo que foi dito anteriormente, porque os motores diesel destes navios possuíam o sistema chamado “*Automated Diesel Engine Trend Analysis*” ou ADETA. Esse sistema foi desenvolvido pela USN na década de 1960 com o objetivo de aumentar o intervalo entre os recondiçionamentos dos motores dos seus submarinos da época.

O ADETA tratava-se de um sistema especialista<sup>2</sup>, cujo *software* processava as informações de entrada e produzia gráficos, relatório do estado do motor e sugeria medidas de manutenção. Esses dados de entrada, apresentados abaixo, eram considerados os mais importantes para se diagnosticar as condições do motor:

- Pressão de compressão dos cilindros;
- Pressão de combustão dos cilindros;
- Pressão de óleo lubrificante na admissão do motor;
- Temperatura de descarga dos cilindros;

---

<sup>2</sup> “São sistemas que solucionam problemas que são solucionáveis apenas por pessoas especialistas (que acumulam conhecimento exigido) na resolução destes problemas” (FERNADES, 2003).

- Posição de ajuste da cremalheira das bombas injetoras;
- Consumo de óleo lubrificante;
- Vácuo do cárter;
- Pressão do ar de lavagem;

Essas informações eram anotadas em um livro e depois inseridas no programa. Como os motores da época não eram construídos com sensores como partes integrantes de si, para se obter as informações acima, o executor tinha que instalá-los toda vez que havia uma medição, tendo como fator agravante que o motor deveria estar no mesmo regime de potência para que as medições fossem feitas. Apesar de toda a dificuldade, o sistema desmonstrou funcionar bem, pois segundo Barboza (2005), para os submarinos SS 563, este intervalo cresceu de 3600 a 4800 horas para um valor médio de 12000 horas. Infere-se que além do programa ser eficiente, havia pessoal comprometido, capacitado e com a consciência da importância da correta coleta dos dados. Essa mentalidade só é alcançada quando os processos de mudança atingem todos os níveis, conforme descrito por Cambra (2016) anteriormente.

Barboza (2005) destaca, como resultados práticos dessas iniciativas preditivas, o desenvolvimento pela MB em parceria com a COPPE/UFRJ, de três *softwares*: o Sistema de Análise de Tendências de Motores Diesel (ATENDI), o Sistema de Análise Químico/Metálico de Óleos Lubrificantes de Motores Diesel (LUBE) e o Sistema de Análise de Vibração de Máquinas Rotativas (SAVMAQ).

O ATENDI foi desenvolvido com as mesmas características e funções do sistema americano ADETA, ou seja, era um sistema especialista direcionado aos motores e realizava as mesmas tarefas do sistema americano citado.

O LUBE também era um sistema especialista, similar ao anterior em relação à saída de dados, porém usava como dados de entrada as análises espectrométricas do óleo lubrificante usado no motor diesel. Os resultados das análises físico-químicas e da identificação e quantificação dos elementos metálicos presentes na amostra eram usados para gerar diagnósticos da condição do motor diesel, e função da contaminação do óleo e identificação dos componentes lubrificadas que estavam sofrendo desgaste.

O SAVMAQ não era um sistema especialista e necessitava de um analista experiente. Segundo Barboza (2005) o sistema utilizava um coletor de sinais para obter os dados do espectro de vibrações em vários pontos de equipamentos rotativos. O especialista de posse desses dados, os analisava e elaborava os diagnósticos de falhas e análise de tendências. Todas as informações eram armazenadas para permitir o gerenciamento de dados que viriam a ser obtidos para os diversos navios da MB.

Não se tem registros até quando eles foram utilizados e nem se foram precursores de algum outro *software*, principalmente devido à ausência de documentação a respeito desses sistemas. Em princípio, em função das dificuldades financeiras, acabaram descontinuados.

### 3.2.2 Situação Atual

Cambra (2016) explica que o SMP das FCN serviu de base para outros navios projetados e construídos no país, como as corvetas classe Inhaúma (CCI) e corveta Barroso. Então para mostrar os tipos de manutenção que a MB aplica nesses navios, Cambra (2016) realizou uma pesquisa, neste mesmo ano, no banco de dados do SisSMP3, com foco nas FCN, CCI e corveta Barroso. Ele também incluiu as rotinas de manutenção das fragatas classe Greenhalgh (FCG), navios que entraram em serviço na RN a partir de 1979 e foram adquiridos pela MB em 1996. Cabe ressaltar que as classes de navios citadas anteriormente compõem todos os navios escoltas<sup>4</sup> operados pela Marinha atualmente.

Apesar de cerca de 10 e 20 anos separarem as FCN das CCI e da Corveta Barroso, uma de suas conclusões foi que o percentual de manutenção preventiva manteve-se constante na faixa de 70%. Assim sendo, ficou comprovado o predomínio da manutenção preventiva baseada no tempo de funcionamento, em especial a restauração preventiva, composta por revisões programadas que pressupõem gastos de material, mão de obra especializada ou

---

<sup>3</sup> Programa informatizado do SMP em ambiente web intranet da Diretoria de Engenharia Naval, encontrado em [www.den.mb](http://www.den.mb), que concentra todas as rotinas de manutenção dos navios da MB.

<sup>4</sup> Classificação genérica dada aos navios de guerra destinados a proteção de outros navios e comboios de navios mercante. Possuem sistemas e armamento para se opor a ameaças submarinas, antiaérea e também de outros navios de superfície inimigos.

contratação de serviços. Acerca da manutenção preditiva desses navios, o percentual não ultrapassou os 6%. Sua pesquisa comparou as manutenções das FCN, CCI e da corveta Barroso com a FCG, e notou, nesta última classe, uma queda de 70 para 60% no emprego da manutenção preventiva e um aumento de 6 para 10% da preditiva em relação às primeiras. Isso se deve principalmente porque o SMP da FCG incorporou os avanços iniciais da política de manutenção da RN após 1970, que passou a incluir a manutenção preditiva.

Cambra (2016) ainda apresentou que os índices dos tipos de manutenção do setor industrial nacional possuem a seguinte distribuição: preventiva 36,5%, corretiva 30,9% e preditiva 18,8% (CONGRESSO BRASILEIRO DE MANUTENÇÃO E GESTÃO DE ATIVOS, 2013). Além disso, Kardec e Nascif (2015, apud CAMBRA 2016) afirmam que as empresas mais competitivas mundiais tem sua manutenção distribuída da seguinte em 52% de manutenção preditiva, 31% de preventiva e 10% de manutenção corretiva. Percebe-se que os índices de utilização da manutenção preventiva (em torno dos 70%) e da preditiva (abaixo dos 10%) praticados pela MB, não correspondem aos praticados nas empresas do país e do exterior. Barboza (2004 apud CAMBRA, 2016) ressalta que a maioria das rotinas preditivas executadas atualmente na MB são provenientes daqueles esforços da década de 1980 e início da década de 1990, apesar dos sistemas desenvolvidos naquela época terem sido descontinuados.

Nesse contexto, a Marinha do Brasil tem demonstrado uma preocupação em inserir a prática de manutenção preditiva na rotina de seus meios. Para tanto, modernizou e tornou o Centro de Projetos de Navios (CPN), referência no assunto. O CPN realiza a manutenção preditiva na Marinha, executando principalmente a análise de vibração.

“Embora o Laboratório (do CPN) 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.” (BARBOSA, 2005, p.15).

O CPN é uma Organização Militar Prestadora de Serviço (OMPS), situada no 1º Distrito Naval <sup>5</sup>(1º DN), e tem como propósito gerenciar as atividades técnicas especializadas de projeto básico, de projeto de integração de sistemas e de análises e avaliações de engenharia, pertinentes aos processos de construção, modernização, conversão, alteração e apoio de navios de superfície e de submarinos. Tendo em vista as inúmeras tarefas executadas pelo CPN, percebe-se que a análise de vibrações não é a sua prioridade. Então, de modo a melhorar e ampliar a prática da manutenção preditiva, deve-se ser levada em consideração a transferência dessa importante atribuição para uma nova OM, com recursos que sejam aplicados somente para este fim.

O CPN possui equipamentos modernos e profissionais capacitados para medição e análise de vibrações a bordo dos navios. O sistema atualmente utilizado é o SAVERA (Sistema de Medição e Análise de Vibração de Equipamentos Rotativos e Alternativos), um sistema não-especialista que necessita de um profissional para análise dos dados coletados. O departamento possui doze militares divididos em três equipes e cada uma delas utiliza dois *kits* portáteis de medição de vibrações. Esses *kits* são compostos por acelerômetros piezoelétricos, placas de conversão analógico-digitais e computadores portáteis para armazenamento dos dados. Os principais equipamentos e sistemas monitorados são:

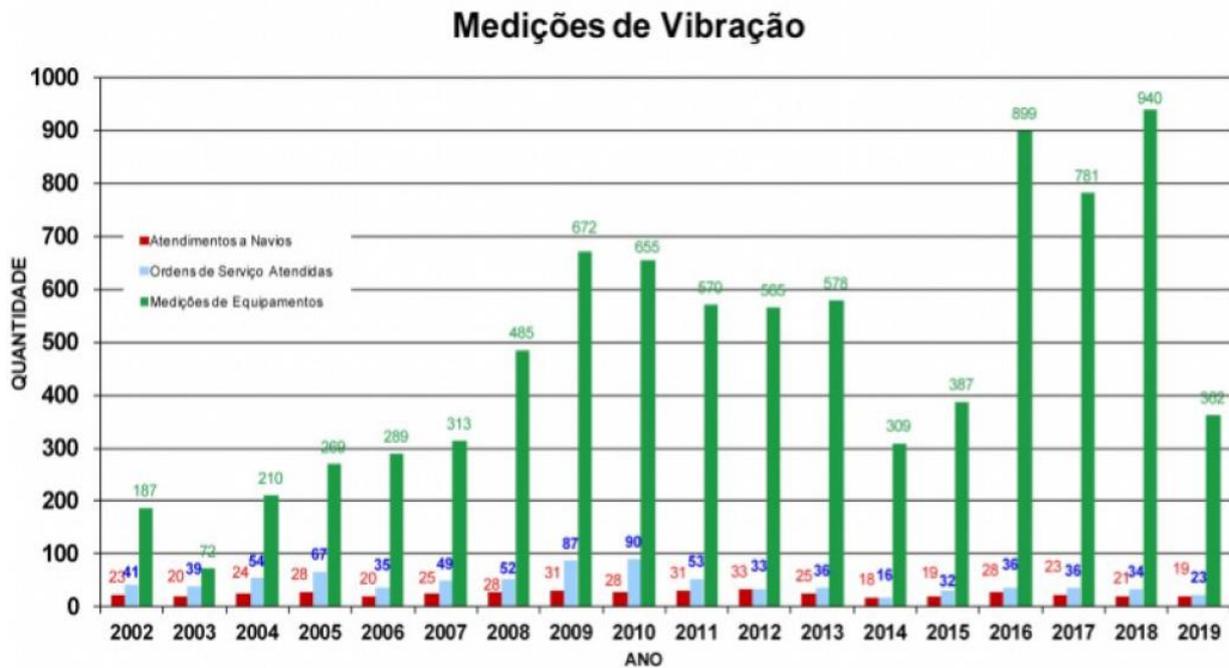
- Diesel geradores e turbo geradores;
- Motores de combustão principais (MCP);
- Motores de combustão auxiliares (MCA);
- Turbinas a vapor e a gás;
- Linhas de eixo;
- Engrenagens redutoras;
- Bombas;
- Compressores.

---

<sup>5</sup> O território do Brasil está dividido em nove Distritos Navais, cujas respectivas áreas abrangem mais de um do estado. Cada Distrito está sediado em uma cidade: 1º Distrito Naval, Rio de Janeiro-RJ; 2º Distrito Naval, Salvador-BA; 3º Distrito Naval, Natal-RN; 4º Distrito Naval, Belém-PA; 5º Distrito Naval, Rio Grande-RS; 6º Distrito Naval, Ladário-MS; 7º Distrito Naval, Brasília-DF; 8º Distrito Naval, São Paulo-SP; 9º Distrito Naval, Manaus-AM.

Para entender melhor como o está a distribuição da análise de vibração nos navios, o gráfico abaixo mostra a evolução quantitativa, no espectro temporal, do atendimento realizado pelo CPN nos últimos dezoito anos.

**Gráfico 2-** Evolução da demanda dos serviços do CPN nos últimos anos.



Fonte: CPN

Percebe-se que há uma alternância relativa, sobre a qual pode-se sugerir que alguns meios, dentre aqueles atendidos, não consolidam uma rotina em relação aos seus atendimentos, caso contrário, seria notável que, ao passar dos anos, haveria, no mínimo, uma constância nos valores de atendimento, quiçá um aumento gradativo, quando imagina-se que a conscientização dos meios, em relação a esse tipo de manutenção, aumenta no tempo e, proporcionalmente a isso, a demanda dos serviços. Apesar do número expressivo de equipamentos medidos, são poucos os navios que realizam esses pedidos de análise de vibrações no intervalo de tempo correto. Entretanto, foram coletado dados que indicam que nos navios da Esquadra e da Diretoria de Hidrografia e Navegação (mesma sede do CPN, o Rio de Janeiro) há uma demanda adequada de manutenção preditiva semestral.

Em contrapartida, a situação dos navios, cuja sede não é a cidade do Rio de Janeiro, é um pouco mais complicada. Além de não possuírem uma OMPS, em suas respectivas regiões, capaz de realizar as medições, normalmente não há recursos para pagamentos de diárias e demais custos ao pessoal especialista do CPN, que faria a análise.

Apesar do custo das medições serem baixos em relação ao valor de um equipamento novo, devido à restrição de recursos financeiros, dificilmente um navio, cuja sede não é o Rio de Janeiro, sofrerá uma análise de vibração realizada pelo CPN. Sendo assim, pelo mesmo motivo, não há contratação de empresas privadas. Entretanto há algumas exceções: segundo o Órgão, os Navios Distritais do 5º e 2º Distritos Navais são atendidos com regularidade, devido à ausência de Base Naval no 5º DN, o que força o navio daquela região a ter de vir para área Rio para manutenções gerais; e a proximidade geográfica entre os 1ºDN e 2º DN; o CPN percebeu que o 6º DN tem solicitado manutenções preditivas demonstrando, assim, que, embora ainda haja dificuldade em atendê-los, devido a questões financeiras e geográficas atinentes àquele Distrito, já há uma conscientização comprovada por parte de oficiais daquela região, em ao menos, buscar informações sobre a viabilidade de se fazer manutenção preditiva em seus navios, o que de fato é positivo. Apesar de um considerável investimento inicial, com capacitação de pessoal e aquisição dos equipamentos necessários, seria de extrema importância para a expansão da manutenção preditiva habilitar as OMPS fora do Rio de Janeiro para realização da análise de vibração.

Note que para a manutenção preditiva, cujo acompanhamento de realização razoável seja semestralmente, a ausência de navios pode indicar, no mínimo, uma deficiência em se cumprir a rotina. Na pior das hipóteses, indica a total ausência desse tipo de manutenção. É bom ressaltar, todavia, que, apesar da manutenção preditiva não ser considerada periódica como a preventiva é, o fato de o CPN ser praticamente o único órgão da MB responsável por esse serviço e, além do mais, exigir que tais pedidos se façam com antecedência mínima de três meses gera periodicidade de, no mínimo, três meses para o navio que procura cumprir com o acompanhamento de seus equipamentos de maneira contínua e efetiva.

Portanto, fazendo uma análise de toda esta situação, conclui-se que os navios que não conseguem manter uma rotina de medições com devido histórico de acompanhamento, não fazem manutenção preditiva. Eles utilizam a técnica preditiva de análise de vibração para, provavelmente, obter diagnósticos para solucionar problemas que foram detectados pela tripulação. Este fato foi comprovado pelo autor que ao entrar em contato com alguns oficiais, relataram que solicitaram este serviço pois o equipamento estava com problema de vibração e não conseguiram solucioná-lo com o conhecimento da tripulação. Tem de haver o entendimento de que análise de vibração em equipamento após vibrações crônicas ou

vibrações que alcançam níveis elevados, fora do comum, e perceptíveis aos sentidos humanos, está mais ligada a manutenção corretiva que preditiva. Isso significa dizer que quando um navio solicita ao CPN análise de vibração em decorrência em uma ressonância/vibração fora do comum de um equipamento, a análise é, nesse caso, na verdade, o primeiro passo da manutenção corretiva do próprio, que já se encontra operando fora das condições normais e cuja detecção do mau funcionamento se deu por outros métodos que não a análise de vibração anterior, a qual, se tivesse ocorrido com o monitoramento que a manutenção preditiva prevê, poderia ter evitado o estado de degradação equipamento. Isso significa dizer que, a despeito da análise de vibração ser uma técnica de manutenção preditiva, não é sinônimo de manutenção preditiva, sobretudo, se solicitada quando o equipamento já está com nível de avaria exacerbado.

Outra técnica preditiva praticada pela MB é a análise de óleos lubrificantes. A cada três meses, os navios devem enviar amostras do óleo utilizado em seus motores para o Depósito de Combustíveis da Marinha. Esse procedimento é cobrado por ocasião das Inspeções Administrativo-Militar, portanto é comum que os navios executem esse envio. Após análise, os navios recebem os laudos com os resultados. Da mesma forma como ocorre com a análise de vibrações, porém dessa vez em função principalmente da logística, os navios sediados fora do Rio de Janeiro tem fidedulidade para executar o procedimento, não sendo realizado com a periodicidade necessária ao bom cumprimento da manutenção preditiva.

Cabe ressaltar que com as dificuldades financeiras dos últimos anos e idade avançada (em alguns casos acima da vida útil de projeto) dos meios navais, os programas de manutenção dos navios já não conseguem ser cumpridos, pois há um espaçamento cada vez maior entre as paradas para manutenção, ou seja, a manutenção preventiva não está sendo realizada como prevista, tendo como consequência a utilização cada vez maior da manutenção corretiva não-planejada, agravando ainda mais o quadro financeiro (Cambra, 2016). Nesse diapasão, ganha destaque a manutenção preditiva, que, se realizada com qualidade e de forma efetiva, com o devido acompanhamento da evolução dos parâmetros físicos dos equipamentos de bordo, trará redução de custos e diminuição de desperdícios, além de redução de desgaste do material, contribuindo, assim, para a disponibilidade do meio.

## 4. ESTUDO DE CASO

Como foi dito, o navio solicita, através de pedido de serviço, a análise de vibração em alguns dos seus equipamentos. Em seguida, a equipe do CPN comparece a bordo e realiza a coleta de dados. A partir disso, são propostas linhas de ação de acordo com o resultado da análise, feita em laboratório, dos dados coletados. Nesse tópico será apresentado um relatório de análise de vibrações, realizado nos sistemas de propulsão e geração, bem como de parte dos sistemas auxiliares. O nível de sigilo dos laudos não permite que informações como o nome do navio e a data da realização da análise sejam divulgadas.

### 4.1 Referências

Foram utilizadas as seguintes referências:

- ISO 10816 - *Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts*: orientação específica para avaliar a vibração de grupos geradores estacionários.
- ABS *Guidance Notes on Ship Vibration*: orientações específicas sobre análise, procedimentos e critérios de medição de vibração de navios, a fim de deixá-la em níveis aceitáveis.
- ISO 8528-9 – *Measurement evaluation of mechanical vibrations*: medição e avaliação de vibrações mecânicas em grupo geradores de corrente alternada acionada por motor alternativo de combustão interna.

### 4.2 Instrumentação Utilizada

Durante as medições, foram utilizados os seguintes itens de instrumentação:

- Conjunto de acelerômetros PCB modelos 352C33 e 352C34, padrão ICP;
- Placas de conversão analógica-digital (A/D) NI-9233 e NI-9234 de 24 bits IEPE; e

- Computador *toughbook* Panasonic modelo CF-U1 com software SAVERA 3.05b.

### 4.3 Procedimento experimental

Nos equipamentos medidos, foram instalados acelerômetros em posições específicas, conectados a uma placa de conversão analógica-digital (A/D), conectada, por sua vez, a um computador tipo *toughbook*<sup>6</sup>. Os sinais de vibração adquiridos foram, posteriormente, analisados utilizando-se o *software* SAVERA.

Os procedimentos de medição em cada equipamento não serão aprofundados, pois o foco desta parte do trabalho são os resultados das análises e as linhas de ação propostas, com o intuito de mostrar o quão é importante realizar a manutenção preditiva nos equipamentos de um navio.

### 4.4 Resultados Obtidos e Análise

Foram analisados 90 equipamentos, dos quais 30 apresentaram níveis de vibração anormais. Esses equipamentos necessitam intervenção tempestiva para que não venham a sofrer falhas ou ter seu funcionamento comprometido. Para cada equipamento é apontada uma ou mais causas prováveis.

1. Bomba de Água Salgada da URA nº 1 – Causas prováveis: problemas de fixação do motor elétrico à base; folgas de montagem do acoplamento.
2. Bomba de Água nº 3 – Causas prováveis: desalinhamento do conjunto motor-bomba e problemas de fixação do motor à base.
3. Bomba de Alta Pressão do GOR nº 1 – Causas prováveis: desbalanceamento do rotor da bomba; obstrução de fluxo no recalque da bomba (joelho, válvula parcialmente aberta ou sujeira na rede); folga entre o rotor e o eixo da bomba.

---

<sup>6</sup> São computadores mais robustos e mais resistentes utilizados para trabalho em ambientes com poeira e umidade, além de terem maior capacidade de memória e processamento que os computadores ditos comuns.

4. Bomba de Alta Pressão do GOR nº 3 – Causa provável: obstrução de fluxo no recalque da bomba (joelho, válvula parcialmente aberta ou sujeira na rede).
5. Bomba de Baixa Pressão do GOR nº 4 – Causas prováveis: desbalanceamento dos rotores da bomba e do motor elétrico; folga no acoplamento motor-bomba.
6. Bomba de Lastro nº 3 – Causas prováveis: desalinhamento do conjunto motorbomba; desbalanceamento do rotor do motor elétrico.
7. Bomba de Engrazamento nº 2 da Redutora de BE – Causas prováveis: problemas de fixação do motor elétrico à base; incrustações ou avaria em uma ou mais pás da ventoinha.
8. Bomba de Engrazamento nº 3 da Redutora de BB – Causas prováveis: problemas de fixação do motor elétrico; desbalanceamento do rotor do motor elétrico; incrustações ou avaria em uma ou mais pás da ventoinha.
9. Bomba de Engrazamento nº 4 da Redutora de BB – Causa provável: problemas de fixação do motor elétrico à base.
10. Bomba de Incêndio HPSW nº 1 – Causas prováveis: desbalanceamento do rotor do motor elétrico; obstrução ou grande perda de carga na linha de recalque (joelho, válvula parcialmente fechada ou sujeira na rede); folga entre o mancal e o eixo da bomba.
11. Bomba de Incêndio HPSW nº 4 – Causas prováveis: obstrução ou grande perda de carga na linha de recalque (joelho, válvula parcialmente aberta ou sujeira na rede); folga entre o rotor e o eixo da bomba.
12. Bomba de Incêndio HPSW nº 5 – Causa provável: desbalanceamento do rotor da bomba.
13. Bomba de Lubrificação nº 1 da Redutora de BE – Causa provável: problemas de fixação do motor elétrico à base.
14. Bomba de Lubrificação nº 2 da Redutora de BE – Causa provável: problemas de fixação do motor elétrico à base.
15. Bomba de Lubrificação nº 3 da Redutora de BB – Causa provável: incrustação ou avaria em uma ou mais pás da ventoinha do motor elétrico; problemas de fixação do motor.

16. Bomba de Resfriamento de Água Doce do MCP de BE JW nº 1 – Causas prováveis: desbalanceamento do rotor do motor elétrico; problemas de fixação do motor elétrico à base.
17. Bomba de Resfriamento de Água Doce do MCP de BE JW nº 2 – Causas prováveis: desbalanceamento do rotor do motor elétrico; ventoinha com incrustação ou pá(s) avariada(s); problemas de fixação do motor elétrico à base.
18. Bomba de Resfriamento de Água Doce do MCP de BB JW nº 4 – Causa provável: problemas de fixação do motor elétrico à base.
19. Bomba de Resfriamento de Água Salgada do MCP de BE LPSW nº 1 – Causa provável: desbalanceamento do rotor do motor elétrico.
20. Bomba de Resfriamento de Água Salgada do MCP de BB LPSW nº 3 – Causa provável: problemas de fixação do motor elétrico à base.
21. Bomba de Óleo Combustível nº 1 do MCP de BE – Causa provável: desbalanceamento dos rotores do motor elétrico e da bomba.
22. Bomba Bilgie nº 1 – Causas prováveis: desalinhamento do conjunto motorbomba; problemas de fixação do motor à base.
23. Bomba de Águas Cinzas nº 1 – Causas prováveis: deterioração de rolamento(s) no motor elétrico; problemas de fixação do motor à base; desalinhamento do conjunto.
24. Bomba de Águas Cinzas nº 2 – Causas prováveis: problemas de fixação do motor elétrico à base; deterioração de rolamento(s) do motor elétrico.
25. Bomba de Águas Cinzas nº 3 – Causas prováveis: problemas de fixação do motor elétrico à base; deterioração de rolamento(s) do motor elétrico; folgas de montagem do acoplamento; desalinhamento do conjunto motor-bomba.
26. Bomba de Águas Cinzas nº 4 – Causas prováveis: problemas de fixação do motor à base; deterioração de rolamento(s) do motor elétrico; desalinhamento do conjunto motor-bomba; folgas de montagem do acoplamento.
27. Bomba de Águas Cinzas nº 5 – Causa provável: desalinhamento do conjunto motor-bomba.
28. Bomba de Águas Cinzas nº 6 – Causas prováveis: desalinhamento do conjunto motor-bomba; folgas de montagem de acoplamento.

29. Bomba MDFL de BB – Causas prováveis: incrustação ou avaria em uma ou mais pás da ventoinha do motor elétrico; folga entre a ventoinha e seu eixo.
30. Bomba MDFL de BE – Causas prováveis: desbalanceamento dos rotores do motor elétrico e da bomba.

## 4.5 Recomendações

Com base na análise dos dados de vibração, é recomendável a adoção de medidas preventivas e corretivas. Sendo assim, Para a correção das discrepâncias apontadas, seguem recomendações de ações a serem adotadas quanto aos equipamentos que apresentam níveis anormais de vibração

1. Bomba de Água Salgada da URA 1 – Verificar a fixação do motor elétrico à base e efetuar as correções necessárias; verificar e corrigir eventuais folgas de montagem do acoplamento.
2. Bomba de Aguada 3 – Verificar o alinhamento do conjunto motor-bomba e efetuar as correções pertinentes; verificar a fixação do motor à base e corrigir eventuais discrepâncias.
3. Bomba de Alta Pressão do GOR 1 – Efetuar o balanceamento do rotor da bomba; verificar se há obstrução de fluxo no recalque da bomba (joelho, válvula parcialmente aberta ou sujeira na rede); verificar e, se necessário, corrigir folga entre o rotor e o eixo da bomba.
4. Bomba de Alta Pressão do GOR 3 – Verificar e corrigir uma possível obstrução no fluxo no recalque da bomba (joelho, válvula parcialmente aberta ou sujeira na rede).
5. Bomba de Baixa Pressão do GOR 4 – Efetuar o balanceamento dos rotores da bomba e do motor elétrico; verificar e, caso necessário, corrigir folga no acoplamento motorbomba.
6. Bomba de Lastro 3 – Verificar o alinhamento do conjunto motor-bomba e efetuar as correções necessárias; efetuar o balanceamento do rotor do motor elétrico.

7. Bomba de Engrazamento 3 da Redutora de BB – Verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor elétrico; efetuar o balanceamento do rotor do motor elétrico; verificar a existência de incrustações ou avaria em uma ou mais pás da ventoinha do motor elétrico e efetuar as devidas correções.
8. Bomba de Engrazamento 4 da Redutora de BB – Verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor elétrico à base.
9. Bomba de Engrazamento 2 da Redutora de BE – Verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor elétrico à base; verificar a existência incrustações ou avaria em uma ou mais pás da ventoinha do motor elétrico e efetuar as devidas correções.
10. Bomba de Incêndio HPSW 1 – Efetuar o balanceamento do rotor do motor elétrico; verificar se existe alguma obstrução ou grande perda de carga na linha de recalque (joelho, válvula parcialmente fechada ou sujeira na rede); corrigir uma possível folga entre o mancal e o eixo da bomba.
11. Bomba de Incêndio HPSW 4 – Verificar se existe alguma obstrução ou grande perda de carga na linha de recalque (joelho, válvula parcialmente aberta ou sujeira na rede); corrigir uma possível folga entre o rotor e o eixo da bomba.
12. Bomba de Incêndio HPSW 5 – Efetuar o balanceamento do rotor da bomba.
13. Bomba de Lubrificação 1 da Redutora de BE – Verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor elétrico à base.
14. Bomba de Lubrificação 2 da Redutora de BE – Verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor elétrico à base.
15. Bomba de Lubrificação 3 da Redutora de BB – Verificar a existência de incrustação ou avaria em uma ou mais pás da ventoinha do motor elétrico; Verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor.
16. Bomba de Resfriamento de Água Doce do MCP de BE JW 1 – Efetuar o balanceamento do rotor do motor elétrico; verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor elétrico à base.
17. Bomba de Resfriamento de Água Doce do MCP de BE JW 2 – Efetuar o balanceamento do rotor do motor elétrico; verificar se a ventoinha

- encontra-se com incrustação ou avaria em alguma(s) das pás; verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor elétrico à base.
18. Bomba de Resfriamento de Água Doce do MCP de BB JW 4 – Verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor elétrico à base.
  19. Bomba de Resfriamento de Água Salgada do MCP de BE LPSW 1 – Efetuar o balanceamento do rotor do motor elétrico.
  20. Bomba de Resfriamento de Água Salgada do MCP de BB LPSW 3 – Verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor elétrico à base.
  21. Bomba de Óleo Combustível 1 do MCP de BE – Efetuar o balanceamento dos rotores do motor elétrico e da bomba.
  22. Bomba Bilgie 1 – Verificar e, se necessário, efetuar o alinhamento do conjunto motor-bomba; corrigir eventuais problemas de fixação do motor à base.
  23. Bomba de Águas Cinzas 1 – Inspeccionar os rolamentos do motor elétrico e, caso necessário, trocá-los; corrigir eventuais problemas de fixação do motor à base; efetuar o alinhamento do conjunto.
  24. Bomba de Águas Cinzas 2 – verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor elétrico à base; inspeccionar os rolamentos do motor elétrico e, caso necessário, trocá-los.
  25. Bomba de Águas Cinzas 3 – Verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor elétrico à base; inspeccionar os rolamentos do motor elétrico e, caso necessário, trocá-los; verificar e corrigir eventuais folgas de montagem de acoplamento; verificar e, se necessário, corrigir o alinhamento do conjunto.
  26. Bomba de Águas Cinzas 4 – Verificar e corrigir eventuais problemas de fixação do motor à base; inspeccionar os rolamentos do motor elétrico e, caso necessário, trocá-los; verificar e, se necessário, efetuar o alinhamento do conjunto motor-bomba; verificar e corrigir eventuais folgas de montagem de acoplamento.
  27. Bomba de Águas Cinzas 5 – Verificar e, se necessário, efetuar o alinhamento do conjunto motor-bomba.

28. Bomba de Águas Cinzas 6 – Verificar e, se necessário, efetuar o alinhamento do conjunto motor-bomba; verificar e corrigir eventuais folgas de montagem de acoplamento.
29. Bomba MDFL de BB – Verificar a existência incrustação ou avaria em uma ou mais pás da ventoinha do motor elétrico e providenciar o reparo se necessário; verificar se a folga entre a ventoinha e seu eixo está dentro da tolerância recomendada.
30. Bomba MDFL de BE – Efetuar o balanceamento dos rotores do motor elétrico e da bomba.

#### **4.6 Conclusões do Estudo de Caso**

Percebe-se a eficiência desta técnica de análise preditiva, tanto na identificação das possíveis causas dos problemas, tanto na ações de manutenção a serem tomadas para saná-las e quando realizada em intervalo de tempo correto, torna-se ainda mais eficiente. Dessas forma, com pequenas ações de manutenção, consegue-se aumentar a vida útil dos equipamentos, além de evitar quebras aleatórias e consequentemente há uma grande economia de recursos diminuindo o uso da manutenção corretiva não-planejada.

## 5. CONCLUSÃO

Como foi visto ao longo do trabalho, o conceito de um eficaz sistema de manutenção evoluiu de forma que haja a utilização todos os métodos, porém prevalecendo a preditiva, principalmente nos equipamentos considerados críticos, pois os custos de instalação são compensados pela economia com diminuição de ações de manutenção desnecessárias e custos de parada por quebra.

Também foi visto que o SMP da MB é basicamente preventivo e precisa ser repensado, pois além de não estar sendo executado na sua plenitude, tem gerado custos que se sobrepõem à condição orçamentária da instituição. A carência de um banco de dados para registro do histórico de manutenção dos navios e um sistema de controle da manutenção que “aproxime” todos nela envolvidos, distancia a MB das maiores marinhas do mundo. Na era da informação e dos meios digitais de comunicação, não é nem um pouco eficiente que a informação das manutenções executadas a bordo estejam sendo registradas apenas em livros, que não saem do navio.

O impacto no caráter operativo da Força da adoção de um programa de manutenção com essas características e do envelhecimento da frota, além do alto custo, é a dificuldade cada vez maior de se ter um navio, sem nenhuma restrição, para se fazer ao mar. Para mudar o quadro atual, é necessária uma reformulação geral da gestão de manutenção na MB, com o incremento da utilização da manutenção preditiva. É claro que os resultados não serão alcançados imediatamente, pois se trata de uma mudança de médio e longo prazo.

A primeira mudança, sem dúvida, deve ser na mentalidade em todos os níveis e como foi visto, a inserção da manutenção preditiva se apresenta como uma quebra de paradigma. Ela pode ser alcançada através de palestras e outros canais de informação, de forma a introduzir conhecimentos sobre a nova prática a ser adotada. Não basta apresentar o conceito de manutenção preditiva e diferenciá-lo de outras manutenções, é preciso mostrar quem é o responsável na MB por prestar tais serviços, além de apresentar como deve ser realizado. A própria conscientização dos militares sobre a importância da manutenção preditiva faria com que o número de pedidos de serviço para análise de vibrações ao CPN aumentasse. Apesar de demandar investimento inicial, com capacitação de pessoal e aquisição

dos equipamentos necessários, seria de extrema importância habilitar as OMPS fora do Rio de Janeiro para realização da análise de vibração. Isto não sendo possível, para maximizar o aproveitamento dos meios, sobretudo, quando estão sediados em região distante, uma sugestão seria a OMPS agrupar um conjunto de navios e prestar suporte para que a equipe do CPN, numa visita àquela região específica, preste o serviço aos meios numa só viagem.

Os grandes custos iniciais da manutenção preditiva e as dificuldades de sua implantação em equipamentos com longo tempo de operação, impedem a instalação imediata, por exemplo, de sistemas de monitoramento bordo dos navios. Para os navios mais antigos, que não possuem nenhum sistema de monitoramento, se mostra uma opção, o investimento na qualificação de equipes volantes do CPN que pudessem viajar destacados. Isso tornaria possível que esses militares, de posse de kits do CPN, pudessem acompanhar estado dos equipamentos, mesmo que o navio estivesse viajando, mantendo assim, a frequência necessária das medições. Não se torna viável qualificar membros da tripulação para esse tipo de trabalho, tendo em vista às inúmeras tarefas que cada um possui e às peculiaridades da rotina de um navio no mar.

Para os meios mais modernos, principalmente aqueles que ainda serão construídos e comprados, como as Fragatas Classe Tamandaré, um sistema especialista de monitoração contínua é ideal pois ele já faria parte do projeto do navio. Tendo em vista que haverá transferência de tecnologia neste acordo de compra, poderia ser incluído softwares, sensores e treinamento de pessoal voltados para a área de manutenção, além do *benchmarking*<sup>7</sup>. Por sobrecarregar nenhum membro da tripulação e não afetar a rotina do navio, seria ótimo ter um sistema computacional a bordo, dedicado e interligado aos sensores dos equipamentos, fazendo a aquisição de dados destes parâmetros, registrando em banco de dados, analisando-os automaticamente e fornecendo o diagnóstico em tempo mínimo ao chefe de máquinas. Ademais, tendo em vista a bagagem adquirida com esse projeto, se tornaria menos complexo a criação de um *software* nacional tão eficiente quanto de outras marinhas, como ocorreu na parceria da MB com a COPPE/URFJ nos projetos do ATENDI, LUBE e SAVMAQ.

---

<sup>7</sup> “Processo de identificação, conhecimento e adaptação de práticas e processos excelentes de organizações, de qualquer lugar do mundo, para ajudar uma organização a melhorar sua performance.”(Kardec e Nascif, 2009, p. 12)

## **5.1 Considerações Finais**

A manutenção demonstra ser um assunto muito extenso, então ao se realizar esta pesquisa, preocupou-se em conduzi-la de maneira prática, de forma que leitores que estejam tendo o primeiro contato com o assunto não abandonem a leitura no meio do caminho. Neste trabalho buscou-se analisar em termos gerais os principais tipos de manutenção e a forma como ela é executada na MB, além de propor ideias superficiais de aperfeiçoamento do SMP. A mudança do sistema adotado na MB exige um estudo aprofundado e específico, o que exigiria naturalmente mais tempo.

## **5.2 Sugestões para Futuros Trabalhos**

Trabalhos futuros poderiam focar na área da gestão, de modo fazer uma análise dos requisitos de um sistema de gerenciamento de manutenção que atenderia as especificidades da Marinha. E para enriquecer o trabalho, realizar um estudo de caso apresentado os resultados de uma empresa que implementou um sistema de gerenciamento de manutenção e obteve sucesso.

## REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

BARBOZA, T. L. **O diagnóstico de máquinas voltado para a manutenção preditiva e a experiência da Marinha do Brasil neste campo: Aspectos técnicos e gerenciais de uma análise de caso**. 2005. Disponível em: <[https://www.marinha.mil.br/sites/www.marinhamil.br/ciaw/files/PDF/REV3-CIAW\\_ARTIGO%20MANUTENCAO%20PREDITIVA.pdf](https://www.marinha.mil.br/sites/www.marinhamil.br/ciaw/files/PDF/REV3-CIAW_ARTIGO%20MANUTENCAO%20PREDITIVA.pdf)>. Acesso em: 12 dez. 2019.

BRASIL. Estado-Maior da Armada. **EMA-400: Manual de logística da Marinha**. Brasília, DF, 2003. rev. 2. mod. 1.

BRASIL. Estado-Maior da Armada. **EMA-420: Normas para Logística do Material**. Brasília, DF, 2002. rev. 2. mod. 1.

CAMBRA, Antonio Carlos. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Uma proposta de aprimoramento da manutenção dos meios navais da Marinha do Brasil**. 2016. 109 p. Tese (Curso de Política e Estratégia Marítimas)- Escola de Guerra Naval, Rio de Janeiro, 2016.

FERNANDES, A. M. R. **Inteligência Artificial: Noções gerais**. Florianópolis: Visual Books, 2003. 160 p.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2007.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2010. 361p.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio; BARONI, Tarcísio. **Gestão Estratégica e Técnicas Preditivas**, Coleção Abraman. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002. 160p.

NEPOMUCENO, Lauro Xavier. **Técnicas de Manutenção Preditivas, vol. 1 e 2.** São Paulo: Blucher, 2014.

PINTO, A.K; XAVIER, J. de A.N. **Manutenção – Função Estratégica.** 2ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2001.

VIANA, Herbet Ricardo Garcia. **PCM – Planejamento e Controle da Manutenção.** 1ª ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002, 167p.

XENOS, H. **Gerenciando a manutenção produtiva.** Belo Horizonte, DG, 1998.